

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUA DE CHUVA PARA RECUPERAÇÃO
AMBIENTAL NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO
VALE DO JEQUITINHONHA

Norma Angélica Hernández Bernal

Belo Horizonte

2007

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUA DE CHUVA PARA RECUPERAÇÃO
AMBIENTAL NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO VALE DO
JEQUITINHONHA**

Norma Angélica Hernández Bernal

Norma Angélica Hernández Bernal

**AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS DE CAPTAÇÃO DE
ÁGUA DE CHUVA PARA RECUPERAÇÃO
AMBIENTAL NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO VALE DO
JEQUITINHONHA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Sistemas de Recursos Hídricos

Orientador: Luiz Rafael Palmier

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2007

Membros da banca

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Luiz Rafael Palmier, pelo apoio e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Aos Professores do programa de pós-graduação de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pela bolsa PEC-PG e pelo financiamento da pesquisa através do Projeto CT-Hidro.

À Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), o Serviço Geológico do Brasil, que contribuiu com dados para a elaboração deste trabalho.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), pelas mudas de árvores doadas para a realização do projeto.

Aos meus colegas do programa de pós-graduação que participaram do projeto CT-Hidro – Ana Paula, Eber e Alberto – e aos colegas da área de hidráulica e saneamento – Luiz Barros, Jorge, Rubens, Ney, Nebai, Nayana, Vanessa, Estela e Josiane. Também quero agradecer aos meus colegas e amigos da época do mestrado que sempre me ofereceram uma sincera amizade e apoio – Rodrigo Ádamo, Marcos, Janise, Alessandra, Simone e, especialmente, Reginaldo –, e ao meu companheiro de república, Gustavo Schiffler.

Ao senhor Clóvis Ribeiro e a sua família, pela oportunidade de realizar o trabalho de pesquisa na sua propriedade na comunidade de Humaitá, no município de Itinga, e, especialmente, pelo apoio e ajuda que recebi de Clóvis Ribeiro Filho.

E, principalmente, ao meu pai, Dr. Gustavo Hernández Alcántara, e meus irmãos, Clara e Alejandro, que sempre estão comigo, apesar da distância.

RESUMO

O Brasil, assim como outros países em desenvolvimento, tem que enfrentar problemas de disponibilidade de água potável para diminuir a vulnerabilidade social e ambiental de sua região semi-árida. A região semi-árida de Minas Gerais tem precipitação anual de 800mm, concentrada em 4 meses, com uma elevada taxa de evaporação durante todo o ano. O uso ineficiente dos recursos hídricos e edáficos dessa região têm gerado processos de degradação do frágil ecossistema – Caatinga – que existe nesse lugar. Essa região é considerada como uma das mais pobres do Brasil, e esses processos de degradação acentuam ainda mais as condições econômicas e sociais de sua população. No presente trabalho se considera a implementação de técnicas de captação de água de chuva como uma alternativa para aumentar a infiltração, recuperar as propriedades físicas do solo e restaurar a cobertura vegetal em duas áreas experimentais de 800m² cada uma. O objetivo do estudo, realizado sem irrigação artificial, foi avaliar a eficiência de quatro técnicas diferentes de captação de água de chuva para agricultura por escoamento (*runoff farming*) para permitir a infiltração e reter umidade no solo. Os sistemas de captação de água por escoamento testados foram: a) *Negarim* (S₁); b) Leirões em semicírculos (S₂); c) Leirões em curva de nível (S₃); e d) Camalhões em curva de nível (S₄). Em cada microcaptação plantou-se uma muda de árvore. Uma área de 200 m², sem nenhum tipo de tratamento ou sistema de captação de água de chuva, foi utilizada como área controle. Foram avaliados diferentes parâmetros do desenvolvimento em mudas de *Psidium guajava* (goiaba) e *Mangifera indica* (manga), que foram utilizadas como bio-indicadores da eficiência da disponibilidade de água no perfil do solo. Também foram utilizados métodos diferentes para avaliar a estabilidade do solo, a taxa de infiltração superficial e a porcentagem de umidade. Foram registrados aspectos qualitativos com base em fotografias a cada mês para mostrar visualmente o desenvolvimento das plantas e da condição das estruturas. Os dados obtidos, tanto quantitativos quanto qualitativos, refletem que os sistemas Leirões em curva de nível (S₃) e Camalhões em curva de nível (S₄) foram os mais eficientes para esse local, já que proporcionaram melhores condições de umidade para o desenvolvimento das plantas, inclusive durante o período de seca. Também o sistema Camalhões em curva de nível (S₄) se mostrou eficiente na restauração da qualidade dos agregados dos solos, característica que permite minimizar os processos erosivos. Essas técnicas, junto a outras técnicas de conservação do solo e da água, são ferramentas na recuperação dos recursos degradados e uma alternativa de uso sustentável dos mesmos para as comunidades que habitam essa região semi-árida.

ABSTRACT

Brazil, as many other developing countries, has to face the problem of freshwater availability to reduce environmental and social vulnerability, mainly in its semiarid region. In the semiarid region of the Minas Gerais state the average annual precipitation is 800mm, which is concentrated in 4 months, with an elevated evaporation rate all through the year. Mismanagement of water and soil resources has caused the degradation of the fragile ecosystem (Caatinga) that exists in this region which is considered among the poorest in Brazil, and such environmental situation worsens economic and social conditions of the population living there. In this study, the implementation of rainwater harvesting techniques (RWH) is considered as an alternative to increase soil water infiltration, restore soil properties as well as to restore the vegetation in two 800m² experimental plots. The objective of this study, carried out without artificial irrigation, was to evaluate the efficiency of four different micro-rainwater harvesting techniques (runoff farming) to yield water infiltration in order to increase soil moisture. The runoff farming systems tested were: a) *Negarim* (S₁); b) Semi-circular bunds (S₂); c) Contour bunds (S₃); and d) Contour ridges (S₄). In each microcatchment one tree was planted. A 200 m² area without any treatment or RWH technique was used as a control area. Two growth parameters on *Psidium guajava* (guava) and *Manguifera indica* (mango) trees were used as indicators of the efficiency on water availability on soil profile to enhance plant growth. Soil stability tests, superficial infiltration rate and humidity percentage on soil profile were also, measured. Monthly photographs were shot to record qualitative information on the development of the plants, as well as the conditions of the RWH structures. Qualitative and quantitative data have shown that the Contour bunds (S₃) and Contour ridges (S₄) systems are more efficient than the other two, at different levels, on retaining soil humidity allowing a good development of the plants, even along the dry period. It was also observed that the Contour ridges (S₄) system was efficient in the restoration of the quality of soil aggregates, minimizing erosion processes. These techniques, along with other soil and water conservation measures, can serve as a management tool to restore natural resources as well as an alternative for the human communities to use in a sustainable way the local soil and water resources, improving life conditions in this region.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	X
LISTA DE TABELAS.....	XIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	8
2.1 OBJETIVO GERAL.....	8
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
2.3 JUSTIFICATIVA	8
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	10
3.1 REGIÕES ÁRIDAS E SEMI-ÁRIDAS.....	10
3.2 HISTÓRICO DAS SECAS NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO BRASIL	23
3.3 RESTAURAÇÃO AMBIENTAL	25
3.3.1 <i>Propostas metodológicas na restauração ambiental.....</i>	<i>34</i>
3.3.2 <i>Indicadores de avaliação de recuperação ambiental.....</i>	<i>35</i>
3.4 CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA	37
3.5 SISTEMAS DE MICROCAPTAÇÃO.....	45
3.5.1 <i>Negarim.....</i>	<i>47</i>
3.5.2 <i>Leirões semi-circulares ou trapezoidais.....</i>	<i>48</i>
3.5.3 <i>Leirões em curva de nível.....</i>	<i>49</i>
3.5.4 <i>Camalhão em curva de nível.....</i>	<i>50</i>
3.5.5 <i>Microcaptação tipo Vallerani.....</i>	<i>51</i>
3.5.6 <i>Meskat</i>	<i>52</i>
3.6 CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA – ALTERNATIVA NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS AMBIENTAIS.....	53
3.7 IMPORTÂNCIA DAS CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS NA CAPTAÇÃO DE ÁGUA POR ESCOAMENTO.....	60
3.8 VARIABILIDADE CLIMÁTICA E FRAGILIDADE AMBIENTAL	64
3.9 ANÁLISE COMPARATIVA DAS EFICIÊNCIAS DE SISTEMAS DE <i>RUNOFF FARMING</i>	67
4 METODOLOGIA.....	69
4.1 DETERMINAÇÃO DAS ESTRUTURAS A SEREM IMPLANTADAS	69
4.2 SELEÇÃO DAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	70
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DOS SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA.....	71
4.4 ESTRUTURAS IMPLANTADAS E PLANTIO DE MUDAS	78
4.4.1 <i>Negarim.....</i>	<i>79</i>
4.4.2 <i>Leirões em semi-círculo.....</i>	<i>80</i>
4.4.3 <i>Leirões em curva de nível.....</i>	<i>81</i>
4.4.4 <i>Camalhões em curva de nível.....</i>	<i>82</i>
4.5 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE RESTAURAÇÃO AMBIENTAL	83
4.5.1 <i>Desenvolvimento das árvores.....</i>	<i>84</i>
4.5.2 <i>Estabilidade dos agregados do solo.....</i>	<i>85</i>
4.5.3 <i>Taxa de infiltração.....</i>	<i>87</i>
4.5.4 <i>Porcentagem de umidade no solo.....</i>	<i>89</i>
4.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA EFICIÊNCIA DAS ESTRUTURAS	90
5 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE ESTUDO.....	92
5.1 LOCALIZAÇÃO.....	92
5.2 CLIMA.....	95
5.3 SOLOS	99
5.4 VEGETAÇÃO.....	101
5.5 ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA	102

5.6	PADRÃO DE DRENAGEM	103
5.6.1	<i>Padrão subdendrítico</i>	104
5.6.2	<i>Padrão paralelo</i>	104
5.7	PROCESSO DE OCUPAÇÃO DA REGIÃO.....	104
6	RESULTADOS	107
6.1	SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	107
6.2	ANÁLISE DE SOLOS.....	109
6.3	DADOS DE CHUVA E EVAPORAÇÃO NAS ÁREAS EXPERIMENTAIS.....	111
6.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	113
6.4.1	<i>Umidade no solo</i>	114
6.4.2	<i>Desenvolvimento das árvores</i>	126
6.4.3	<i>Estabilidade dos agregados do solo</i>	151
6.4.4	<i>Infiltração superficial</i>	158
6.4.5	<i>Custos de construção</i>	161
6.5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	162
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	166
7.1	CONCLUSÕES.....	166
7.1.1	<i>Implementação dos sistemas e metodologia proposta</i>	166
7.1.2	<i>As precipitações e o solo</i>	166
7.1.3	<i>Espécies de árvores selecionadas</i>	167
7.1.4	<i>Recuperação de ambientes degradados do semi-árido mineiro</i>	167
7.2	RECOMENDAÇÕES	170
8	REFERÊNCIAS.....	175
Anexos	187

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 1: Mapa da distribuição das regiões áridas e semi-áridas no mundo	15
Figura 2: Influência do fenômeno <i>El Niño</i> na América Latina e no Caribe	18
Figura 3: Esquemas da influência do fenômeno <i>La Niña</i>	19
Figura 4: Mapa da região semi-árida do Brasil	22
Figura 5: Princípio de captação de água de chuva	38
Figura 6: <i>Limanim</i> construído em série em <i>wadi</i>	40
Figura 7: Sistema de captação de água tipo <i>qanat</i>	41
Figura 8: Sistema de terraços em <i>loess</i> , Província de Gansú, China	43
Figuras 9 e 10: Captação de água de chuva em cisternas e macrocaptação por escoamento para agricultura na província de Gansú, China	43
Figura 11: <i>Haffir</i> , em Zankor, Sudão	44
Figura 12: <i>Chultún</i> ou cisterna maia	45
Figura 13: Relação Área de captação/Área cultivada segundo o grau de aridez: A (menos árido) – C (mais árido)	46
Figura 14: Desenho em planta de <i>Negarim</i>	47
Figura 15: Leirões semi-circulares	49
Figura 16: Leirões em curva de nível	50
Figura 17: Camalhões em curva de nível	51
Figura 18: Microcaptação tipo <i>Vallerani</i>	51
Figura 19: Arado <i>dolfino</i> para a construção do sistema <i>Vallerani</i>	52
Figura 20: <i>Meskat</i>	52
Figura 21: Vista panorâmica da região de Humaitá na bacia do córrego Teixeira, município de Itinga	70
Figura 22: Área experimental 1 selecionada para a implementação dos sistemas de captação por escoamento para produção agrícola	71
Figura 23: Esquema de distribuição dos sistemas de microcaptação de água de chuva para a AE1	72
Figura 24: Demarcação das curvas de nível na AE1	72
Figura 25: Desenho e construção do sistema <i>Negarim</i> na AE1	73
Figura 26: Desenho e construção do sistema Leirões em Semi-círculo na AE1	73
Figuras 27 e 28: Estado inicial da AE1 em época de seca (julho/2005) e após as primeiras chuvas (outubro/2005)	75
Figura 29: Esquema de distribuição dos sistemas de microcaptação de água de chuva para a AE2	76
Figura 30: Aspecto inicial da AE2	77
Figura 31: Limpeza da AE2	77
Figura 32: Construção do sistema <i>Negarim</i> na AE2	78
Figura 33: Técnica para marcar as microcaptações <i>Negarim</i>	79
Figura 34: Desenho dos leirões em semi-círculo para uma área de captação maior	80
Figura 35: Desenho e alinhamento dos semicírculos sobre a curva de nível	81
Figura 36: Leirões em curva de nível	82
Figura 37: Construção dos camalhões em curva de nível (julho/2005)	83
Figura 38 e 39: Fragmentos de solo superficial e solo subsuperficial	86
Figura 40: Solo úmido após o início do processo de infiltração	88
Figura 41: Leitura do aparelho e registro das medições de umidade no solo	90
Figura 42: Localização do município de Itinga no estado de Minas Gerais	92
Figura 43: Imagem de satélite mostrando a bacia do córrego Teixeira e o local da área de estudo	94
Figura 44: Aspecto geral da porção Sul da bacia do córrego Teixeira	95

Figura 45: Precipitação média mensal em Itinga (1977-2006)	97
Figura 46: Evapotranspiração potencial média mensal (1970-1990) em Itinga	98
Figura 47: Déficit potencial hídrico com base no balanço hídrico climatológico – estação de Itinga	99
Figuras 48 e 49: Reuniões com os moradores da comunidade de Humaitá	107
Figura 50: Precipitação total mensal no local de estudo de dezembro/2005 a janeiro/2007	111
Figura 51: Evaporação potencial na área de estudo de dezembro/2005 a janeiro/2007	113
Figura 52: Porcentagem de umidade no solo a 20cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1	115
Figura 53: Porcentagem de umidade no solo a 40cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1	117
Figura 54: Valores médios de umidade a 20 e 40cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1	118
Figura 55: Umidade média a 20cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1 e precipitação no local	119
Figura 56: Umidade média a 40cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1 e precipitação no local	120
Figura 57: Porcentagem de umidade no solo a 20cm de profundidade nos sistemas na AE2	121
Figura 58: Porcentagem de umidade no solo a 40cm de profundidade nos sistemas na AE2	122
Figura 59: Valores médios de umidade a 20 e 40cm de profundidade nos sistemas na AE2	123
Figura 60: Umidade média a 20cm de profundidade nos sistemas na AE2 e precipitação no local	124
Figura 61: Umidade média a 40cm de profundidade nos sistemas da AE2 e precipitação no local	125
Figura 62: Diferenças qualitativas nas condições da vegetação e do solo na AE1 durante a estação seca em junho de 2006	125
Figura 63: Presença de vegetação invasiva, principalmente dentro e em áreas próximas às sarjetas de infiltração; árvore da espécie <i>Manguifera indica</i> na AE2 no S2, no início do segundo período chuvoso – outubro, 2006	126
Figura 64: Número de árvores vivas de <i>Manguifera indica</i> na AE1	127
Figura 65: Altura de <i>Manguifera indica</i> na AE1	128
Figura 66: Altura média de <i>Manguifera indica</i> na AE1	129
Figura 67: Número de folhas de <i>Manguifera indica</i> na AE1	131
Figura 68: Média do número de folhas de <i>Manguifera indica</i> na AE1	132
Figura 69: Número de árvores vivas de <i>Psidium guajava</i> na AE1	134
Figura 70: Altura de <i>Psidium guajava</i> na AE1	135
Figura 71: Altura média de <i>Psidium guajava</i> na AE1	136
Figura 72: Número de folhas de <i>Psidium guajava</i> na AE1	137
Figura 73: Média do número de folhas de <i>Psidium guajava</i> na AE1	138
Figura 74: Número de árvores vivas de <i>Manguifera indica</i> na AE2	140
Figura 75: Altura de <i>Manguifera indica</i> na AE2	141
Figura 76: Altura média de <i>Manguifera indica</i> na AE2	142
Figura 77: Número de folhas de <i>Manguifera indica</i> na AE2	143
Figura 78: Média do número de folhas de <i>Manguifera indica</i> na AE2	144
Figura 79: Número de árvores vivas de <i>Psidium guajava</i> na AE2	146
Figura 80: Altura de <i>Psidium guajava</i> na AE2	147
Figura 81: Altura média de <i>Psidium guajava</i> na AE2	148
Figura 82: Número de folhas de <i>Psidium guajava</i> na AE2	149

Figura 83: Média do número de folhas de <i>Psidium guajava</i> na AE2	150
Figura 84: Estabilidade média dos agregados do solo superficial na AE1	153
Figura 85: Estabilidade média dos agregados do solo subsuperficial na AE1	155
Figura 86: Estabilidade média dos agregados do solo superficial na AE2	157
Figura 87: Estabilidade média dos agregados do solo subsuperficial na AE2	158
Figura 88: Média do tempo de infiltração superficial nos sistemas e área controle na AE1	159
Figura 89: Média do tempo de infiltração superficial nos sistemas na AE2	160
Figura 90: Saturação da camada superficial de solo e encharcamento após chuva na AE1 (março/2006)	162

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das regiões áridas e semi-áridas no mundo segundo a FAO/UNESCO	página 14
Tabela 2 – Classificação das técnicas de captação de água de chuva	39
Tabela 3 – Taxa de infiltração de diferentes tipos de solo	61
Tabela 4 – Número de árvores plantadas em cada sistema de captação na AE1	75
Tabela 5 – Número de árvores plantadas em cada sistema de captação na AE2	78
Tabela 6 – Níveis de monitoramento da eficiência das técnicas de microcaptação de água de chuva	84
Tabela 7 – Critérios de classificação da estabilidade dos agregados do solo	87
Tabela 8 – Análise granulométrica dos solos das áreas experimentais (realizada pela CPRM)	109
Tabela 9 – Precipitação total mensal (mm) no local de estudo de janeiro/2005 a janeiro/2007	112
Tabela 10 – Evaporação potencial (mm) na área de estudo (tanque evaporimétrico) de dezembro/2005 a janeiro/2007	114
Tabela 11 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 20cm de profundidade na AE1	116
Tabela 12 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 40cm de profundidade na AE1	117
Tabela 13 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 20cm de profundidade na AE2	121
Tabela 14 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 40cm de profundidade na AE2	122
Tabela 15 – Taxa de sobrevivência de <i>Manguiфера indica</i> na AE1	126
Tabela 16 – Análise de variância do fator altura das árvores de <i>Manguiфера indica</i> na AE1	129
Tabela 17 – Teste de Tukey para a altura das árvores de <i>Manguiфера indica</i> na AE1	130
Tabela 18 – Análise de variância do fator número de folhas de <i>Manguiфера indica</i> na AE1	131
Tabela 19 – Teste de Tukey para o número de folhas de <i>Manguiфера indica</i> na AE1	132
Tabela 20 – Taxa de sobrevivência de <i>Psyidium guajava</i> na AE1	133
Tabela 21 – Análise de variância do fator altura das árvores de <i>Psyidium guajava</i> na AE1	133
Tabela 22 – Teste de Tukey para a altura das árvores de <i>Psyidium guajava</i> na AE1	136
Tabela 23 – Análise de variância do fator número de folhas de <i>Psyidium guajava</i> na AE1	137
Tabela 24 – Teste de Tukey para o número de folhas de <i>Psyidium guajava</i> na AE1	138
Tabela 25 – Taxa de sobrevivência de <i>Manguiфера indica</i> na AE2	139
Tabela 26 – Análise de variância do fator altura das árvores de <i>Manguiфера indica</i> na AE2	139
Tabela 27 – Teste de Tukey para a altura das árvores de <i>Manguiфера indica</i> na AE2	142
Tabela 28 – Análise de variância do fator número de folhas de <i>Manguiфера indica</i> na AE2	143
Tabela 29 – Teste de Tukey para o número de folhas de <i>Manguiфера indica</i> na AE2	144
Tabela 30 – Taxa de sobrevivência de <i>Psyidium guajava</i> na AE2	145
Tabela 31 – Análise de variância do fator altura das árvores de <i>Psyidium guajava</i> na AE2	145
Tabela 32 – Teste de Tukey para a altura das árvores de <i>Psyidium guajava</i> na AE1	148
Tabela 33 – Análise de variância do fator número de folhas de <i>Psyidium guajava</i> na	148

AE2	
Tabela 34 – Teste de Tukey para o número de folhas de <i>Psidium guajava</i> na AE2	153
Tabela 35 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo superficial na AE1	153
Tabela 36 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo superficial na AE1	154
Tabela 37 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE1	155
Tabela 38 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE1	156
Tabela 39 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo superficial na AE2	156
Tabela 40 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo superficial na AE2	157
Tabela 41 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE2	157
Tabela 42 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE2	158
Tabela 43 – Número de horas necessárias para a construção dos sistemas de captação de água de chuva na área de estudo	162
Tabela 44 – Eficiência dos sistemas de captação de água de chuva testados	165

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABCMAC	Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva
AMAI	Associação de Moradores e Amigos de Itinga
ANA	Agência Nacional de Águas
ANOVA	Análise de variância simples
APP	Área de Proteção Permanente
BID	Banco Interamericano de Desenvolvimento
CEEIBH	Comitê Especial de Estudos Integrados das Bacias Hidrográficas
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CONAF	Corporación Nacional de Florestas (Chile)
CPC	Centro de Previsão Climática
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	United States Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América)
EUA	Estados Unidos da América
<i>F</i>	Razão entre variâncias ou valor crítico (ANOVA)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação)
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IFOCS	Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IMA	Instituto Mineiro de Agropecuária
INBO	International Network of River Basin Organizations (Rede Internacional dos Organismos de Bacia)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IOCS	Inspeção de Obras Contra as Secas
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change) Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MMA	Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal
NRCS	Natural Resources Conservation Service (Serviço de Conservação de Recursos Naturais dos Estados Unidos da América)
ONG	Organização Não Governamental
<i>p</i>	Significância da variância (ANOVA e pós-testes de Dunn e Tukey)
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
PNMH	Programa Nacional de Micro-bacias Hidrográficas
<i>q</i>	Valores tabulados das amplitudes studentizadas das variáveis independentes (Teste de Tukey)
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
UN	United Nations (Organização das Nações Unidas)

UNEP/PNUMA	United Nations Environmental Programme (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)
USACE	The United States Army Corps of Engineers (Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América)
USDA	United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América)
WMO/OMM	World Meteorological Organization (Organização Meteorológica Mundial)
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZEE	Zoneamento Ecológico-Econômico

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para a vida por manter o funcionamento dos ecossistemas. Adicionalmente, propicia o desenvolvimento socioeconômico das diferentes comunidades no mundo. Sustentar as taxas elevadas de utilização da água dos diversos setores da economia e de populações em crescimento pode ocasionar a diminuição drástica da disponibilidade do recurso em vários países. O aumento da pressão sobre o recurso hídrico pelo incremento da demanda e do consumo excessivo, assim como pela contaminação do recurso, tornou-se uma preocupação global. A demanda de água cresceu o dobro em relação à taxa de incremento da população no último século e ainda que não exista escassez evidente de água em nível global, existe um número cada vez maior de regiões que se defrontam cronicamente com a falta de água. Para o ano 2025, 1,8 milhão de pessoas estará morando em países ou regiões com escassez absoluta de água e dois terços da população mundial poderão estar em condições de falta crítica do recurso (UN - Water Thematics Initiatives, 2006).

Segundo o relatório global das Nações Unidas (UNESCO, 2006 – World Water Report), o acesso que a população tem à água potável é cada vez mais restrito; 1,1 bilhão de pessoas no mundo carece de acesso ao abastecimento de água e 2,6 bilhões não têm acesso a serviços de saneamento; em várias partes do mundo a quantidade de água disponível é cada vez menor e a sua qualidade está piorando (UNESCO, 2006a). Segundo o mesmo documento, a maior parte dessa população pertence a países pobres, mas países ricos também apresentam problemas e desafios relacionados com a distribuição e com serviços relacionados à água. As intervenções antrópicas no uso e abuso do recurso hídrico durante a segunda metade do último século podem ter alterado os sistemas hidrológicos de maneira global, gerando modificações ambientais que podem afetar os ciclos vitais de diversos ecossistemas.

No entanto, a escassez se refere à falta de água e é nas regiões áridas e semi-áridas onde se manifesta de maneira mais aguda, já que essas estão afetadas por períodos de seca, variabilidade climática e crescimento da população junto a processos econômicos que visam o desenvolvimento das mesmas. A pressão que a falta de água pode exercer em áreas próximas das regiões áridas e semi-áridas já está criando graves conflitos de uso. Em nível local, em algumas grandes regiões fronteiriças, existem problemas e conflitos pelo uso da água, pela poluição e pela distribuição do recurso. Todos esses itens podem gerar hostilidades e agressões no futuro próximo. Um exemplo é a região semi-árida da fronteira dos Estados Unidos da América – México, onde a gestão de um recurso vital como é a água constitui-se

uma tarefa extremamente difícil pelo incremento da população em ambos os lados da fronteira e a subsequente demanda e padrões de consumo em ambos os países.

Esses problemas não se restringem às regiões de fronteira entre países. Um grande número de países no mundo – como China, Índia, Paquistão, vários países da África e da América Latina – está sofrendo com a falta do recurso. Nesses países a agricultura irrigada representa o setor com maior demanda de água e será o mais afetado pela falta do recurso se houver uma diminuição gerada por mudanças climáticas. Esse cenário permite deduzir os problemas que serão enfrentados no que se refere à pobreza, à produção de alimentos e à demanda de água para satisfazer as necessidades básicas das populações, sem considerar os problemas que enfrentarão indústrias e os próprios ecossistemas naturais para continuar funcionando adequadamente. Para poder sustentar as suas necessidades, esses países precisam colocar como prioridade o uso eficiente de todas as suas fontes de abastecimento de água – água subterrânea, escoamento superficial, água de chuva – e a implementação de estratégias que maximizem um retorno eficiente – social, econômico e ambiental – do recurso.

Junto a alguns fatores geográficos que determinam, em certas regiões, a escassez do líquido, a falta de água pode ser, também, um resultado das políticas de manejo e uso. A construção de diversas obras de armazenamento e de complexos sistemas de abastecimento de água pode beneficiar alguns e prejudicar outros, com danos ecológicos estendidos no espaço e no tempo. A escassez desse recurso vê-se multiplicada como consequência dos sistemas econômicos e de produção. A implantação de um modelo internacional de concentração de poder econômico e político, no qual prevalece uma homogeneização dos modelos de produção e dos padrões de consumo, tem gerado a desestabilização ecológica e o abandono dos sistemas culturais próprios de cada grupo humano. Essa idéia de “progresso econômico” tem diferenciado a percepção do problema ambiental e de valores éticos, como destacado por Leff (1998): *“Para os países industrializados, essa nova ordem global, polarizada e desigual, sugere uma nova ética frente à abundância, ao desperdício e ao uso do tempo livre. Já para os países “subdesenvolvidos” se traduz num problema de sobrevivência, pobreza crítica, satisfação de necessidades básicas e dignidade humana”*.

É assim que a água constitui-se em um recurso crítico e chave para atingir um desenvolvimento sustentável a longo prazo. A tarefa de gerenciar os recursos hídricos está se tornando uma atividade cada vez mais complexa e com altos custos econômicos e sociais devido ao aumento populacional, ao forte processo de urbanização, à globalização econômica e à homogeneização das atividades econômicas (BISWAS & TORTAJADA, 2001).

Dentro do contexto da globalização econômica, a natureza tem sido incorporada ao processo produtivo e tem se tornado um bem de consumo com diferentes enfoques. Sob essa conceitualização têm sido destruídos complexos biomas e os sistemas sociais e culturais das comunidades humanas têm sido alterados de maneira dramática. (AGNEW & ANDERSON, 1992). A tendência atual de degradação ambiental já está afetando as economias locais e eventualmente será um problema de nível mundial. Com a expansão das atividades agropecuárias amplas regiões ao redor do mundo têm sido desmatadas, gerando problemas de escoamento excessivo, erosão dos solos, enchentes e, indiretamente, mudanças climáticas, aumentando também problemas de escassez de água pela excessiva exploração de aquíferos. A continuar a taxa atual de erosão dos solos, no futuro próximo a capacidade de produção de alimentos da terra diminuirá de maneira importante e agravará os problemas sociais (UNESCO, 2006).

Segundo evidenciam restos arqueológicos, a agricultura constitui um indicador da relação existente entre a degradação ambiental e o declínio econômico de várias civilizações, entre elas a antiga Mesopotâmia, onde a degradação do ambiente foi conseqüência da excessiva exploração do recurso hídrico e, portanto, da salinização dos férteis solos da região. Outro caso é a cultura Maia, na região Mesoamericana, a qual, para abastecer uma população em constante crescimento, promoveu um processo de desflorestamento para a expansão da fronteira agrícola, com conseqüente erosão dos solos. Em ambos os casos, essa degradação ambiental levou à diminuição do abastecimento de água e da produção agrícola, gerando escassez de comida e conflitos políticos e sociais (BROWN, 1997; TOSCANO & HUCHIM, 2004).

Em áreas rurais de regiões semi-áridas o acesso à água para produção de alimento, para subsistência dos rebanhos e para usos domésticos é cada vez mais difícil. Nesses lugares, apesar da água de chuva ser a principal fonte de abastecimento para satisfação de todas essas necessidades, ela não tem sido incorporada dentro das estratégias ou políticas de gestão. Essas políticas geralmente estão enfocadas nas fontes superficial e subterrânea. A escassez de água afeta todos os setores sociais e econômicos e pode incapacitar a sustentabilidade da base dos recursos naturais. A ineficiência no gerenciamento dos recursos hídricos e dos solos é um dos fatores determinantes que afetam o futuro dos ecossistemas e da segurança alimentar no mundo. O equilíbrio entre o desenvolvimento socioeconômico e a preservação da natureza tem se transformado em um grande desafio para humanidade. É evidente que as intervenções ambientais, implementadas por meio de programas ou projetos, devem ser tratadas de maneira

holística, considerando todos os elementos e suas interações no meio. Proteger o meio ambiente como um todo é a única forma de garantir a proteção dos recursos hídricos.

Segundo o Global Water Policy Project, previsões de aumento populacional nos próximos 25 anos indicam que o incremento da demanda de água potável será de 70%. No entanto, essa porcentagem poderá ser ainda maior se a taxa de consumo aumentar. De maneira global a maior porcentagem de uso de água é para a agricultura – 69% – entando que a indústria utiliza 23% e o percentual para consumo e uso doméstico é apenas de 8% (HINRICHSEN, 2003).

A natureza cada vez tem menos capacidade para abastecer todo o leque de produtos que uma população em constante crescimento exige. A natureza está esgotando a sua capacidade de produção e se tornando cada vez mais vulnerável e frágil às catástrofes naturais como incêndios, enchentes, doenças e secas. O problema principal radica em ignorar a importância de manter a natureza em um estado de permanente bem-estar que lhe permita se auto-recuperar dos impactos, naturais ou não.

As economias hoje se sustentam em práticas que simplificam os ecossistemas naturais, seja para ter um manejo mais simples – economizando em tempo e custos na produção – ou para maximizar a produção de uma determinada cultura. Esses sistemas mais simples carecem da capacidade de auto-recuperação que, quando existe biodiversidade natural, permite que em curto tempo sejam superadas as alterações provocadas por pragas, incêndios naturais ou estresse pela falta de água ou pelas mudanças climáticas.

As atividades agrícolas sempre foram de muita importância no desenvolvimento das comunidades humanas, tanto economicamente quanto socialmente. No entanto, devido ao aumento na demanda de produção de alimentos ou para abastecer mercados sob a influência da demanda externa, o meio ambiente foi sendo desconsiderado, chegando ao ponto de degradação e perdas críticas. Na Arábia Saudita a confiança excessiva na capacidade de um aquífero fóssil para expandir a produção agrícola contribuiu para a queda de 62% da produção de grãos entre 1994 e 1996. Em 1995 o instituto de manejo do solo do Cazaquistão previa a perda de 30% da terra agrícola por problemas de erosão para meados do século XXI (BROWN, 1997). Na Índia, nos principais estados produtores de grãos, essa sobre-exploração dos aquíferos está diminuindo os volumes de água disponíveis para abastecer as necessidades básicas da população. É o caso da região de Gujarat, na porção norte da Índia, onde a sobre exploração dos aquíferos também permitiu a intrusão de água salgada, impedindo o emprego da água disponível para outros usos (POSTEL, 1999).

No Brasil, a região semi-árida do Vale do Jequitinhonha, não escapa a esse contexto de degradação dos recursos pelas demandas de abastecimento de alimento à população. E ainda tem que superar a vulnerabilidade climática que predomina na região para poder entrar no sistema econômico regional. A abertura de áreas para a agricultura ou para a pecuária tem degradado intensamente alguns locais dessa região na procura de incrementar a produção à custa da sobre-exploração do solo e da água disponível, seja superficial ou subterrânea.

Nas regiões semi-áridas, onde a disponibilidade hídrica é menor, os problemas de sustentabilidade são maiores. Normalmente, o recurso hídrico é sobre-explorado e se apresentam outros problemas relativos à degradação de outros componentes do meio ambiente, como são o solo e a vegetação, e à diminuição ou perda da biodiversidade. No entanto, existem sistemas alternativos de aproveitamento de água que permitem incrementar a disponibilidade do recurso para benefício dos ecossistemas e das comunidades humanas. Dentre esses sistemas destacam-se as técnicas de captação de água de chuva, que, além de aumentarem a disponibilidade de água para consumo humano, podem ser utilizadas para outros propósitos, como aprimorar a produção agrícola e restaurar ambientalmente áreas degradadas.

Existem diferentes classificações dos métodos de captação de água de chuva (*rainwater harvesting*), que, de acordo com Critchley e Siegert (1991), são dois: 1) captação de água de chuva para agricultura por escoamento (*runoff farming*); e 2) aproveitamento da água de cheias (*floodwater harvesting*). Os sistemas de captação de água de chuva por escoamento são divididos em: a) Micro-áreas de captação; e b) Macro-áreas de captação. No escopo deste trabalho, foram considerados apenas os sistemas de captação por escoamento (*runoff farming*) para micro-áreas de captação.

Essas técnicas têm provado ser eficientes no incremento da produção agrícola tanto em regiões semi-áridas quanto em áreas temperadas em diferentes partes do mundo, ajudando a diminuir problemas sociais e econômicos (BRUINS *et al.*, 1986; SINGH, 1998; PRINZ & MALIK, 2002; ZHU, 2003; KUDAKWASHE *et al.*, 2004; NARAIN *et al.* 2005; SIDIBÉ, 2005). No entanto, as referências sobre a utilização da técnica de captação por escoamento na recuperação de áreas degradadas são poucas, limitando-se a algumas experiências nas regiões semi-áridas da província de Gansú, na China (LI *et al.*, 2001), em Karnataka, na Índia (SINGH, 1998), e na região semi-árida do Chile (CONAF-JICA, 1998). É nesse tipo de regiões que é necessário implementar alternativas que permitam um melhor aproveitamento do recurso hídrico, em todas as suas formas.

Devido ao anterior é importante conhecer o potencial que as técnicas de captação de água de chuva podem ter na região do vale do rio Jequitinhonha, onde, a chuva constitui uma das fontes alternativas de abastecimento e de maior acessibilidade para a população. O potencial da captação de água de chuva para minimizar os efeitos da escassez de água, ainda com a ocorrência de secas, não foi, até hoje, compreendido e, portanto, também não foi quantificado.

A pesquisa aqui apresentada pretende avaliar a eficiência de quatro técnicas de captação de água de chuva na recuperação ambiental. Essas serão relacionadas às características físicas do solo que favorecem a infiltração e retenção de água e sua aplicação tem a finalidade de aumentar a disponibilidade de água para o desenvolvimento de árvores e diminuir processos erosivos presentes no local.

No Capítulo 2 são apresentados os objetivos, geral e específicos, do trabalho. O trabalho em si estará sustentado pelo conteúdo do Capítulo 3, referente à revisão bibliográfica dos temas que conformam o conjunto deste trabalho. Na primeira parte do capítulo 3 são discutidas a definição e classificação das regiões áridas e semi-áridas a partir de diferentes perspectivas de diversas linhas de pesquisa. Posteriormente se dá a descrição do funcionamento dos sistemas meteorológicos – circulação dos ventos – que afeta a região nordeste do Brasil. Brevemente, são explicadas as causas que geram as condições de aridez e a influência que os fenômenos meteorológicos do *El Niño* e *La Niña* exercem sobre essa região do Brasil. Também se explica a inter-relação que o clima da região tem com outros componentes do meio físico e econômico da região semi-árida do NE do Brasil e do médio Vale do Jequitinhonha. O problema das mudanças climáticas também é abordado, destacando-se a vulnerabilidade de ambientes semi-áridos e as políticas e ações que têm sido implementadas ao longo do tempo com a finalidade de amenizar as condições de aridez e pobreza que existem no semi-árido brasileiro. Na segunda parte do capítulo 3 são mencionadas as iniciativas de recuperação ambiental em nível global e a importância do uso de técnicas de captação de água de chuva em diversos lugares do mundo. Descrevem-se algumas das técnicas utilizadas e o potencial que essas técnicas possuem para amenizar os problemas de escassez de água para produção de alimentos e de degradação ambiental e social.

O Capítulo 4 descreve o conjunto de métodos que foram utilizados na implantação das estruturas de captação de água de chuva. Primeiramente, se apresenta uma definição das quatro técnicas a serem utilizadas. Posteriormente explica-se a maneira como foi feita a seleção do local e das áreas experimentais, assim como foram definidos os indicadores utilizados para reconhecer o nível de eficiência das técnicas de captação de água de chuva.

Finalmente, mencionam-se os métodos estatísticos mais apropriados para a análise dos resultados. Apresentam-se as atividades realizadas na implementação das estruturas, desde descrição e histórico de uso das áreas selecionadas. Descreve-se a subdivisão que foi feita no desenho experimental, a maneira como foi construída cada um dos sistemas de captação, assim como o monitoramento de cada um dos indicadores selecionados.

O Capítulo 5 apresenta uma caracterização geográfica da região onde se encontra inserida a área de estudo. Faz-se uma breve descrição das condições climáticas da área e da geologia do local. Descrevem-se os tipos de solos que predominam na bacia estudada, a vegetação, as características geomorfológicas da área, assim como aspectos predominantes das atividades econômicas da população que habita a área rural do município de Itinga.

O Capítulo 6 apresenta os resultados da análise estatística e correlação com outros elementos do meio físico. Finalmente, apresentam-se conclusões e recomendações no Capítulo 7.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é implementar, monitorar e avaliar sistemas de captação de água de chuva para recuperação ambiental de áreas degradadas pela excessiva utilização agrícola e pecuária na região semi-árida do Vale do Jequitinhonha de forma a estabelecer um equilíbrio no sistema hidro-bio-geográfico. Tenciona-se averiguar se esses sistemas são capazes de restaurar a cobertura vegetal e contribuir para recuperar as condições dos solos, com conseqüentes benefícios sociais e econômicos para a região semi-árida do nordeste do estado de Minas Gerais.

2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos se procurará:

- Determinar a eficiência da aplicação de sistemas de captação para agricultura por escoamento superficial (*runoff farming*), tanto para a recuperação dos solos quanto para a restauração da cobertura vegetal;
- Estabelecer uma proposta de monitoramento de indicadores biológicos e físicos para avaliar o desempenho das técnicas adotadas; e
- Contribuir para um melhor aproveitamento da água de chuva na produção de massa vegetal possibilitado a utilização das técnicas na agricultura de maneira ecologicamente sustentável.

2.3 Justificativa

Segundo um estudo feito pelo Ministério do Meio Ambiente e pela Universidade Federal de Pernambuco (SILVA *et al.*, 2004), mais de 20 milhões de hectares (22%) da área do trópico semi-árido brasileiro estão afetados por degradação ambiental, ou seja, cerca de 12% da região Nordeste. O estado de Minas Gerais possui uma região semi-árida em suas porções norte e nordeste. Nessa região semi-árida predominam os biomas de Cerrado e Caatinga e o tipo de uso dado aos recursos hídricos, edáficos e vegetais está gerando graves problemas de degradação ambiental e socioeconômico.

Estudos realizados em áreas de Cerrado e Caatinga indicam que mudanças abruptas na estrutura da vegetação desses ecossistemas, com a introdução de espécies de valor econômico,

como o eucalipto, podem causar grandes impactos ambientais. Esses vão desde o empobrecimento biológico, que se manifesta na extinção de espécies nativas, passando pela perda da capacidade produtiva dos solos, até a alteração dos ciclos biogeoquímicos e no aquecimento global (KLINK, 1996 *apud* GALINKIN *et al.*, 1999).

Como hipótese do presente trabalho se estabelece que a aplicação de tecnologias alternativas de captação de água de chuva por escoamento na área de estudo pode permitir o aproveitamento mais eficiente do armazenamento da água de chuva nos solos e aprimorar o desenvolvimento da vegetação. Ao mesmo tempo as mesmas estruturas podem funcionar como técnica de conservação dos solos, refletindo o benefício às condições da estrutura superficial dos solos e, portanto, minimizando a degradação ocasionada pelos processos erosivos que se apresentam no local.

Este estudo corresponde à primeira experiência da utilização de técnicas de microcaptação numa região semi-árida do Brasil como ferramenta na recuperação ambiental, o qual pode permitir um melhor entendimento da relação clima-solo-vegetação, podendo ser aplicado, também, à produção agrícola regional de maneira sustentável.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Regiões áridas e semi-áridas

A aridez é geralmente associada à falta de umidade, mas é essencialmente um fenômeno que é definido com base nas condições climáticas médias de uma região. É por isso que as regiões áridas e semi-áridas são identificadas de maneira geral pelo mapeamento climático. No entanto, o efeito da falta de umidade se manifesta nas condições dos solos, da vegetação, da topografia e da geomorfologia dessas regiões. As regiões áridas e semi-áridas também podem ser identificadas por meio de uma série de critérios não climáticos, que podem ir desde os pedológicos até os botânicos. Porém, prevalece o critério que estabelece o clima como característica principal desses tipos de regiões. Embora o clima seja a característica mais importante, também é a que apresenta maior variabilidade. Características botânicas, edáficas ou geomorfológicas têm menor variabilidade, mas esses critérios nem sempre refletem as condições ambientais atuais de um determinado local (AGNEW & ANDERSON, 1992).

A classificação de regiões semi-áridas por características geomorfológicas está baseada principalmente na evolução das paisagens e nos ciclos erosivos predominantes nessas áreas, especificamente na ação do vento e da água. Ainda que a falta de cobertura vegetal nas regiões áridas e semi-áridas possa potencializar a efetividade dos agentes morfogênicos, essas regiões não são particularmente dinâmicas. No entanto, sob condições específicas, os processos eólicos, de salinização e de escoamento superficial podem atingir altos níveis de alteração nas paisagens. As classificações geomorfológicas de regiões áridas e semi-áridas consideram áreas onde as características de aridez têm prevalecido por algum tempo, mas não refletem necessariamente as condições atuais desses lugares (COOKE & WARREN, 1973 *apud* AGNEW & ANDERSON, 1992).

A classificação por características pedológicas está baseada no zoneamento de solos que relaciona clima, clímax vegetal e tipo de solo. As características dos solos nas regiões áridas e semi-áridas estão influenciadas pela escassa disponibilidade de precipitação, altas taxas de evaporação e vegetação esparsa. O resultado é a presença de solos pobres em matéria orgânica, acumulação de sais minerais na superfície, baixa capacidade de troca catiônica e pobre desenvolvimento de horizontes pela baixa taxa de percolação. A partir dessa perspectiva, poderia-se inferir que nas regiões áridas e semi-áridas predominam os solos inférteis, fracos e sem possibilidade de uso agrícola. No entanto, segundo Dregne (1976 *apud* Lal, 1999), existem solos altamente produtivos tanto nas regiões áridas quanto nas semi-áridas, com um alto potencial para as atividades agrícolas. Deve-se ter cuidado com essa

classificação porque, da mesma forma que ocorre com a classificação geomorfológica, os solos podem estar associados com restos fósseis ou podem ter sido formados sob condições diferentes das que afetam as regiões áridas ou semi-áridas.

A classificação de regiões áridas e semi-áridas com base em características de sua flora é muito complexa devido à grande diversidade de espécies vegetais presentes nos diferentes ambientes áridos. Segundo Evenari *et al.* (1982) e Beaumont (1981, *apud* AGNEW & ANDERSON, 1992), nos ambientes áridos pode ser encontrada uma grande variedade de plantas, desde as hidrófilas (espécies aquáticas) até as xerófilas (resistentes às condições de aridez). A distribuição das plantas está diretamente relacionada com o clima e os fatores edáficos, como solo e topografia, mas considera que a temperatura pode ser um fator ainda mais importante que a chuva (GOOD, 1970). No entanto, a vegetação tem diversos tipos de interferências, como a antrópica e distúrbios climáticos locais. A utilização do critério da identificação da vegetação por meio do sensoriamento remoto para delimitar regiões áridas e semi-áridas oferece limitações devido à descontinuidade da vegetação em regiões com um alto índice de desflorestamento ou de impactos ambientais diversos, como a introdução de espécies exóticas nos ambientes áridos dificultando a delimitação das áreas que ocupam esses ecossistemas (AGNEW & ANDERSON, 1992). Segundo Rockström (2003), a aridez também pode ser identificada desde a perspectiva agrônômica, ocorrendo quando não há suficiente umidade no perfil do solo – na área das raízes – para abastecer as necessidades mínimas da planta. Uma deficiência de água na cultura pode ser provocada pela escassa infiltração da precipitação e pela pouca capacidade de retenção de água no solo, ou pela incapacidade da planta em absorver água devido à pobreza da fertilidade (nutrientes) do solo. Também interfere o manejo pobre e inadequado das culturas no que se refere às fases fenológicas e à variedade de culturas.

Dentre as classificações climáticas, Köppen, em 1931, utilizou índices climáticos que relacionam temperatura e precipitação a mudanças na vegetação com variações graduais dos ambientes áridos, passando pelos semi-áridos até os climas úmidos (AGNEW & ANDERSON, 1992). Em 1948, Thornthwaite utilizou um balanço hídrico relacionando a umidade disponível para as plantas com um índice de aridez determinado por um cálculo do balanço hídrico entre precipitação e evaporação potencial. No entanto, por considerar que a classificação de Köppen só podia ser aplicada para grandes extensões e que os cálculos de Thornthwaite sobreestimavam os valores de umidade, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), por meio do Programa de Pesquisa das Zonas

Áridas (*Arid Zone Research Programme*), solicitou, em 1953, ao geógrafo norte-americano Perveril Meigs, especialista no estudo das regiões semi-áridas, outra classificação. Essa classificação utiliza o balanço hídrico das entradas de água em forma de precipitação e as saídas em forma de evaporação do ambiente e das plantas. Meigs estabeleceu três categorias de regiões áridas: semi-áridas, áridas e hiper-áridas (ALLEN *et al.*, 1998). As regiões semi-áridas recebem menos de 600mm de chuva anual, as regiões áridas menos de 200mm e as regiões hiper-áridas recebem menos de 25mm. A cada uma dessas subdivisões corresponde um tipo de vegetação específico, que está baseado na classificação proposta por Shantz (ALLEN *et al.*, 1998). Regiões sob condições extremas de aridez carecem de vegetação, a presença de pastos de savana corresponde às áreas áridas, enquanto que as regiões semi-áridas compreendem arbustos, floresta de espinhos e pastos. Ambas as classificações coincidem em indicar que as regiões áridas ocupam um terço da superfície terrestre (ALLEN *et al.*, 1998).

Em maio de 1990, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (*Food and Agriculture Organization*, FAO) promoveu uma pesquisa sobre metodologias em requerimentos hídricos das plantas em colaboração com a *International Commission for Irrigation and Drainage* e a Organização Meteorológica Mundial (*World Meteorological Organization*, WMO), com a finalidade de definir e atualizar os procedimentos utilizados na classificação dos climas áridos e semi-áridos. Os cientistas envolvidos recomendaram a adoção dos métodos combinados de Penman e Monteith como um novo padrão de referência da evapotranspiração e para os cálculos de outros parâmetros. Esse método proporciona valores mais consistentes em relação aos dados de utilização da água na produção de alimentos no mundo. O método Penman-Monteith da FAO utiliza dados climáticos, eliminando a necessidade de outros métodos de referência da evapotranspiração, ajudando na consolidação de uma base de dados consistente em nível mundial sobre os cálculos das necessidades hídricas das plantas (ALLAN & FLECKER, 1998).

A evapotranspiração é uma das principais variáveis do ciclo hidrológico. A taxa de evapotranspiração é a medida da perda máxima de água para a atmosfera da superfície do solo e das plantas pela combinação simultânea da evaporação com a transpiração sob condições climáticas específicas (SEDIYAMA, 1996). Com o objeto de uniformizar a definição de evapotranspiração dada por diversos autores – Thornthwaite e Penman –, surgiu a necessidade de se definir a evapotranspiração potencial para uma cultura de referência (ET_o), a qual é a taxa de evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura de 12 cm, resistência aerodinâmica da superfície de 70s.m^{-1} e albedo de 0,23, ou seja, a evapotranspiração de

referência é semelhante à evapotranspiração de uma superfície extensa coberta com grama de altura uniforme, em crescimento ativo e cobrindo completamente a superfície do solo, sem restrição hídrica (SMITH, 1991).

Existem vários métodos para determinar a evapotranspiração, os quais podem ser classificados em dois grupos. O primeiro inclui os métodos onde a evapotranspiração potencial pode ser determinada a partir de medidas diretas – lisímetros, balanço hídrico e controle de umidade no solo – e o segundo que agrupa os métodos indiretos nos quais são utilizados dados climáticos, onde a evaporação ou a evapotranspiração de referência são avaliadas por fórmulas empíricas e racionais e, posteriormente, são correlacionadas com a evapotranspiração da cultura por meio de coeficientes de proporcionalidade como, por exemplo, o coeficiente do tanque classe “A” (K_p) e o coeficiente de cultura (K_c). A associação dos termos diabáticos e adiabáticos da evaporação (saldo de energia na superfície e processos de transferência pelos componentes aerodinâmicos), introduzida por Penman com um mínimo de empirismo, proporcionou um meio para se estimar a evapotranspiração, inclusive em base diária, por meio de dados meteorológicos coletados em estações climatológicas principais (SEDIYAMA, 1996; ALLAN & FLECKER, 1998). O método tem sido refinado com base em estimativas de evapotranspiração de diferentes culturas e condições climáticas. No entanto, de forma ideal, para se estimar a evapotranspiração teriam que ser incluídos todos os fatores que têm influência, como a morfologia da planta, a taxa de crescimento da cobertura vegetal (ou da planta), o estágio de crescimento, as características e condições do solo e a maneira como as propriedades físicas do solo afetam diretamente a água disponível no perfil para que seja aproveitada pelo sistema de raízes da planta (MACHADO & MATTUS, 2000).

A fórmula geral da equação de Penman-Monteith é base da classificação dos diferentes tipos de regiões áridas e semi-áridas no mundo proposta pela FAO. Essa classificação tem sido adotada como um padrão internacional. Com base nesse método o grau de aridez pode ser determinado pela simples relação entre a precipitação e a demanda de água da vegetação. Segundo a própria classificação, a agricultura de sequeiro só é possível partindo do intervalo das regiões semi-áridas e com altas variações na produção como resultado da variabilidade nas chuvas (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação das regiões áridas e semi-áridas no mundo segundo a FAO/UNESCO

Região	P/PET*	Características
Hiper-árida	<0,03	Chuva muito baixa e irregular que pode precipitar em qualquer estação Variabilidade interanual da chuva pode atingir 100% Sem vegetação perene, excetuando alguns arbustos nos leitos dos rios; plantas anuais podem crescer nos anos úmidos Agricultura e pecuária são, geralmente, inviáveis
Árida	0,03<P/PET<0,2	Precipitação anual de 80 – 150mm até 200 – 350mm Variabilidade interanual da chuva de 50 – 100% Vegetação esparsa, incluídas as xerófilas, suculentas e arbustos pequenos com espinhos ou sem folhas Pode existir pecuária de pastagem, mas não existe agricultura de sequeiro
Semi-árida	0,2<P/PET<0,5	Precipitação média anual de 300-400 a 700-800mm nos regimes pluviais de verão, e de 200-250 a 450-500mm nos regimes pluviais no inverno Variabilidade interanual da chuva de 25-50% Regiões de pastos com savanas e vegetação arbustiva tropical Algumas dessas regiões permitem as atividades agro-pastoris, ainda que com flutuações na produção devido à variabilidade das precipitações
Sub-úmida	0,5<P/PET<0,75	Variabilidade interanual da chuva é menor que 25% Inclui savana tropical, maquis, arbustos e regiões pastoris Atividades agrícolas

*P: precipitação anual; PET: Evapotranspiração potencial anual

Essa classificação faz uma interpretação do uso potencial do solo nas regiões semi-áridas. A classificação é relativamente limitada, mas é adequada na grande escala. Porém, essa classificação, baseada em aspectos climáticos, apresenta a qualidade de funcionar como indicador sensível às mudanças que podem ocorrer em uma região, além da vantagem de contar com a disponibilidade de dados de inúmeras estações climatológicas que existem no mundo. A figura 1 apresenta a distribuição das regiões áridas e semi-áridas no mundo, segundo a classificação da FAO.

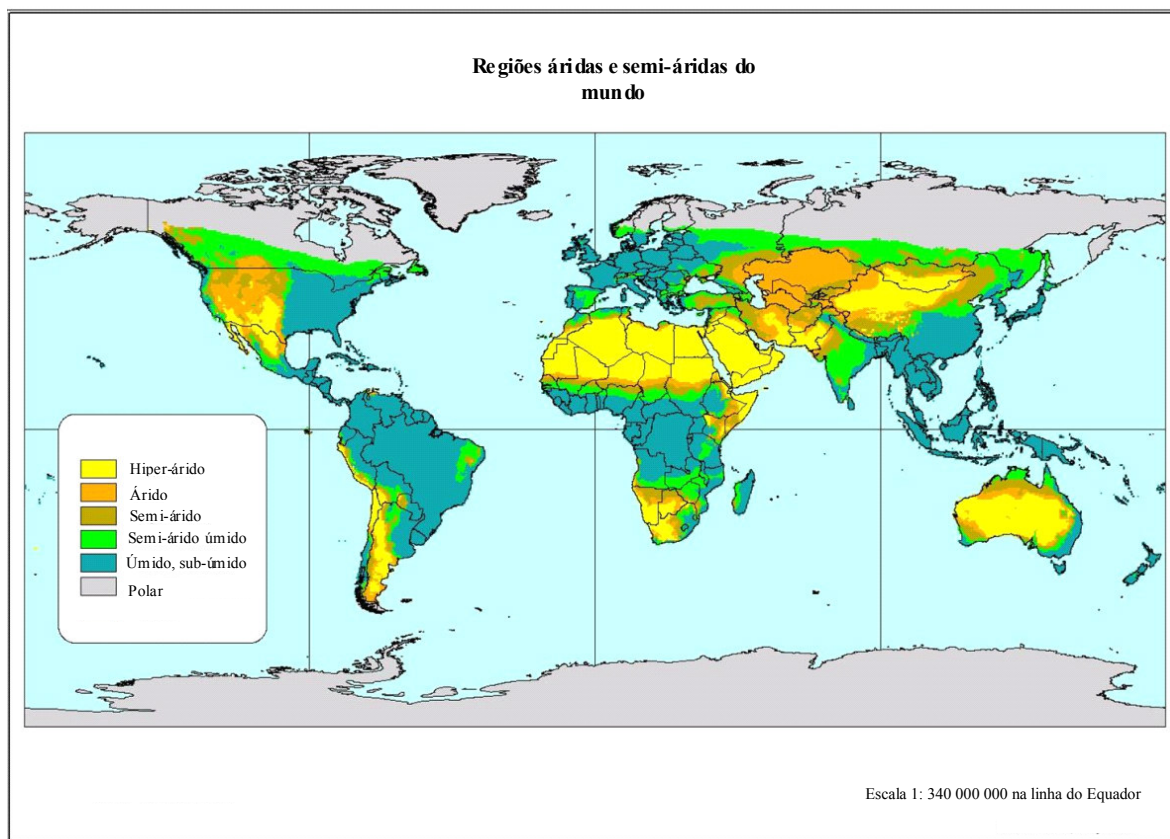


Figura 1: Mapa da distribuição das regiões áridas e semi-áridas no mundo (Fonte: FAO-IIASA, 2001)

Como foi mencionado, existe uma forte relação entre clima, solo e vegetação e essa relação torna-se mais complexa com a influência e intervenção das atividades humanas no tempo e no espaço. Nessa relação, a evaporação e a transpiração das plantas são processos de grande importância. A evapotranspiração é intrinsecamente relacionada com o desenvolvimento da biomassa vegetal e a evaporação pode acontecer na ausência de elementos biológicos. A evapotranspiração é importante porque favorece a formação e preservação das camadas superficiais do solo, ao mesmo tempo em que sustenta outras formas de vida biológica (BALEK, 1983 *apud* PONCE, 1995).

Segundo Ponce (1995), é por isso que nos ambientes semi-áridos deve-se manter ou aumentar a taxa de evapotranspiração sobre a da evaporação. Isso significa preservar a vegetação nativa para atingir o equilíbrio entre ecossistemas naturais, e os induzidos antropicamente, sejam rurais ou urbanos. O incremento nessa relação por meio de medidas de conservação pode aumentar o potencial biológico do ecossistema. No caso de uma diminuição dessa relação, por desflorestamento, sobre-pastoreio e outras formas de degradação da cobertura vegetal e dos solos, ocorrerá em um decréscimo do potencial biológico do ecossistema, comprometendo todas as formas de vida presentes nessas regiões.

Clima e solo estão intimamente comprometidos com a existência ou ausência de cobertura vegetal. O solo funciona com um elemento de retenção de umidade que é importante para o desenvolvimento da cobertura vegetal. A quantidade de água que é retida no solo depende do tipo de vegetação, do tipo de solo, da taxa de evapotranspiração e da intensidade e frequência das chuvas. Qualquer mudança climática que altere o padrão de chuvas e a taxa de evapotranspiração afeta diretamente a capacidade de armazenamento de água no solo, o escoamento superficial e a dinâmica de recarga dos aquíferos.

A relação clima-disponibilidade de água é muito importante para a sustentação dos diferentes ecossistemas naturais, assim como para as atividades produtivas socialmente criadas. Isso gera a necessidade de se conhecer a maneira como os fatores climáticos podem interferir no funcionamento desses nichos biológicos e culturais.

Existem três processos na atmosfera que podem atuar de forma global ou regional e que são causadores das condições climáticas de aridez que podem ser encontradas no Brasil: 1) alta pressão; 2) direção dos ventos, e 3) correntes oceânicas. A topografia também tem um papel importante nas condições de umidade relativa do ar a nível local e regional (NIMER, 1979; AGNEW & ANDERSON, 1992; DE PAUW *et al.*, 2000; AYOADE, 2002).

Para compreender melhor as características climáticas da região nordeste do Brasil, é necessário conhecer os processos de circulação atmosférica que a afetam. As regiões semi-áridas do Brasil constituem um ponto de convergência de quatro sistemas de correntes atmosféricas que geram instabilidade no regime de chuvas, se apresentando de maneira irregular, tanto no espaço quanto no tempo. Segundo Nimer (1979) e Ayoade (2002), a alta pressão em latitudes tropicais gera condições atmosféricas secas e estáveis que cobrem grandes áreas dessa região. A área de alta pressão subtropical ou anticiclone semifixo do Atlântico tem temperaturas relativamente elevadas devido à intensa radiação solar e do albedo das latitudes tropicais. Possui, ao mesmo tempo, umidade elevada fornecida pela intensa evaporação marítima. Entretanto, essa umidade fica limitada à camada superficial da atmosfera, dando-lhe um caráter de homogeneidade e estabilidade. A massa continental do litoral brasileiro faz que a altura da inversão térmica se localize acima dos 1500m. Em consequência a umidade do oceano é absorvida pela atmosfera penetrando até grandes alturas, tornando essa região da massa tropical marítima mais instável. No entanto, em geral, o domínio do anticiclone subtropical mantém condições de estabilidade do tempo e que inibem processos convectivos em grande escala, gerada pela corrente descendente da célula de circulação de Walker. Essa estabilidade acaba com a presença de diferentes massas de ar que

provêm dos quatro pontos cardinais, sendo este o principal fator que restringe a possibilidade de chuvas no nordeste do Brasil. Por outro lado, segundo Moura & Shukla (1981), é possível que a ocorrência de secas seja causada pelo estabelecimento da célula de Hadley – célula de circulação térmica local que tem o seu movimento ascendente na latitude 10° N e a corrente descendente sobre a região nordeste do Brasil, aproximadamente na latitude 10° a 15° S, e a área oceânica adjacente. A temperatura superficial do oceano é, também, uma importante variável relacionada aos períodos de seca na região. Em geral a pluviosidade na região nordeste decresce da costa para o interior, tendência relacionada aos sistemas de correntes perturbadas, cuja frequência diminui para o interior da região semi-árida.

Junto aos fenômenos atmosféricos que determinam o clima semi-árido nessa região, se apresentam processos de mudanças climáticas que podem acentuar as características de aridez ou os períodos de secas com graves conseqüências na disponibilidade de água (SILVA *et al.*, 2004).

Os fenômenos de *El Niño* (Figura 2) e *La Niña* (Figura 3) também atuam sobre a região nordeste do Brasil e são referidos como causa de secas nessa região, já que apresentam uma forte correlação com a periodicidade do padrão cíclico que esses fenômenos têm apresentado (MOURA & SHUKLA, 1981; SILVA & GUEDES, 2002; SILVA *et al.*, 2004; DURAND *et al.*, 2005). Durante um fenômeno de *El Niño* extremo as temperaturas do oceano podem subir, em média, de 2°C a 3,5°C acima do normal entre a costa oeste da América do Sul e o meridiano 180°W. Essas áreas de águas excepcionalmente quentes coincidem com as áreas de precipitação tropical acima da média. Já durante o fenômeno *La Niña*, as temperaturas ficam, em média, de 1°C a 3°C abaixo do normal e as áreas de águas frias coincidem com as áreas de precipitação tropical abaixo da média (PINTO, 2005).



Figura 2: Influência do fenômeno *El Niño* na América Latina e no Caribe (Fonte: UNEP, 2003)

Os eventos atmosféricos mencionados, em geral, têm durações variáveis, o que afeta os ciclos de reprodução e de crescimento de fauna e flora, já que os ecossistemas dependem da quantidade e qualidade adequadas de temperatura e de disponibilidade de água para se manter em funcionamento. Os ecossistemas das regiões semi-áridas, apesar de possuírem uma determinada capacidade de adaptação, podem ser afetados pela diminuição da disponibilidade de água e umidade, ficando ainda mais vulneráveis porque os valores de evaporação potencial média anual podem atingir e superar os 3.000 mm (SILVA, 2000 *in* SILVA *et al.*, 2004). A variabilidade climática que existe nessas regiões aumenta a vulnerabilidade das mesmas, principalmente quando considerados os cenários de possíveis mudanças climáticas globais.

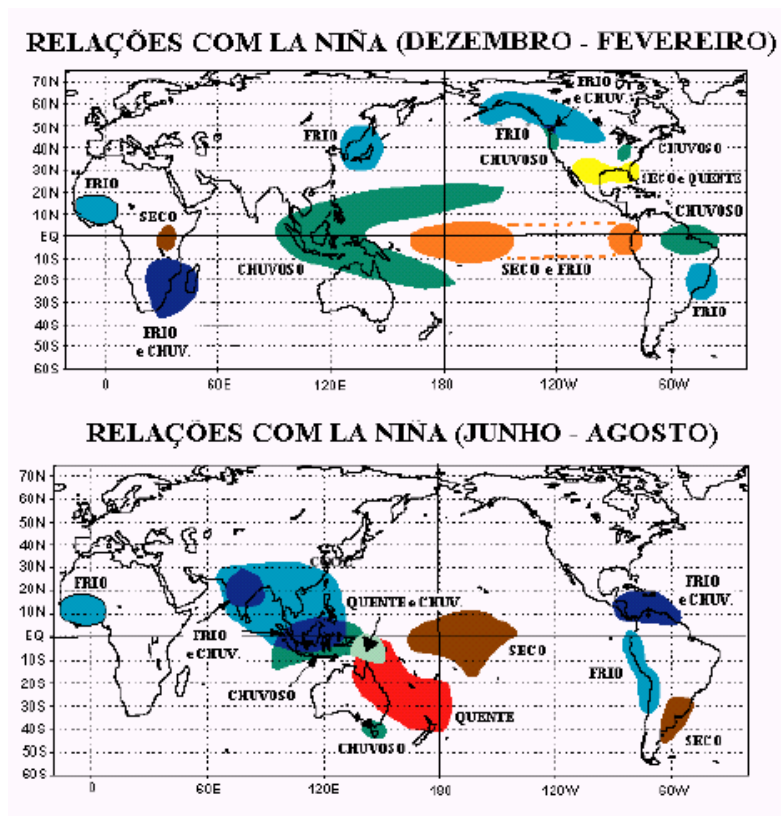


Figura 3: Esquemas da influência do fenômeno *La Niña* (Fonte: CPC, 2003 *apud* PINTO, 2005)

Essas alterações climáticas podem se manifestar desde a redução de tempo de retenção de água no solo, passando pela extinção de espécies endêmicas de fauna e flora, invasão de espécies exóticas, aumento na frequência de incêndios naturais, até a alteração da troca de nutrientes nas correntes alimentares (CONTI, 1998 *apud* VERÍSSIMO, 2002). A principal preocupação é a grande limitação da capacidade dos ecossistemas de se adaptar ou lidar com essas mudanças ambientais. Nas regiões semi-áridas a impossibilidade de auto-recuperação do meio físico pode levar à ocorrência de impactos irreversíveis, como a extinção de espécies biológicas, o que representa a diminuição da biodiversidade animal e vegetal.

Segundo o último relatório da Organização Mundial do Clima (UNEP-WMO, 2007), o aquecimento global é evidente, já que existem dados que indicam o aumento nas temperaturas da atmosfera e dos oceanos, o derretimento das geleiras polares e o aumento do nível do mar. Nos continentes, em diferentes regiões, assim como em bacias oceânicas, grandes mudanças climáticas têm sido observadas. Entre essas, mudanças nas temperaturas do Ártico e alterações nos volumes de precipitação, salinidade dos oceanos, padrões de ventos, secas, enchentes, ondas de calor, assim como a intensidade de furacões tropicais. A projeção para as próximas duas décadas é de que ocorrerá um aumento na temperatura média global de 0,2°C

por década. Ainda que as concentrações de todos os gases de efeito estufa se mantivessem constantes aos níveis do ano 2000, prevê-se um aquecimento de 0,1°C por década.

O trabalho de Normatov e Petrov (2006) é uma das contribuições que comprovam o mencionado no relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) da WMO. Esse trabalho expõe a relação entre o uso da água na agricultura na Ásia Central desde os séculos VI e VII d.C. Devido ao constante crescimento da população e do uso diversificado e excessivo da água durante o período de 1960 – 1990, a região do Tajiquistão encontra-se hoje num ponto de déficit hídrico que está causando um grave desequilíbrio ecológico. Essa situação é mais visível no Mar Aral, visto que a vazão do seu principal contribuinte, o rio Syrdarya, já diminuiu em mais de 70%. Essa diminuição, junto à alta taxa de evaporação potencial, está provocando um acelerado processo de salinização e de desertificação no entorno desse lugar. Esses processos vêm sendo intensificados pelas mudanças climáticas globais, colocando essa região numa situação de desastre ecológico de difícil solução e de grave vulnerabilidade hídrica para abastecer as necessidades básicas da população.

Durante a 26ª Conferência Regional da FAO para América Latina e Caribe, no México, em 2000, foram apresentados os problemas relacionados aos efeitos dos fenômenos climatológicos adversos na produção e o comércio de alimentos (FAO, 2000). Nessa conferência se abordaram temas relacionados à vulnerabilidade dos principais ecossistemas florestais e agropecuários da região: florestas naturais, regiões de pastos e ecossistemas de montanha. Destacou-se o papel de regulador térmico da floresta tropical na região amazônica e como a redução desse ecossistema tem alterado o ciclo hidrológico regional, gerando uma diminuição das precipitações e do tempo de retenção da água na bacia. Nesse tipo de regiões tropicais, onde se esperam aumentos da precipitação devido ao efeito estufa, as áreas desflorestadas poderão perder a proteção natural frente a condições climáticas mais agressivas, ficando mais vulneráveis às enchentes. Nas regiões semi-áridas tropicais, diminuirão as chuvas e, junto à perda da cobertura vegetal, serão verificados processos de desertificação irreversíveis, aumentando os êxodos populacionais das áreas rurais às urbanas. As regiões de Cerrado e Caatinga no nordeste do Brasil, assim como as regiões semi-áridas e secas sub-úmidas no litoral do Pacífico no México, América Central, Peru e Chile, estão se tornando regiões de risco permanente, pois a variabilidade das precipitações será ainda maior. Nas regiões de alta montanha as reservas de neve e gelo estão ameaçadas pelo aquecimento global, o que pode causar a redução dessas reservas, modificando as vazões dos rios e fazendo

com que importantes áreas irrigadas do Peru, Bolívia, México e Chile fiquem mais vulneráveis a secas.

Durante 2005, um aquecimento fora do normal das águas do Atlântico Norte causou eventos extraordinários como a seca da Amazônia e a ocorrência de furacões no sul do Brasil e posteriormente chuvas muito intensas no início de 2006, que provocaram uma grande enchente. Esses eventos acarretaram severas conseqüências econômicas e sociais e perdas humanas. Greenpeace (2006) reporta eventos extremos como as diferenças nas temperaturas máximas e mínimas que têm sido observadas e as suas conseqüências econômicas e sociais. Na safra 2004/2005 agricultores gaúchos enfrentaram a maior estiagem dos últimos 50 anos. A perda foi de 8,5 milhões de toneladas de grãos (soja, milho e feijão), com perdas de até R\$ 3,64 bilhões, e 451 municípios em situação de emergência ou estado de calamidade. Um aumento de 1° C a 3° C nas temperaturas mínimas já foi registrado em todas as regiões de Santa Catarina, provocando a diminuição e rigor das geadas e do frio do inverno. Em 2006 a seca no sul do Brasil foi considerada a pior em mais de 70 anos. No estado de Paraná as perdas foram superiores a 30% na safra agrícola. A falta de chuva provocou o racionamento de água na região de Curitiba, afetando mais de 1,8 milhão de pessoas. Nas Cataratas do Iguaçu, o volume de água diminuiu cerca de 20% em relação ao normal no período úmido. Como já foi mencionado, as mudanças climáticas podem agravar as condições das regiões mais vulneráveis do Brasil, podendo iniciar ou acentuar processos de aridização.

A região semi-árida do Brasil é possui uma área de 841.260,9 km² – 18,27% do país –, que compreende oito estados (Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais), como mostra a Figura 4. Nessa região o bioma de Caatinga (do Tupi “*caa*” que significa vegetação ou floresta e “*tinga*” que significa branca) cobre 87% da área. Esse bioma se constitui de uma floresta arbórea e arbustiva de xerófilas e plantas decíduas, e está rodeado por outros biomas, como a Mata Atlântica e o Cerrado. A paisagem da Caatinga tem uma aparência branca durante os períodos secos. Os solos são arenosos e/ou argilosos, pobres em matéria orgânica e em nutrientes. Devido à escassa precipitação e à reduzida capacidade de armazenamento de água nos solos, a maioria dos rios é intermitente (SILVA *et al.*, 2004).



Figura 4: Mapa da região semi-árida do Brasil (Fonte: Brasil, 2005)

Nessa região, assim como em outras regiões semi-áridas, anualmente milhares de hectares de vegetação nativa são cortados para produzir carvão e madeira e, em menor proporção, para abrir áreas para a criação de gado (FIGUEIRÔA *et al.*, 2006). Muitas dessas florestas apresentam um alto potencial de regeneração por meio dos brotos de plantas novas. Porém, esse potencial não é suficiente para manter as características prévias ao desflorestamento. No semi-árido brasileiro têm-se perdido 40% a 50% da Caatinga e da sua biodiversidade por causa do desflorestamento (FIGUEIRÔA *et al.*, 2006).

Geomorfologicamente, a região da Caatinga é uma depressão aplainada, com altitudes entre os 300 e os 500m acima do nível do mar (AB-SABER, 1977). Nessa mesma região, a Caatinga de alto porte está fragmentada e tem como limites áreas de solos com maior quantidade de nutrientes e áreas com excesso de umidade, como os brejos, principalmente na base das chapadas. Segundo Coimbra-Filho & Câmara (1996), essas florestas foram devastadas pela exploração das madeiras e para abrir áreas para a criação de gado, pouco após da colonização no século XVI. Outro tipo de uso de terra foi adotado ao longo do tempo e começou-se a extração de lenha para produção de carvão e a caça, entre outras atividades. Essas atividades foram feitas de maneira sistemática, gerando uma descaracterização do ecossistema e, em casos extremos, eliminando-o totalmente para ser substituído por paisagens artificiais. Nesse caso, é o sistema agro-pastoril que constitui o fator que maior pressão exerce sobre a cobertura vegetal do semi-árido brasileiro. Em geral, o que resta do sistema natural da Caatinga está muito fragmentado e degradado (CASTELLETTI *et al.*, 2004; ANDRADE *et al.*, 2005).

Segundo Andrade-Lima (1981), nas regiões semi-áridas brasileiras cresce o índice de alteração da vegetação nativa e a degradação dos recursos naturais, elevando os riscos de desertificação. Se para o funcionamento adequado dos ecossistemas naturais essas condições climáticas não favorecem o desenvolvimento permanente das espécies vegetais, para as atividades agropecuárias significa condições limitantes para o bom desenvolvimento das culturas e, portanto, afetando a produtividade tanto da agricultura quanto da pecuária. Como resultado a água para consumo humano e para agricultura torna-se vulnerável, ainda mais quando não podem ser consideradas estruturas de armazenamento ou água subterrânea, como sucede nas grandes áreas rurais do semi-árido brasileiro. Durante os períodos de déficit hídrico, a pouca disponibilidade de água agrava ainda mais o problema regional com conseqüências de tipo social.

3.2 Histórico das secas na região semi-árida do Brasil

Muitas tentativas têm sido feitas ao longo do tempo para amenizar as difíceis condições ambientais no semi-árido brasileiro, dado que a pouca disponibilidade de água fica ainda mais restringida durante os períodos de seca. Já no século XVII, foram reportadas secas prolongadas nos anos de 1603, 1606, 1614, 1652 e 1692 (GUERRA, 1981, *apud* PONCE; 1995; REBOUÇAS & MARINHO, 1972 *apud* Ponce, 1995). Segundo Ponce (1995), na obra *Os Sertões*, de Euclides da Cunha, escrita em 1902, são listadas as 10 maiores secas dos séculos XVIII e XIX. Outros estudos parecem indicar que a recorrência das secas no nordeste do Brasil acontece com uma periodicidade em torno de 11 anos. No século XX foram documentados períodos de seca em 1903-04, 1915, 1919, 1930-32, 1942, 1953, 1958, 1970, 1979-83, 1990-93 e 1998-99, com variações espaciais no próprio Polígono das Secas.

A seca de 1877-79, que ocasionou a morte de mais de 500.000 pessoas, levou o governo brasileiro a formular, pela primeira vez, políticas e estratégias para combater os efeitos das secas (OTTONI & OTTONI, 1998). Em 1881, uma comissão encabeçada pelo engenheiro J.J. Revy estudou sítios potenciais para a construção de barragens no Ceará e em 1884 foi autorizada para começar a construção da barragem de Cedro, em Quixadá (PONCE, 1995; OTTONI & OTTONI, 1998).

Em 1909, o governo estabeleceu a Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS), a qual se ocupou de coordenar e unificar as ações do governo dentro da abrangência espacial do Polígono das Secas, além de desenvolver um amplo plano de atividades para combater os efeitos das irregularidades climáticas. Nesse organismo foram ordenados estudos científicos

para se obter informações de base sobre os recursos hídricos, solos e vegetação da região que até hoje servem de referência para vários estudos (PONCE, 1995).

Em 1932, ano de seca considerável, o governo autorizou a construção de várias obras públicas na região afetada pela seca. A Inspetoria Federal de Obras Contra as Secas (IFOCS) tinha a tarefa de se concentrar exclusivamente na construção de barragens e obras de armazenamento. Dezesete barragens foram completadas num período de cinco anos. Em 1937 o apoio para essas obras acabou ante a percepção de que a seca não era mais um problema imediato (GUERRA, 1981 *apud* PONCE, 1995).

Depois da seca de 1958, o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), sucessor da IFOCS, iniciou a construção de grandes barragens, como as de Orós e Araras, e iniciou um programa de construção de pequenas barragens, conhecido como Açudagem em Cooperação. Estas últimas deviam ser construídas em propriedades privadas com a cooperação de cidadãos particulares e apoio federal variando de 50 a 70% do valor da obra, segundo os custos do projeto.

Em 1967, o DNOCS estabeleceu um programa de Engenharia Rural que devia responder pela construção de pequenas barragens e reservatórios de água em regiões altas, barragens subterrâneas, construção de poços, sistemas de irrigação de pequeno porte e eletrificação de áreas rurais. Segundo Ponce (1995), o programa não prosperou, aparentemente devido à falta de vontade política regional. Esse programa foi substituído posteriormente pelo Projeto Sertanejo.

Além da construção de barragens e reservatórios, o uso da água subterrânea tem sido uma ferramenta alternativa para amenizar os efeitos das secas nas regiões semi-áridas. Porém, nem sempre isso é possível, já que numa grande porção do semi-árido brasileiro a geologia subjacente consiste em material rochoso cristalino, uma formação metamórfica de gneiss, xistos e amfibolitos. A água nesse tipo de formação é de baixa qualidade, rica em sais e não recomendável para consumo humano. A produção dos poços tem valores inferiores a 3 m³/h. Mesmo nas áreas com capacidade de armazenamento, ainda se observam condições salobras da água subterrânea, com valores de salinidade acima de 2.500 mg/l (TUCCI *et al.*, 2001).

Como se pode deduzir, ao longo do tempo a principal maneira de solucionar alguns dos problemas gerados pela falta de água na região do semi-árido brasileiro tem sido principalmente por meio do armazenamento do escoamento superficial em diversos tipos de

obras. Essas obras, até a década dos noventa do século passado, eram construídas sem considerar os problemas ambientais que poderiam gerar, acentuando ainda mais a fragilidade e vulnerabilidade dos ecossistemas das regiões semi-áridas.

3.3 Restauração ambiental

Os ecossistemas frágeis, como os das regiões áridas e semi-áridas, são os mais afetados pelos impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas (FAO, 2001a). A degradação ambiental está, geralmente, relacionada à pobreza; no entanto, ambas são resultados da crise do sistema de produção predominante, da transformação da natureza em bem de consumo. A excessiva exploração dos ecossistemas, que sustentam os processos produtivos, tem desencadeado mudanças em níveis globais – a diminuição da biodiversidade, o aquecimento global, a depleção da camada de ozônio – que ameaçam a estabilidade e sustentabilidade do planeta (LEFF, 1998).

A definição de meio ambiente, que inicialmente só tinha uma perspectiva ecologista, tem incorporado os processos sociais que determinam os problemas ambientais. Apesar dessa mudança conceitual, os programas de recuperação ambiental têm se baseado em concepções básicas da ecologia. É por isso que o termo recuperação, ou restauração ambiental, é de difícil definição. Pode-se dizer, porém, que o termo se refere às ações que são realizadas em ambientes degradados para que esses atinjam as condições anteriores à degradação. Por ser um termo muito abrangente, essa definição tem gerado múltiplas discussões, já que não se determinam quais são os limites – ecológicos, sociais e culturais – dessa perspectiva. As definições que existem na literatura – elaboradas a partir da lógica da ecologia – proporcionam uma base para identificar ambientes que podem ser objeto de estudo para restaurar as condições naturais prévias à degradação desses locais, a partir de elementos como a biodiversidade e a estrutura geral do ecossistema. Ainda assim, a UNESCO (1980, *apud* LEFF, 1998) afirma que, apesar dos aspectos biológicos e físicos constituírem a base natural do ambiente humano, são as dimensões sócio-culturais e econômicas que devem definir as orientações e instrumentos conceituais e técnicos que permitirão ao homem entender e usar melhor os recursos da biosfera para a satisfação das suas necessidades.

Contudo, a idéia geral de recuperação ambiental não considera o elemento humano e geralmente não identifica o fim da recuperação e conservação ambiental como base dos novos paradigmas da economia sustentável. Constitui-se, então, como um conceito parcial que é o de reconstruir um sistema natural integrado ecologicamente com a paisagem onde ocorre. A

recuperação ambiental precisa de diversos processos: reconstrução das condições físicas antecedentes, ajustes químicos de solo e água e manipulação biológica, como a re-introdução de flora e fauna nativa. A recuperação ambiental é um processo holístico que só pode ser alcançado por meio da manipulação dos diferentes elementos presentes no meio ambiente de maneira integral (EHRENFELD, 2000).

Clewell *et al.* (2000), da *Society for Ecological Restoration International*, mencionam que recuperação ou restauração ambiental é uma estratégia de conservação que busca restabelecer as funções de um ecossistema para que sejam mantidas as condições de riqueza e de estrutura da sua biodiversidade em condições próximas às originais, com a finalidade de que evolua de maneira natural em longo prazo. Dessa maneira, o ecossistema amadurecerá respondendo naturalmente às mudanças ambientais. Quando a restauração não é possível, é necessário designar o projeto como de reabilitação, cujo objetivo é proporcionar um tratamento curto que beneficie ecologicamente o ecossistema a tratar.

É fundamental mencionar a importância de se conhecer as condições originais do ecossistema para poder estabelecer as metas de recuperação (GWIN *et al.*, 1999). No entanto, existe outra perspectiva que estabelece que não é necessário conhecer as condições originais do ecossistema. Lewis (1989) e Gwin *et al.* (1999) mencionam que a restauração do sistema pode acontecer no momento em que o ambiente degradado seja capaz de funcionar ecologicamente, ainda que essa condição tenha sido alterada pelo homem previamente. Porém, em ambos os casos, deverão ser definidos os limites e estabelecidas as metas que sejam possíveis de se alcançar. Nesse sentido é importante destacar a abordagem da Ecologia da Paisagem, cujo enfoque, incluído como parte da Gestão de Ecossistemas, é o mais utilizado atualmente para o estabelecimento de objetivos de restauração em diversas partes do mundo e tem como base ou unidade de estudo a bacia hidrográfica. Adicionalmente, esse enfoque reconhece os processos, em grande e pequena escalas, que são necessários para a preservação das espécies, ao mesmo tempo em que identifica a natureza dinâmica das diferentes entidades ecológicas (EHRENFELD, 2000).

A abordagem teórica da perspectiva da Ecologia da Paisagem permite visualizar os processos que ocorrem no meio ambiente dentro do nível de paisagem, permitindo relacionar os processos em grande escala com os processos em menor escala, tanto geomorfológicos, pedológicos, quanto florísticos e faunísticos (AB'SABER, 2000). É nessa relação que persiste a importância de trabalhar com a bacia como unidade de estudo.

A idéia central do conceito de manejo de bacias é manter e aprimorar as qualidades físicas, químicas e biológicas dos rios, córregos e das áreas adjacentes. O manejo adequado de uma bacia hidrográfica depende do entendimento dos componentes que conformam essa unidade espacial, assim como as interações que existem entre eles. O interesse no manejo do equilíbrio dos recursos naturais surgiu após a forte degradação que apresentaram gradualmente as paisagens e os rios em algumas regiões do mundo no início do século XIX, como consequência dos processos de urbanização e industrialização (BISWAS & TORTAJADA, 2001).

Os rios, eixos principais das bacias hidrográficas, são indicadores de impactos acumulados (CADA & HUNSAKER, 1990), razão pela qual se constituem como integradores das paisagens e receptores de poluentes, sejam estes atmosféricos ou terrestres, justificando a abordagem da bacia como unidade de estudo. Por isso, a bacia hidrográfica deve ser considerada conceitualmente como uma unidade de ação integral dentro de limites espaciais claramente definidos. A UNESCO (2006a) considera essa característica como um elemento promotor da integração, tanto das comunidades que habitam o local quanto das instituições que serão responsáveis pelo gerenciamento da bacia.

Allan e Flecker (1993 *apud* REIMOLD, 1998) identificaram como principais fatores na transformação da paisagem as mudanças hidrológicas em córregos e rios, as modificações no uso do solo, a alteração de hábitat e a contaminação não pontual. Essas alterações, sejam naturais ou antrópicas, constituem as maiores ameaças ao bem-estar dos ecossistemas lóticos, além de afetar o entorno espacial dos rios e os seus afluentes. A recuperação de uma bacia deve considerar em conjunto os componentes naturais e os antrópicos para se obter uma abordagem real da problemática ambiental. Segundo Karr (1999), as alterações induzidas pelas comunidades humanas são muito mais significativas do que as naturais, mas também existem diferenças geográficas devido ao contexto de stress ambiental presente em nível local e regional, o qual pode ser considerado como condicionante nas regiões áridas e semi-áridas. O entendimento dessa premissa deve ser a base para a elaboração de um plano de recuperação ambiental de uma bacia.

O conceito de Recuperação Ambiental de Bacias Hidrográficas foi incluído na Lei de Recursos Hídricos dos Estados Unidos da América (EUA) depois da publicação do *Clean Water Act*, em 1972 (REIMOLD, 1998). O objetivo principal dessa lei é a manutenção da integridade das águas dos rios e lagos dos EUA. O *Clean Water Act* estabelece o contexto legal e as ferramentas tecnológicas e financeiras para solucionar a problemática de

disponibilidade, poluição e baixa qualidade da água. Porém, apenas no período entre 1985 e 1990 foram criadas organizações estatais nos EUA para tratar dos problemas relacionados às condições ambientais dos rios. Esses órgãos passaram a implementar programas nos quais se motivava a participação, tanto do governo como dos cidadãos, para melhorar as condições físicas das bacias e dos elementos bióticos que nelas existem. Com base nessa participação conjunta, em 1993, a legislação norte-americana estabeleceu a formação dos Conselhos Locais de Bacias Hidrográficas, ou *Local watershed councils* (SOSCIA, 1997). Um dos exemplos mais importantes dos resultados positivos obtidos é o *Oregon Watershed Health Program*, no qual se considera que a participação cidadã foi o elemento mais importante no sucesso do programa. Em países da Europa e na Austrália existem, também, diversos casos de projetos de recuperação de rios. No entanto, as técnicas de recuperação e métodos para avaliar o sucesso ou fracasso para solucionar os problemas ambientais nas bacias hidrográficas têm tido um enfoque de recuperar o potencial econômico dos rios (LAENNEN & DUNNETTE, 1997; VANDEVELDE & FAUCHON, 1998).

Essas técnicas de recuperação de bacias hidrográficas têm sido aplicadas em diversas regiões com resultados satisfatórios segundo os objetivos de recuperação estabelecidos. A maioria desses estudos visa à recuperação qualitativa e quantitativa dos processos biológicos e hidrológicos. Mas existem também outras metodologias que buscam a recuperação da vazão e da vegetação por meio do reflorestamento das matas ciliares (LIMA & ZAKIA, 2001), controle da erosão nas vertentes dos rios (EPA, 1998; CONAF-JICA, 1998; AB'SABER, 2000), conservação e manutenção de áreas alagadas como sistemas de reciclagem biogeoquímica e de controle de volumes e enchentes (WHITAKER, 1993 *apud* TUNDISI, 2003), introdução de corredores de florestas de espécies nativas (EPA, 1998; TUNDISI, 2003), controle das fontes pontuais e não pontuais de contaminação etc. Em geral, procura-se utilizar eco-tecnologias de baixo custo que correspondam ao funcionamento dos ecossistemas locais e que sejam concordantes com as condições socioeconômicas do local. No entanto, só recentemente as técnicas de captação de água de chuva passaram a ser consideradas como alternativa para recuperação ambiental de áreas semi-áridas considerando as características topográficas, dos solos, assim como as necessidades de água de algumas espécies de árvores e arbustos (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991; CHEN, 2004; SIEGERT *et al.*, 2003: versão português, 2006).

Na América Latina as políticas do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) promovem o manejo integral de bacias hidrológicas a partir de um ponto de vista econômico,

a fim de facilitar a implementação de planos de taxaço sobre o uso dos recursos naturais, principalmente em áreas com uso intensivo do recurso hídrico (BISWAS & TORTAJADA, 2001). Isso teve influência nos países da América Latina, onde as tentativas de recuperar ambientalmente algumas bacias hidrológicas começaram no início dos anos noventa do século passado, apesar do predomínio do enfoque do manejo integral com fins econômicos. Segundo um relatório da *International Network of River Basin Organizations* (INBO), em vários países da América Latina foram organizadas atividades relacionadas com o gerenciamento de bacias hidrográficas por meio de comissões ou comitês de bacias (GARCIA, 2001). Um deles foi o Brasil, onde foram criados mais de 60 comitês de bacias logo após a aprovação da Lei que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, em 1997 (GARCIA, *op cit.*).

Apesar dos esforços, na América Latina são poucas as experiências relativas a planos de recuperação de bacias, razão pela qual é importante dar apoio e difusão aos estudos hidrográficos e hidrológicos que estão sendo elaborados nesse tema. O principal problema enfrentado por países como o Brasil é que as experiências das regiões temperadas podem não ser adequadas às condições dos trópicos e das regiões semi-áridas, onde se verificam alguns dos mais graves problemas de degradação ambiental. Por isso, é necessário criar ou adaptar métodos e técnicas, com base na experiência já adquirida, que sejam adequados às condições físicas, econômicas e culturais dessas regiões. As condições desejadas estarão baseadas nas necessidades sociais verificadas nessas áreas, isto é, na sustentabilidade econômica, social e cultural das populações aí residentes (KARR & CHU, 1991 *apud* RICHARD *et al.*, 1999), gerando as condições propícias para a otimização dos recursos múltiplos dos rios, represas e corpos de água em geral, assim como a produção de bases científicas que permitam a aplicação de modelos de gerenciamento de acordo com as condições geográficas, sociais e culturais das diferentes regiões do Brasil.

No Brasil, a utilização do solo, desde o início da colonização, caracterizou-se pela implantação de sistemas agrícolas de culturas exóticas que fomentaram uma exploração do tipo cíclica e migratória (FERREIRA *et al.*, 2000). A implantação desses sistemas de produção trouxe como consequência o empobrecimento do solo de maneira constante até chegar às condições atuais. O Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 1996 aponta que, de um total de 227 milhões de hectares ocupados com atividades agropecuárias no Brasil, 78% constituem áreas de pastagem, atividade que, de modo geral, é característica de solos pobres ou que sofreram degradação pela ausência de práticas conservacionistas.

Bragagnolo e Pan (2000 *apud* Muñoz, 2000) afirmam que no Brasil as perdas médias de solo provocadas por erosão hídrica alcançam volumes de 15t/ha/ano. Os mesmos autores mencionam como causas importantes da erosão hídrica a ocupação fundiária, o uso do solo e as técnicas agropecuárias utilizadas.

O processo de ocupação desde a época do Brasil Colônia foi reduzindo aos poucos a cobertura vegetal, iniciando processos de erosão dos solos em diversas regiões do país. Junto a esse processo de desmatamento as atividades agrícola e pecuária ocuparam áreas com boa aptidão, assim como outras que não eram próprias para o desenvolvimento dessas atividades econômicas, seja pelas características topográficas, seja pelas características edafológicas. O aspecto climático também não foi considerado, principalmente o regime de chuvas de tipo torrencial e de períodos curtos, que, junto ao desflorestamento e às práticas inadequadas de agricultura e pecuária, tem acelerado ainda mais os processos de erosão e a perda da capacidade produtiva dos solos.

No Brasil, os instrumentos de política ambiental começaram a se fortalecer a partir de 1970, sob a influência da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, realizada em junho de 1972, em Estocolmo, Suécia (BAER, 1996 *apud* MORAES & TUROLLA, 2004). A criação da estrutura pública de regulação iniciou-se com a criação da Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), em 1973. Em 1981, o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) promoveu como principal instrumento de planejamento o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) para planejar o desenvolvimento do território. A promulgação da Constituição Federal de 1988 trouxe um capítulo sobre o Meio Ambiente e inseriu mudanças significativas na área ambiental. No mesmo ano foi instituída a Lei de Crimes Ambientais, contribuindo para o fortalecimento dos instrumentos de direito ambiental. Em 1989, a SEMA foi extinta, com a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Em 1992, foi criado o Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal (MMA), que assumiu a coordenação da Política Nacional do Meio Ambiente, sendo responsável pela definição de objetivos, metas e políticas ambientais para o país.

O marco inicial sobre o debate técnico e jurídico entre apropriação, exploração e conservação dos recursos hídricos no Brasil foi o Decreto Federal nº 24.643, de 1934, que instituiu o Código das Águas, regulamentando a classificação e utilização dos corpos de água, dando um destaque fundamental aos usos das águas, principalmente a destinada à geração de energia hidrelétrica. Posteriormente, com a criação do Código das Águas, inúmeras ações foram

implementadas pelo poder público frente à preocupação com o saneamento, o abastecimento, a irrigação, a poluição e a geração de energia hidrelétrica nas bacias hidrográficas, como: o Código Nacional de Saúde (em 1961); o Código Florestal (em 1965); a Política Nacional de Saneamento (em 1967); o Comitê Especial de Estudos Integrados das Bacias Hidrográficas – CEEIBH (em 1978); e o Programa Nacional de Micro-bacias Hidrográficas – PNMH (em 1987).

Só em 1997, por meio da Lei Federal nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, foi definida a bacia hidrográfica como a unidade territorial para implantação da gestão dos recursos hídricos e outros recursos. Nessa mesma lei estabelece-se que a gestão deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades. Dentro dessa política foi criada, em 2000, a Agência Nacional de Águas (ANA), que funciona como entidade federal integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, para gerenciar e regular as diferentes ações voltadas para exploração e conservação dos recursos hídricos em todo território brasileiro.

Contudo, existe um conflito entre os diferentes tipos de uso e a disponibilidade de água nas diferentes regiões do Brasil. Nas regiões rurais o desenvolvimento está diretamente relacionado com a disponibilidade de água, de tal forma que a tendência é de que o uso agrícola esteja voltado para a agricultura de subsistência em pequena escala. Ainda assim, existem regiões de agricultura extensiva, como a fruticultura, onde se tem investido em obras e projetos que tornam viável a exploração agrícola pela ocorrência de um maior número de safras em um mesmo ano. Esse tipo de empreendimento exige a regularização da água sem falhas durante períodos longos, já que os plantios são de tipo permanente (TUCCI *et al.*, 2001).

Segundo Galizioni e Ribeiro (2004), na região semi-árida mineira foram implantados projetos de desenvolvimento agrário a partir de 1970. Esses projetos estavam baseados na agricultura irrigada e neles a água sempre foi percebida como um bem ilimitado e as práticas costumeiras de usos locais foram ignoradas. Nessas regiões, os programas de desenvolvimento quase sempre foram concebidos para colonizar um espaço visto por técnicos e planejadores como um *vazio* de gente, práticas e de produção (RIBEIRO, 1986 *apud* GALIZIONI & RIBEIRO, 2004; SHIKI, 2000 *apud* GALIZIONI & RIBEIRO, 2004). Os agricultores envolvidos nos projetos eram selecionados da elite local. Dessa forma, os projetos visavam inaugurar procedimentos produtivos aonde nada havia. Os recursos hídricos, base da produção, eram avaliados como recursos que podiam ser usados sem restrição. Essa liberalidade com o uso

dos recursos naturais estava embutida na perspectiva da *revolução verde*, que propunha uma agricultura que se tornasse, de certa forma, independente do ritmo da natureza (DA SILVA, 1981 *apud* GALIZIONI & RIBEIRO, 2004). Nas chapadas do Jequitinhonha as nascentes foram soterradas pelo plantio de monocultura de eucaliptos por empresas reflorestadoras ou foram alteradas junto com a vegetação nativa por empresas de produtoras de carvão. Algumas das barragens construídas por fazendeiros e empresas para irrigação de cafezais no alto Jequitinhonha diminuíram o volume de água em córregos e ribeirões a jusante. As vazões de alguns dos tributários do Jequitinhonha vêm diminuindo ano a ano; uma das principais causas apontadas é o impacto das bombas de irrigação instaladas de forma desordenada nos cursos de águas (GALIZIONI & RIBEIRO, 2004).

Após ter sido incorporado o conceito de gestão integrada na Lei Federal de Recursos Hídricos de janeiro de 1997 e após a implementação de planos que definiram a bacia hidrográfica como unidade referencial de trabalho, foram colocadas em prática algumas iniciativas de mudança no manejo dos recursos naturais, mais particularmente na parte do manejo do solo agrícola e dos recursos hídricos (CEDRAZ, 2001). Os conflitos gerados pela relação disponibilidade/demanda no semi-árido precisam de soluções específicas, onde se dê a participação dos atores interessados dentro do âmbito de comitês de bacias e associações civis para solucionar tanto aspectos de gerenciamento dos recursos hídricos e do solo quanto evitar os possíveis danos ecológicos resultantes de determinado tipo de atividade.

Essas iniciativas foram intensificadas a partir de finais da década de 1990 em vários estados brasileiros. Foi estabelecido um novo paradigma para solucionar as questões ambientais, principalmente no meio rural, por meio do enfoque do manejo de bacias hidrológicas. No entanto, essas mudanças ainda são pouco perceptíveis, já que é necessária a participação das comunidades rurais para que, por meio de organizações, associações, comissões ou conselhos, essas se envolvam diretamente junto com outros atores e atuem articulando os problemas de produção com os problemas ambientais, percebendo a inter-relação existente entre meio ambiente e aspectos socioeconômicos e buscando soluções de maneira integrada.

No entanto, existe pouca integração entre os organismos públicos, privados e civis que implementam ações preventivas dos possíveis problemas ambientais e sociais decorrentes do fenômeno das secas, assim como das enchentes. As secas, em geral, são minimizadas pela implementação de redes de poços de abastecimento e de reservatórios, de programas de educação rural na conservação de água e na implementação de técnicas como barragens subterrâneas e cisternas. Assim, segundo Tucci *et al.* (2001), os programas de apoio para as

regiões semi-áridas têm sido mais de natureza curativa. Entretanto, os programas de caráter preventivo deveriam considerar sempre os condicionantes básicos de solo, geologia, clima, e aspectos sociais, econômicos e culturais de cada local para elaborar um plano de apoio concordante com a realidade.

Segundo Palmer *et al.* (1997), a recuperação de ecossistemas degradados no Brasil se realizava desde antes de 1990 como uma atividade sem concepções teóricas, sendo executada normalmente de maneira empírica. Inicialmente era feita como uma simples prática de plantio de mudas com objetivos específicos, como controle da erosão, estabilização de taludes, melhoria visual etc. A recuperação de áreas degradadas tem adquirido, nos últimos 15 anos, uma abordagem científica e hoje é considerada uma área de conhecimento que é denominada de Restauração ecológica ou Recuperação ambiental.

Segundo Rodrigues e Gandolfi (2001), a restauração ecológica deixou de ser somente um conjunto de práticas agrônômicas ou silvícolas que reincorporam espécies arbóreas na tentativa de recuperar os processos ecológicos que permitisse a continuidade das comunidades biológicas. No Brasil, estão sendo elaborados estudos de ecologia florestal nos diferentes ecossistemas alterados que tratam de temas como a dinâmica de regeneração natural, parâmetros estruturais e genéticos de populações etc. Existe hoje um interesse cada vez maior pela recuperação de rios e formações ciliares, contextualizando-os desde a perspectiva do manejo de bacias hidrográficas, principalmente quando a restauração tem suas justificativas na questão hídrica, e da adequação do uso dos solos agrícolas do entorno e da própria área a ser recuperada. Os mesmos autores chamam a atenção de que a abordagem científica deve focar a busca de soluções eficazes para a recuperação de uma determinada degradação ambiental, ao mesmo tempo em que deve ser considerada uma ferramenta de trabalho na ecologia experimental. Dessa maneira, os projetos de recuperação ambiental tornam-se laboratórios para estudos ecológicos que permitem a coleta de informação importante no conhecimento do funcionamento e preservação dos ecossistemas. Esse tipo de estudos permite re-estabelecer espécies vegetais e animais, assim como as funções dos ecossistemas, e, incluso, realizar uma manipulação dos processos naturais para acelerar a recuperação de uma determinada área. Adicionalmente, esses autores mencionam que no Brasil as propostas de manejo ambiental dos diferentes ecossistemas têm sido feitas visando à produção econômica por meio da implantação de sistemas agroflorestais nas áreas ciliares de pequenas propriedades agrícolas ou entre espaços das mudas nativas onde são cultivadas,

temporariamente, espécies econômicas visando o controle de espécies competidoras, principalmente pastos.

3.3.1 Propostas metodológicas na restauração ambiental

O estabelecimento de objetivos específicos em projetos de restauração ambiental é considerado seu componente mais importante, já que deles derivam os planos de ação que determinam o tipo e a abrangência do monitoramento durante e após a implantação do projeto. Segundo Ehrenfeld (2000), a restauração pode estar orientada à recuperação e/ou à preservação de determinadas espécies vegetais ou animais, ou se concentrar em paisagens ou ecossistemas completos. Os objetivos também podem estar enfocados nos serviços ambientais que determinado ecossistema pode oferecer.

Uma das propostas mais utilizadas é a de considerar a paisagem como um todo, utilizando as bacias hidrográficas como unidade de restauração. Essa perspectiva permite considerar as dinâmicas da paisagem de maneira holística e, ao mesmo tempo, integrar os processos em grande escala com os processos em pequena escala, como a ecologia dos solos e a biologia das espécies (EHRENFELD, 2000).

Segundo Briggs (2003), algumas experiências realizadas em regiões semi-áridas dos Estados Unidos da América têm demonstrado que diversos aspectos devem ser considerados para atingir um processo efetivo de restauração em determinado ecossistema. O principal é o entendimento claro dos processos presentes e passados no local, assim como os motivos pelos quais se apresentou o processo de degradação. Outro aspecto a ser considerado é a incorporação e implementação de uma abordagem que permita a recuperação de maneira mais próxima dos processos naturais. Briggs (2003) coincide com Ehrenfeld (2000) ao afirmar que avaliação deve ser feita no contexto da bacia hidrográfica e de suas unidades de paisagem e deve existir um envolvimento dos moradores no projeto. Kageyama e Gandara (2001) também destacam a importância do conhecimento do ambiente físico, biológico e humano da paisagem regional, sendo o enfoque mais adequado o da bacia hidrográfica, que, dependendo do porte do projeto, poderá compreender desde uma microbacia até uma bacia de ordem maior. Desta maneira, após o estudo dos fatores interatuantes dentro da bacia hidrográfica, é possível escolher o método de restauração adequado para as condições do local.

Rodrigues e Gandolfi (2001) mencionam que para o sucesso da restauração deve-se considerar a adequação dos objetivos do plano de recuperação com as características intrínsecas da área degradada. Existem divergências metodológicas entre as propostas de

recuperação devido aos diferentes objetivos de projetos, como aqueles que visam recuperar uma determinada formação vegetal ou um bioma, ou aqueles cujo interesse é aprimorar a base física dos sistemas de produção para atividades agropecuárias.

A escolha adequada das espécies é mencionada, também, como um dos fatores que devem ser considerados. Deve-se avaliar a adaptabilidade das espécies para cada condição ambiental, já que essas apresentam particularidades diferentes segundo a região fitogeográfica (KAGEYAMA & GANDARA, 2001; RODRIGUES & GANDOLFI, 2001). Kageyama e Gandara (2001) afirmam que a escolha de espécies depende do objetivo da restauração, se a floresta visa à proteção de Áreas de Proteção Permanente (APP), à recuperação de áreas degradadas, ou à produção de madeira e outros produtos florestais. Estes últimos autores definem a restauração a partir de plantios mistos possibilitando o máximo de diversidade de espécies nativas para assim recuperar a estrutura e a dinâmica da floresta, ação apropriada para APP perturbadas ou degradadas. Os plantios que visam à recuperação de áreas degradadas não localizadas em APP podem ser efetuados com menor diversidade e até com monoculturas, sendo comum o uso de espécies exóticas, tendo cuidado com o uso daquelas que podem tornar-se invasoras.

Li e Gao (2004), com base em seu trabalho experimental sobre modelos de restauração de ecossistemas, propõem as técnicas de captação de água de chuva por escoamento como uma maneira efetiva, simples e de baixo custo para aprimorar as condições ambientais em regiões áridas e semi-áridas com solos de *loess*. De maneira similar, Li *et al.* (2005) e Li *et al.* (2006) realizaram trabalhos de pesquisa para determinar a eficiência das técnicas de microcaptação de água de chuva por escoamento para facilitar o processo de reflorestação na região semi-árida da China onde a capacidade de retenção de umidade do *loess* é muito reduzida. A utilização de diferentes estruturas de microcaptação de água de chuva melhorou significativamente o desenvolvimento da vegetação, já que essas incrementaram a umidade disponível no solo para as mudas plantadas. Devido à variabilidade climática na região semi-árida da China e a perda quase total da vegetação original, nos três trabalhos foram utilizados indicadores físicos do solo, assim como das espécies arbóreas selecionadas, resistentes a períodos secos.

3.3.2 Indicadores de avaliação de recuperação ambiental

Ante à necessidade de avaliar o grau de recuperação atingido por diferentes projetos que têm sido implantados em diversos locais, foram criados indicadores que permitissem realizar uma

avaliação periódica. De acordo com Rodrigues e Gandolfi (2001), o uso de indicadores, que podem ser qualitativos ou quantitativos, facilita o processo de avaliação que se constrói a partir dos objetivos do projeto de restauração.

Segundo Vivan e Floriani (2006), os indicadores ajudam a entender as mudanças no estado qualitativo e/ou quantitativo de um sistema, sejam mudanças naturais ou provocadas pela ação humana. Uma vez definido um indicador, é necessário um padrão de observação, o que se denomina como monitoramento. O conjunto de dados reunidos por meio do monitoramento permite avaliar, com base em diferentes tipos de análises, os resultados sobre as mudanças dos componentes do meio ambiente.

No entanto, existem poucas referências sobre indicadores e monitoramento de recuperação de ambientes áridos e semi-áridos. O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), em conjunto com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (EPA), o Serviço de Conservação de Recursos Naturais dos Estados Unidos da América (NRCS) e o Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (USACE), e junto a outras organizações e pesquisadores de diversas partes do mundo, desenvolveram uma variedade de métodos para monitorar indicadores de recuperação ambiental em áreas semi-áridas com vegetação de savana que integrassem solo e vegetação, já que a maioria desses métodos se concentra em um só aspecto. Existem indicadores que refletem mudanças básicas nos processos ecológicos que são fundamentais para a sustentabilidade e produtividade dos ecossistemas. Esses métodos consideram três condições importantes para o bom funcionamento da base de um ecossistema de uma região semi-árida: a estabilidade do solo, a função hidrológica do local e a integridade biótica. A informação obtida com base nos indicadores pode definir o tipo de manejo do ecossistema, segundo os objetivos que tenham sido definidos.

A metodologia proposta pelo USDA e pelo USACE tem sido aplicada e adaptada em diferentes regiões semi-áridas, tanto nos Estados Unidos da América, México, América Central e Austrália (USDA, 1999; HERRICK *et al.*, 2005). A importância dessa metodologia consiste na possibilidade de realizar medições *in loco* e poder analisar o processo de recuperação com base na informação obtida. Segundo Herrick (2005) e USDA (1999), os indicadores – como estabilidade dos agregados do solo, a infiltração superficial e o desenvolvimento da planta – fornecem informações valiosas da resistência dos solos aos processos erosivos, do funcionamento hidrológico e da integridade biológica.

O desenvolvimento das plantas também é mencionado em outras pesquisas (HERNÁNDEZ, 1995 *apud* CALDAS PINTO, 2004; KVVET & MARSHALL, 1971 *apud* CALDAS PINTO, 2004; LI & GAO, 2004; LI *et al.*, 2005; LI *et al.*, 2006) como um elemento a ser considerado como indicador da produtividade vegetal. O crescimento da planta depende da disponibilidade tanto de água como de nutrientes no solo. Os parâmetros mais utilizados, segundo diferentes autores (HERRICK *et al.*, 2005; PEARCY *et al.*, 1994), são a altura da planta e a área foliar, ainda que para esse parâmetro não exista uma metodologia adequada para sua estimação e a dificuldade de cálculo é elevada devido à irregularidade na forma ou tamanho da folha. Pearcy *et al.* (1994), Kloss e McBride (2002), Holt *et al.* (2002) e Amorim *et al.* (2005) utilizam o número de folhas como um indicador da produtividade e desenvolvimento da planta.

A água armazenada no solo é fundamental para o desenvolvimento das plantas, daí a importância de se conhecer a percentagem de umidade no solo ao longo dos períodos seco e úmido. Quando a umidade no solo é mínima, o crescimento da planta é limitado. Assim, o monitoramento da umidade no solo é importante para determinar os limites mínimos e máximos que promovem o desenvolvimento das plantas. Existem diferentes instrumentos que permitem fazer medições da umidade do solo *in situ*. Um dos mais utilizados são os blocos de gesso, pela facilidade de instalação e uso, pela confiabilidade dos dados que proporciona e pelo seu baixo custo (SKINNER *et al.*, 1997). Os blocos de gesso medem a tensão da água no solo e são particularmente úteis para determinar as condições de umidade de solos com déficit de água (GOODWIN, 2000). A capacidade de absorção de água pelas raízes da planta depende da tensão da água no solo, a qual aumenta enquanto o solo vai secando e a planta passa a ter menor capacidade de extrair água do solo.

3.4 Captação de água de chuva

Existem diferentes definições para as técnicas utilizadas para captar água de chuva. Essas definições dependem, de certa maneira, do propósito de uso da água em diferentes regiões do mundo. De forma geral, pode-se definir a captação de água de chuva como o processo de concentrar, coletar e armazenar água de chuva para benefício das populações. Uma das definições mais utilizadas é aquela proposta por Critchley e Siegert (1991), que define a captação de água de chuva como o método para a coleta do escoamento superficial para usos produtivos (Figura 5). O escoamento pode ser captado dos telhados, na superfície do solo, assim como nos cursos de rios intermitentes ou efêmeros. Existem diversas classificações das técnicas de captação de água de chuva. Na tentativa de homogeneizar os termos utilizados nos

sistemas de captação de água de chuva e difundir as técnicas utilizadas em vários países, a FAO produziu um CD (SIEGERT *et al.*, 2003: versão português, 2006) em cinco idiomas – espanhol, inglês, francês, árabe e chinês. A Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC) produziu uma versão desse material em português – tradução por GNADLINGER, PALMIER & HERNÁNDEZ-BERNAL, 2006 –, cujos termos serão utilizados ao longo deste trabalho.

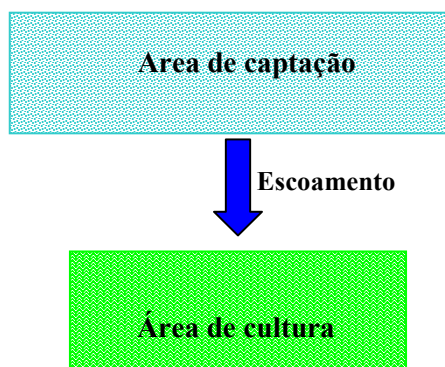


Figura 5: Princípio de captação de água de chuva

Na tabela 2 é mostrada a classificação adotada pela FAO dos diferentes tipos de técnicas de captação de água de chuva. Segundo Goins (2002), os sistemas de captação de água de chuva podem ser classificados em passivos ou ativos. Os sistemas passivos são aqueles onde se fazem pequenas modificações na paisagem para aproveitar a gravidade para direcionar o escoamento gerado a partir da precipitação. Já os sistemas ativos redirecionam a água e incorporam a coleta e armazenamento temporário da água de chuva, seja em cisternas, açudes ou outros tipos de reservatórios. Esses dois sistemas podem ser aplicados conjuntamente ou separados, segundo as necessidades e características da população, e sempre considerando os aspectos de clima, topografia e solos da região onde são implantados.

O armazenamento da água de chuva nas camadas superficiais do solo, com fins agrícolas, é classificado com o termo *runoff farming* ou captação para agricultura por escoamento, enquanto que o armazenamento da água de desvio de cursos de água é classificado como *floodwater harvesting* ou captação de águas de cheias. Os sistemas de *runoff farming* ou captação para agricultura por escoamento são subdivididos em: a) microcaptação, que corresponde aos sistemas que coletam o escoamento de uma pequena área de captação para posterior armazenamento no perfil do solo, após a água ser concentrada numa pequena microbacia de infiltração; e b) macrocaptação, que são os sistemas nos quais se aproveita o escoamento de grandes áreas de captação externas à área de cultivo. Essas áreas de captação

são relativamente maiores, indo desde 0,1 a 200 hectares, com aproveitamento de vertentes muito extensas. Em ambos os casos gera-se uma maior infiltração da água e a parte úmida do solo permitirá o uso para agricultura, pastagens ou reflorestamento (BOERS & BEN-ASHER, 1982).

Tabela 2 – Classificação das técnicas de captação de água de chuva

	Tipo de captação				
	Captação de água de chuva (fonte local)			Captação por inundação (fluxo em canal)	
	Captação em telhado	Captação do escoamento (fluxo na superfície do solo)			
Armazenamento	Cisterna	Açudes, barragens	Perfil do solo	Açudes	Barragens subterrâneas (solo)
Uso	Abastecimento de água para consumo humano	Dessedentação animal e uso agrícola (irrigação)	Produção agrícola	Dessedentação animal e uso agrícola	Produção agrícola
Classificação para produção agrícola		<i>Runoff farming</i> Captação para agricultura por escoamento		<i>Floodwater harvesting</i> Captação de água de cheias	
Sub divisão		Micro áreas (captação em pequenas áreas)	Macro áreas (captação em vertentes extensas)	Plantio em planícies de inundação	

(Fonte: adaptado de CRITCHLEY & SIEGERT, 1991)

A captação de água de chuva tem sido praticada em diversas regiões áridas e semi-áridas do mundo por milhares de anos. Existem evidências arqueológicas das estruturas de captação de água de chuva existentes na Jordânia, Síria, Iraque, Israel (no deserto de Negev) e na península Arábica. Restos arqueológicos na Jordânia indicam que estruturas de captação de água de chuva podem ter sido construídas há 9.000 anos (PRINZ & WOLFER, 1998). No entanto, as estruturas que chamaram mais a atenção da comunidade científica foram encontradas no deserto de Negev, onde foram descobertos, no século X a.C., restos arqueológicos de um antigo estabelecimento de agricultores-guerreiros numa região conhecida como *Sahel el Hauwa*. Nesse local foi achada uma cisterna escavada na camada impermeável do *loess* – solos de textura fina, resultado do transporte eólico e sem estratificação – e com as paredes reforçadas com grandes pedras para dar maior estabilidade à estrutura. A cisterna foi construída na base da montanha aproveitando o escoamento superficial gerado nas vertentes a partir da escassa chuva que se apresenta por períodos curtos na região do deserto de Negev. Com base em diversos métodos de datação em objetos encontrados no local, determinou-se que esse assentamento humano existiu no século X a. C.

(EVENARI *et al.*, 1982). A técnica de captação para agricultura por escoamento (*runoff farming*) também era praticada no deserto de Negev há séculos. No mesmo sítio arqueológico foram construídas estruturas de microcaptação do tipo *Negarim*. Também foram encontradas estruturas de captação de água de cheias (*floodwater harvesting*) – macrocaptação – nos fundos de vale e leitos largos de rios intermitentes (*wadis*), terraços em curva de nível conhecidos como *limanim*, da palavra grega porto, que faziam com que a água se espalhasse (Figura 6). Com esse sistema a água saturava e enchia o primeiro terraço para depois passar aos lados através de um dique para o terraço diretamente abaixo. Segundo Lavee *et al.* (1997), também foram encontrados barramentos de pedra e canais, usados para cultura de videiras ou para captar a água de orvalho, que datam do século IV a.C. ao século VII d.C., dos períodos Nabaeto, Romano e Bizantino.

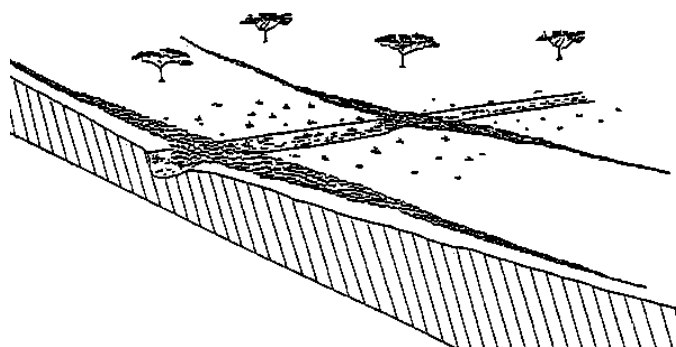


Figura 6: *Limanim* construído em série em *wadi* (Fonte: SIEGERT *et al.*, 2003: versão português, 2006)

No Oriente Médio, a água de chuva era coletada após atingir uma superfície dura e era canalizada por meio de túneis horizontais, chamados *qanats*, que levavam a água através de um canal subterrâneo até o fundo do vale (Figura 7). A retenção de água de chuva no subsolo é uma maneira tradicional de aproveitar o recurso hídrico. Os sistemas *qanat*, as barragens subterrâneas e alguns tipos de poços são exemplos desse tipo de captação de água de chuva. Alguns ainda são utilizados na Espanha para irrigação de áreas agrícolas e para abastecimento de água de pequenas vilas (CECH, 2003).

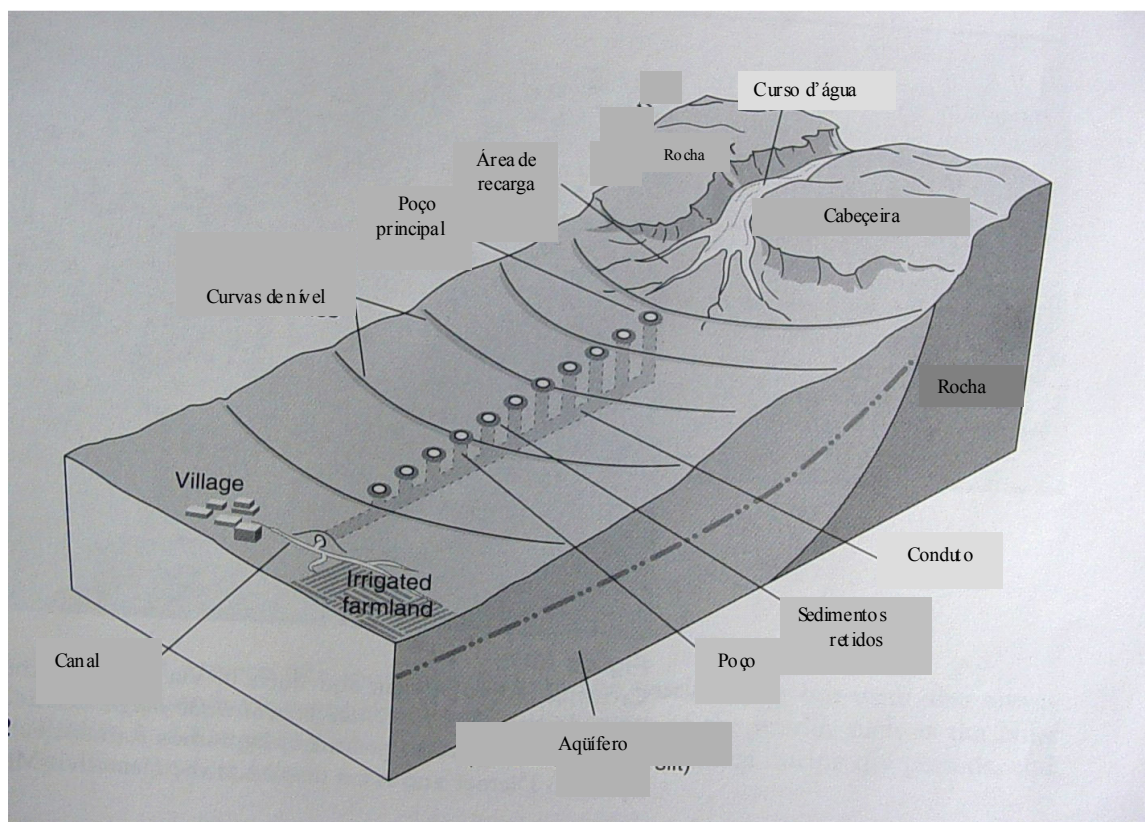


Figura 7: Sistema de captação de água tipo *qanat* (Fonte: modificado de CECH, 2003)

O uso dos *qanats* se difundiu com a expansão do Islã ao longo do norte da África até a Espanha, Chipre e Ilhas Canárias. Na África do Norte eram chamados de *fughara* e a sua construção e manutenção era realizada por uma classe especializada de escravos negros. Em Marrocos, os *qanats* eram conhecidos como *khittara* ou *rhattara*. O uso dos *qanats* era particularmente intenso em três áreas do Maghreb: área central da Argélia, nos Montes Atlas de Marrocos, particularmente em Marrakech, e ao sul dos Atlas em Tfilalt (WARD, 2001). Na Espanha os *qanats* foram utilizados marginalmente na Catalunha e em Madri, onde foram chamados de *galerías*. Os *qanats* são fontes importantes de água no Chipre e na Grande Canária e Tenerife (WARD, 2001).

Esse mesmo tipo de estrutura é encontrado no continente americano, principalmente no México e algumas regiões da América do Sul. São encontrados em Parras, Coahuila, na parte Norte do México, e no Noroeste na região da Huasteca e em Tecamachalco e Tehuacán, na região central do México, e nas regiões do deserto de Atacama, no Peru e Chile, e em Nazca, Peru. Segundo Ward (2001), os *qanats* foram introduzidos no México pelos espanhóis; no entanto, há evidências arqueológicas indicando que, provavelmente, os *qanats* em Atacama eram anteriores à chegada dos europeus ao novo continente.

Na península arábica, no norte de Yemen, existe um sistema de aproveitamento de cheias que data de 1.000 a.C. Com esse sistema podem ser irrigados 20.000 hectares para produzir alimentos para até 300.000 pessoas. Os camponeses dessa região continuam utilizando a água de cheias, sendo, talvez, um dos poucos lugares no mundo onde se utiliza essa técnica desde os primeiros tempos do sedentarismo (EGER, 1988 *apud* PRINZ & WOLFER, 1998). Na Arábia Saudita, em meados dos anos 80 do século passado, eram utilizadas as águas de cheias para produzir sorgo em 35.000 hectares que sustentavam de 8.000 a 10.000 propriedades agrícolas (WILDEHAHN, 1985 *apud* PRINZ & WOLFER, 1998).

Na Ásia existem diferentes lugares onde tradicionalmente a água de chuva foi e é aproveitada. No Paquistão, existem dois sistemas tradicionais que datam de 1.000 a.C – Khuskaba e Sailaba –, um sistema de macrocaptação para favorecer a infiltração e outro de aproveitamento de cheias (PRINZ & WOLFER, 1998; PRINZ & MALIK, 2002). Na Índia, pode-se dizer que as técnicas são tão antigas quanto à própria cultura indiana (VISHWANATH, 2006; PRINZ & MALIK, 2002; MYRADA, 2000). Nas regiões áridas e semi-áridas existe uma grande variedade de sistemas de captação de água de chuva que constitui a base da produção agrícola. Essas técnicas vão desde a utilização de pequenos potes ou tanques de cerâmica soterrados no solo, passando pela construção de leirões ou camalhões nas vertentes das ladeiras, até a escavação na terra para construção de pequenos reservatórios (OWEIS *et al.*, 2001). No Oeste de Rajastão, na Índia, com condições climáticas de deserto, com 167mm anuais de chuva, existem leirões chamados de *Khadin* que foram construídos no século XV para reter o escoamento superficial. Com esse tipo de estruturas se cria um reservatório que pode ser esvaziado no final da estação das monções para, aproveitando a umidade, cultivar trigo e outros tipos de grãos e cereais (MYRADA, 2000; PRINZ & WOLFER, 1998; PRINZ & MALIK, 2002). Outro sistema similar é o *Ahar*, construído em faixas; observou-se que após a implantação desses sistemas, a água, que contém sais em excesso na região de Bihar, na Índia, tornava-se potável (UNEP, 1983 *apud* PRINZ & MALIK, 2002). Hoje, na Índia, a captação de água de chuva é considerada parte do manejo integral de bacias como uma abordagem primordial para o desenvolvimento de áreas rurais (SHARMA & SMAKHLIN, 2004; VISHWANATH, 2006).

Na China, existe também uma grande variedade de sistemas de captação de água de chuva – que atinge os telhados de residências para abastecimento humano ou para agricultura usando a técnica de captação por escoamento superficial (*runoff farming*) ou de cheias (*floodwater harvesting*) para agricultura –, os quais têm sido utilizados há milênios. Nas regiões áridas da

China, ainda hoje a captação de água de chuva é considerada como a única solução para providenciar água para uso doméstico e para a produção agrícola (Figura 8).



Figura 8: Sistema de terraços em loess, Província de Gansú, China

Na região da província de Gansú aproveita-se ao máximo o período chuvoso. Com uma precipitação de 300mm por ano, a água é coletada de grandes áreas tratadas com diferentes tipos de materiais impermeáveis (a mais utilizada é uma mistura de cimento e solo) para fins agrícolas, assim como de telhados e de toda superfície compactada e cimentada, como estradas, pátios e quadras esportivas (ZHU, 2003), conforme ilustrado nas Figuras 9 e 10.



Figuras 9 e 10: Captação de água de chuva em cisternas e macrocaptação por escoamento para agricultura na província de Gansú, China

A captação de água de chuva também foi aplicada na África de maneira extensiva. Na Argélia, os “*lacs collinaires*”, pequenos reservatórios de água de chuva, são um meio tradicional de armazenar água para a agricultura e para dessedentação de animais. Na Tunísia, além do *Meskat*, o *Jessour* e o *Mgoud* são sistemas tradicionais de captação de água de chuva

que ainda hoje são utilizados. O sistema *Meskat* é um sistema de micro captações retangulares sobre uma encosta; o *Jessour* consiste de terraços à maneira de diques nas planícies de inundação dos cursos de água; e os *Mgouds* são sistemas de canais utilizados para desviar as cheias dos cursos dos rios para os campos de cultura (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991; PRINZ & MALIK, 2002).

No Egito, têm sido utilizados os sistemas *wadi* com terraços por séculos. Técnicas tradicionais de captação de água têm sido reportadas por diversos autores (BRUINS *et al.*, 1986; OWEIS *et al.*, 2001; SHARMA & SMAKHLIN, 2004) na região do Saara meridional. Os sistemas *Caag* e o *Gawan* são utilizados na Somália. O *Caag* é utilizado para barrar o escoamento de pequenos cursos de água, voçorocas e, inclusive, acostamentos de estradas. Já o *Gawan* constitui-se de pequenos leirões que dividem o terreno numa rede de bacias de 500m², ou com áreas ainda maiores. No Sudão são utilizados os *Hafirs* ou reservatórios de médio porte, cuja água é utilizada para uso doméstico, agrícola e dessedentação de animais. Em Burkina Faso a técnica de captação de água utilizada é chamada de *Mossi*, que consiste no desvio do escoamento por uma encosta por meio de camalhões de terra e terraços com pedras (Figura 11).



Figura 11: *Hafir*, em Zankor, Sudão (Fonte: *Association Papyrus*, 2007)

As técnicas de captação de água também foram usadas no continente americano pelas culturas indígenas de diversos lugares. Em algumas regiões do Novo México, Arizona e Colorado têm-se praticado o aproveitamento da água de chuva nas regiões agrícolas indígenas por mais de 1.000 anos (GOINS, 2002). No México, existem evidências arqueológicas em diversos lugares do país, na região norte, no deserto de Sonora, pela cultura dos índios Pápago e a dos índios Hohokam, em Paquimé, Chihuahua. No sudeste, na região de Yucatán, ainda hoje podem ser observados os *chultunes* ou cisternas (Figura 12), vestígios da cultura maia que são utilizados em algumas áreas rurais da península (GOINS, 2002).

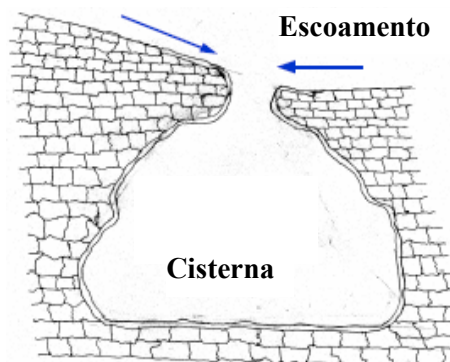


Figura 12: Chultún ou cisterna maia (Fonte: GOINS, 2002)

No México, Chile e Colômbia a prática também envolve a captação de orvalho e neblina em regiões de alta montanha, litorâneas e desérticas (UNEP, 1997).

A captação de água de chuva para produção agrícola pode ser considerada como uma forma rudimentar de irrigação. Com a utilização dessas técnicas o produtor pode aproveitar a água de chuva e aumentar a capacidade de produção do solo. Nas regiões onde os plantios dependem da chuva, uma redução de 50% na quantidade de precipitação pode resultar na perda total da produção. No entanto, se a chuva disponível é concentrada em pequenas áreas ou em sistemas de microcaptação, o índice de produção pode ser significativo (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991).

3.5 Sistemas de microcaptação

O objetivo dos sistemas de microcaptação é coletar água de uma superfície de captação relativamente pequena para armazená-la na zona radicular próxima a uma cova de infiltração afim de que a água acumulada no perfil do solo seja suficiente para satisfazer a necessidade hídrica da planta durante a etapa de crescimento da mesma. Em cada micro-bacia planta-se uma árvore ou um arbusto (BOERS & BEM-ASHER, 1982 *apud* PRINZ & MALIK, 2002). Essas técnicas são particularmente efetivas nas regiões áridas e semi-áridas onde a irrigação pode resultar em custos elevados. Ainda que esses métodos tenham sido testados em diversos países, a pesquisa sobre eles ainda é muito limitada. Muitas vezes o problema está relacionado à falta de informação meteorológica suficiente nessas regiões, motivo pelo qual pode ser dificultado o planejamento para a implantação desses sistemas (EGER, 1987; BOERS *et al.*, 1986).

Segundo Prinz e Wolfer (1998) e Critchley e Siegert (1991), a agricultura por escoamento apresenta várias vantagens: é de baixo custo, simples no projeto e, portanto, fácil de ser

reproduzida e adaptada; há um maior aproveitamento do escoamento superficial do que em sistemas maiores, pois não há perdas por condução; funciona como medida de controle da erosão; e pode ser construída em quase todo tipo de encostas, incluso em planícies com declividade suave.

Os leirões, bordos feitos de terra com altura de 25 até 45cm, são construídos em terrenos planos – de 0 a 5% de declividade –, compactados e, às vezes, a superfície tem tratamento para incrementar o escoamento. A aridez do local determina a relação Área de captação/Área cultivada, que pode variar de 1:1 a 5:1 (Figura 13).

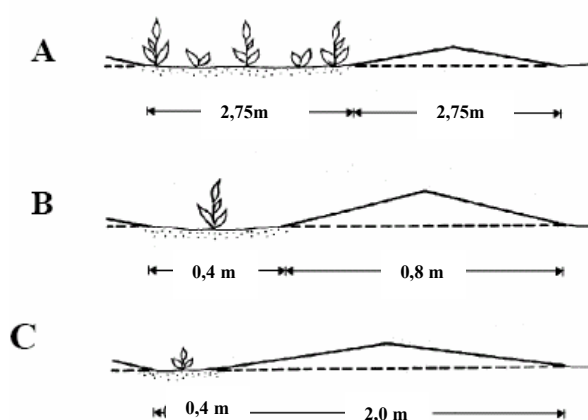


Figura 13: Relação Área de captação/Área cultivada segundo o grau de aridez: A (menos árido) – C (mais árido) (Fonte: Prinz & Malik, 2002)

Em declividades de 6% a 20% esses sistemas são chamados de camalhões, porque os bordos devem ter uma altura maior e seguem também a curva de nível. Esses camalhões têm uma altura de 0,35m a 0,45m e podem ser construídos de 2 até 20 m de distância entre um e outro, dependendo da declividade do terreno, do tratamento ou não do solo, da relação Área de captação/Área cultivada e do tipo de planta que será cultivado. A área de captação deve estar compactada e limpa, e a cultura pode ser plantada nos sulcos, ao lado do leirão ou na parte superior do mesmo. Se o terreno é íngreme, é importante conhecer o regime pluviométrico, já que chuvas muito intensas podem destruir os camalhões, os quais também podem ser construídos com pedras.

Existem vários tipos de sistemas microcaptação, alguns dos quais serão enunciados a seguir:

3.5.1 *Negarim*

Esse é o mais conhecido dos sistemas de microcaptação, sendo muito utilizado em locais onde a precipitação anual varia de 100 e 150mm, como no deserto de Negev, em Israel. Também é utilizado em países da África Subsaariana. Geralmente, por ser uma técnica já testada e que tem gerado bons resultados, é a primeira a ser utilizada em novos projetos (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991). Consiste de um conjunto de micro-bacias construídas em forma de diamante e que seguem as curvas de nível (Figura 14). As microbacias são delimitadas com leirões de pequena altura e possuem uma poça de infiltração na parte mais baixa de cada unidade. O escoamento é coletado da área de captação da micro-bacia e armazenado na poça de infiltração. Essa técnica é utilizada principalmente para cultura de árvores ou arbustos. Além de proporcionar maior umidade à árvore, tem a vantagem de ser uma técnica de conservação do solo.

O propósito dessa técnica é o reflorestamento por meio da cultura de árvores ou vegetação arbustiva, principalmente em regiões áridas e semi-áridas. Devido às características que a estrutura apresenta, tem que ser construída manualmente, razão pela qual deve ser implantada em pequena escala. Uma vez plantadas, não é possível utilizar maquinaria entre as faixas de árvores.

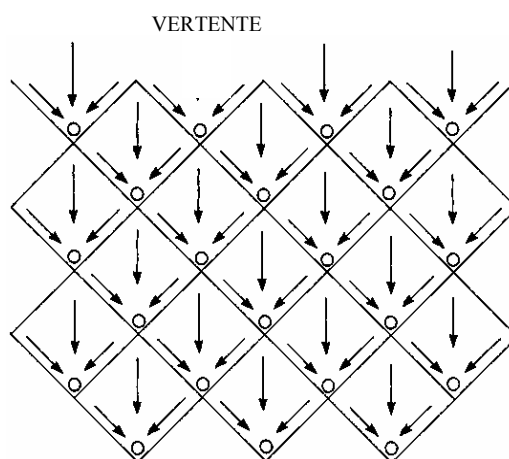


Figura 14: Desenho em planta de *Negarim* (Fonte: CRITCHLEY & SIEGERT, 1991)

A área de cada unidade pode variar em tamanho dependendo da cultura a ser plantada. Precisa de solos com profundidade mínima de 1,5m, mas preferencialmente de 2,0m, de forma a segurar a formação e desenvolvimento das raízes das árvores a serem plantadas, além de garantir uma maior retenção da umidade no perfil do solo. Precisa de precipitação mínima

anual de 150mm. A topografia pode ser irregular, mas preferencialmente com declividades de 1 a 5%. Deve-se limpar a área para facilitar o processo de marcação das curvas de nível, assim como delimitar cada área de microcaptação, que pode variar de 9m² a 100m². O tamanho dos leirões varia também em relação à área de cada unidade, no entanto sua altura não deve exceder 0,50m.

3.5.2 Leirões semi-circulares ou trapezoidais

Esse tipo de estrutura consiste em barramentos na forma de um semi-círculo com as pontas na curva de nível (Figura 15). Os leirões em semi-círculo podem ter diferentes dimensões e são utilizados principalmente para reabilitação de pastagens. Também são utilizados para cultivo de árvores e arbustos, e em alguns casos têm sido utilizados para cultura de grãos. Esse tipo de microcaptação também é recomendado para aprimorar as condições dos pastos de maneira fácil e rápida em regiões semi-áridas. Segundo Critchley e Siegert (1991), essas estruturas são mais eficientes, pelo volume de água captada, do que outros tipos de estruturas de microcaptação. Também podem ser utilizadas em regiões áridas e semi-áridas com precipitação média anual de 200 a 750mm. Os solos em que serão construídos devem ser profundos (de 1,5m ou mais) e não salinos. A declividade da vertente pode ir de 1% até 5%, mas com algumas modificações podem ser implementados em encostas de declividades um pouco acima de 5%. Podem ser utilizados tanto em relevo regular quanto irregular. Quando o terreno se apresenta irregular e/ou com declividade pronunciada, o espaçamento entre cada meia lua deve ser maior e devem ser utilizadas pedras na construção. Segundo Critchley e Siegert (1991), a eficiência dessas estruturas em regiões muito áridas é melhor se construídas com pedras e com um espaçamento menor entre elas. No entanto, em regiões com maior índice de umidade a eficiência dos leirões em semi-círculo é maior se o espaçamento é menor, mas também se deve considerar a declividade do terreno.

O projeto desse tipo de sistema permite aproveitar o escoamento superficial tanto da área tratada quanto da área externa. O excedente de água de cada meia lua vaza ao redor de suas pontas, as quais estão em cima da curva de nível. O espaçamento entre cada curva de nível dependerá do tipo de árvore a ser plantada.



Figura 15: Leirões semi-circulares (Fonte: CRITCHLEY & SIEGERT, 1991)

3.5.3 Leirões em curva de nível

Como indica o nome, esse sistema segue a curva de nível. O escoamento é coletado das faixas sem cultura entre os leirões e armazenado numa valeta feita na parte interna do leirão. Esse sistema é geralmente utilizado para cultura de grãos e cereais. Assim, quando é utilizado com esse fim, é possível aproveitar uma área maior da estrutura como área de cultura, utilizando-se ambos os lados do leirão. O sistema apresenta a vantagem de ser o de maior facilidade de construção, se comparado com o sistema *Negarim* ou o sistema de leirões em semi-círculo, e pode ser feito de maneira manual – mas também pode ser utilizada maquinaria. O volume de escoamento produzido em áreas de captação reduzidas tem provado a eficiência dos leirões em curvas de nível em experiências como no oeste da Gâmbia (FAO, 2001), onde foram implementados em vales e encostas para aumentar a produção agrícola e atingir segurança alimentar, ou no Zimbábue, onde tem se mostrado como a melhor técnica de conservação do solo (HUGHES & VENEMA, 2005.). Se bem construído, não há perdas por escoamento e o crescimento das plantas é uniforme, pois as áreas de captação são iguais. Apesar disso, ainda não é uma técnica muito utilizada, embora tenha sido testada para comprovar a sua eficiência de produção de alimento em alguns projetos da FAO na África (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991).

Esse tipo de sistema pode ser utilizado em regiões com precipitação anual de 350 a 750mm. O relevo deve ser uniforme, com declividades suaves de solos profundos com capacidade de infiltração e retenção de água. As declividades podem ser desde 0 até 5% e os terrenos devem ser regulares e homogêneos. O desenho geral desse sistema é de linhas paralelas de leirões, seguindo a curva de nível. O espaçamento entre os leirões, de 1,5 a 2m, é recomendado para culturas anuais em regiões semi-áridas.

No entanto, para a cultura de árvores, a distância entre leirões pode ser modificada, incrementando a relação entre a área de captação e a área de cultura. Pequenos dentes – bordos – perpendiculares ao leirão são construídos com um determinado espaçamento para proporcionar um armazenamento uniforme do escoamento (Figura 16). Em alguns casos é necessário construir uma sarjeta de desvio para proteger o sistema de escoamento proveniente das áreas externas ao sistema.

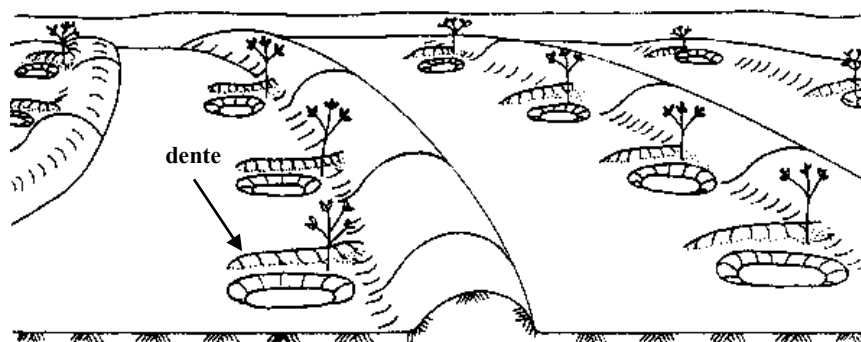


Figura 16: Leirões em curva de nível (Fonte: CRITCHLEY & SIEGERT, 1991)

3.5.4 Camalhão em curva de nível

Esse sistema é muito parecido com o leirão em curva de nível, com a diferença de poder se utilizar pedras seguindo a curva de nível de maneira a reforçar o bordo construído para a retenção da água de escoamento. Outras características que o diferenciam do sistema de leirões em curva de nível é que está constituído por um sulco contínuo, onde se concentra a água de escoamento. Esse sistema não possui dentes ou divisores que delimitem uma micro área de captação. Os bordos desse sistema devem que ter uma altura superior a 35cm para evitar rompimentos em caso de ocorrer eventos chuvosos muito intensos. Essa técnica pode ser aplicada em vertentes curtas e é apropriada para plantio de árvores, arbustos e pastos (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991; CHEN, 2004; SIEGERT *et al.*, 2003: versão português, 2006).

Essa estrutura consiste em camalhões de terra que seguem as curvas de nível da vertente, com espaçamento de 3 a 10m, com um sulco na parte acima do camalhão em relação à vertente. Pode ser utilizada em grande escala considerando terreno homogêneo. Pode ser construída manualmente ou por meio de mecanização. O camalhão segue a curva de nível com um espaçamento de 1 a 2 metros. O escoamento é coletado na área sem cultura entre os camalhões e armazenado nos sulcos próximos aos camalhões. A produção de escoamento nesse tipo de sistema é significativa, visto que não há perdas (Figura 17). Esse tipo de

estrutura é estabilizado com vegetação, que pode ser de gramíneas ou algumas plantas xerófilas.

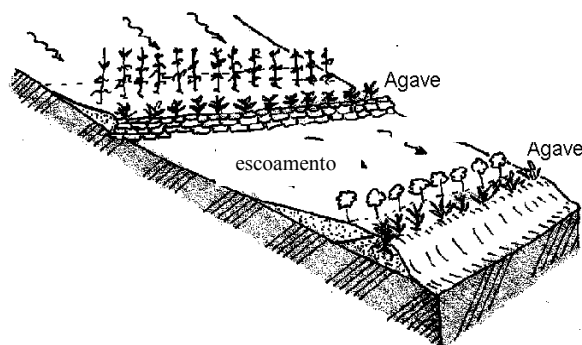


Figura 17: Camalhões em curva de nível (Fonte: SIEGERT et al., 2003: versão português, 2006)

3.5.5 Microcaptação tipo Vallerani

Nesse tipo de sistema, totalmente mecanizado, são construídas microbacias com capacidade de 600 litros (Figura 18). É utilizado para atividades de reflorestamento, faixas vegetais de proteção e para cultura de pastagens. A construção implica em altos custos. Esse tipo de sistema pode ser aplicado em áreas com precipitação de 200 a 600mm anuais e em declividades de 2% a 10%. As microbacias são construídas por uma ferramenta chamada *arado dolfino* (Figura 19) – projetada pelo engenheiro italiano Vallerani –, que consegue construir até 400 microcaptações por hora.



Figura 18: Microcaptação tipo Vallerani (Fonte: Vallerany System, 2007)

Tem sido demonstrada a sua eficiência, principalmente no plantio de árvores. O uso do arado especial para esse sistema resulta muito econômico quando a área a ser tratada tem grande extensão. O sistema tem sido utilizado para propósitos de reflorestamento em países da África, como o Egito e a Nigéria (PRINZ, 2001).

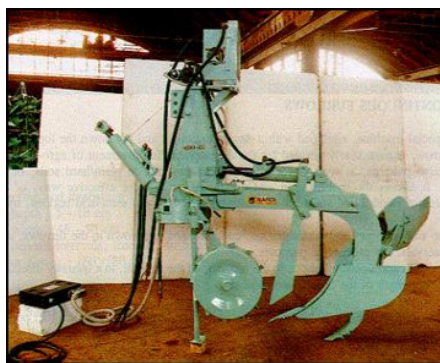


Figura 19: *Arado delfino* para a construção do sistema *Vallerani* (Fonte: *Agronomists and Foresters Without Frontier*, 2007)

3.5.6 *Meskat*

Esse é um sistema tradicional de captação de água utilizado na Tunísia, principalmente para a cultura de oliveiras e figueiras. Esse sistema possui uma área de captação – *Meskat* – ocupando a declividade adjacente a uma área plana cultivada – *Manqa* ou *Mankaa* (Figura 20). São microcaptações em forma retangular, aproveitando a declividade do terreno. São construídos bordos ao redor do retângulo, deixando a parte mais baixa da vertente para a área de cultivo. Possuem vertedouros na parte superior da estrutura para permitir a entrada do escoamento na área de microcaptação. São utilizados principalmente para a produção de árvores e arbustos (OWEIS, 2004).

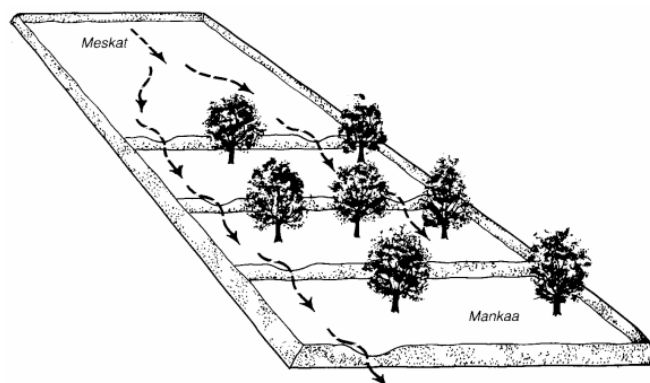


Figura 20: *Meskat* (Fonte: SIEGERT *et al.*, 2003: versão português, 2006)

Em geral, as técnicas de captação de água de escoamento são utilizadas para produção agrícola. No entanto, há possibilidades de usá-las para reabilitar áreas degradadas ou, inclusive, como técnicas de manejo de solos em áreas onde as características geográficas de terreno e clima o permitam.

3.6 Captação de água de chuva – alternativa na solução de problemas ambientais

Na década de 1950, devido a uma grande incidência de desastres por secas ao redor do mundo, os organismos de ajuda internacionais começaram um plano de reestruturação dos sistemas de captação de água de chuva para diminuir os problemas causados por esse fenômeno. A partir de 1970, as políticas de segurança alimentar incluíram a elaboração de planos para estabelecer programas de agricultura ecológica, considerando as técnicas de captação de água de chuva como prioridade para obter um aprimoramento na produtividade de alimentos nas regiões semi-áridas da África, Ásia e Oriente Médio. Adicionalmente, a partir dessa época, países localizados em regiões úmidas passaram a adotar essas técnicas para aumentar a sua produção agrícola e, em alguns casos, como na China, Japão, Quênia, Singapura e Tailândia, também para recuperação e conservação ecológica (BRUINS, 1993 *apud* BRUINS *et al.*, 2005).

As técnicas de captação de água de chuva são uma alternativa de abastecimento de água para as regiões semi-áridas e constituem, também, uma alternativa para diminuir os problemas ambientais que podem, ao mesmo tempo, contribuir para o aumento da produtividade agrícola, complementando os sistemas de irrigação e favorecendo as economias dos lugares onde são aplicadas (ROCKSTRÖM, 2003).

Países como Israel, Estados Unidos e Austrália têm praticado essas técnicas nas últimas décadas visando aumentar os índices de produção agropecuária. Por isso, as pesquisas desenvolvidas estão enfocadas no aprimoramento dos índices de escoamento em superfícies de captação de diferentes materiais. No entanto, apesar de já existir estudos científicos realizados nas regiões áridas e semi-áridas da Ásia, África e América Latina, a importância dessas técnicas tem sido desconsiderada pelos governos locais.

No caso da África e América Latina, a utilização da água de chuva para fins agrícolas é antiga. Na América Latina, 90% da agricultura de subsistência dependem da precipitação com baixos rendimentos na produção e com grandes perdas de água. Para superar essas limitações os investimentos são cada vez maiores na ampliação da área irrigada, na implementação de substâncias químicas (fertilizantes e defensivos) e na utilização de sementes geneticamente modificadas, gerando uma forte pressão nos recursos naturais, com a conseqüente degradação dos mesmos. Aproximadamente 17% das terras agrícolas da América do Sul encontram-se de moderada a severamente degradadas (LAL, 2001).

O Brasil tem desempenhado um papel destacado na iniciativa da utilização das técnicas de captação de água de chuva, tanto para consumo humano e uso doméstico quanto na agricultura e pecuária. Os exemplos mais claros são o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC) e a construção de barragens subterrâneas na região Nordeste e no Vale do Jequitinhonha. Além dessas técnicas, tradicionalmente foram utilizados os barreiros de salvação e açudes.

Contudo, vários parâmetros devem ser considerados para a implantação desses tipos de sistemas, entre eles: precipitação, uso de solo e vegetação, topografia e declividade, tipo e profundidade do solo, hidrologia e fatores socioeconômicos. Todos esses elementos, em conjunto, determinam a funcionalidade ou não dos sistemas.

A precipitação é base dos sistemas de captação de água. Portanto, é necessário conhecer as características da chuva, como a intensidade e distribuição, na área onde será implantado o sistema. A intensidade de um evento de precipitação é um indicador de que tipo de chuva pode gerar um volume importante de escoamento para a prática das técnicas de captação para agricultura por escoamento.

A quantidade de água de chuva aproveitada depende das interações entre as taxas de escoamento, a capacidade de infiltração e de recarga do solo, a intercepção pela vegetação e a evapotranspiração, as quais dependem das características geográficas da bacia, como o regime climático, o tipo de cobertura vegetal e o uso do solo.

A vegetação ainda deve ser considerada como um dos principais parâmetros que afetam o escoamento superficial. Segundo Prinz e Malik (2002), estudos na Síria demonstraram que um incremento da densidade da vegetação diminui o escoamento; não obstante, são maiores as perdas por intercepção, retenção e infiltração.

Pode-se dizer que a topografia e declividade determinam o tipo de sistema de captação de água de chuva a ser implantado. Deve-se realizar uma análise do terreno e determinar a extensão da vertente, principalmente no caso dos sistemas de macro captação.

O tipo de solo, como já comentado, é um elemento determinante para estabelecer se uma área pode sustentar um sistema de captação de água de chuva. Os parâmetros a serem considerados são: a estrutura da superfície, a taxa de infiltração e percolação, a profundidade do solo e a sua textura. Todos esses parâmetros determinam em que medida o solo é capaz de reter água no seu perfil.

Os processos hidrológicos que estão relacionados com a captação de água de chuva são aqueles que estão relacionados com a produção, o fluxo e o armazenamento do escoamento resultante da precipitação numa área específica. A chuva que cai numa área de captação determinada pode ser efetiva (como escoamento direto) ou não efetiva (como evaporação ou percolação). A quantidade de chuva que produz escoamento é um bom indicador da possibilidade de implantar o sistema num local determinado.

Finalmente, os fatores socioeconômicos de uma região devem ser considerados para qualquer plano de gestão de recursos hídricos. No caso dos sistemas de captação de água de chuva, o planejamento, o projeto e a implementação dependem, em grande medida, desses parâmetros. As possibilidades de sucesso serão maiores se os usuários e as comunidades estiverem envolvidos diretamente desde o planejamento. Alguns fatores podem dificultar ou facilitar o processo de implementação desses sistemas, tais como: limitações financeiras, aspectos culturais e religiosos, receio frente à introdução de novos métodos agrícolas, o papel das mulheres ou das minorias dentro dessas comunidades, o tipo de posse de terra e direitos de propriedade.

Os ecossistemas das regiões áridas são frágeis e têm uma capacidade limitada para se adaptar às mudanças. Se o uso de recursos naturais, como a água e o solo, é modificado de maneira positiva pela implantação de sistemas de captação de água de chuva, as conseqüências ambientais são, segundo as experiências em Quênia, Etiópia, Tanzânia e Uganda (NGIGI, 2003), maiores do que as esperadas. A captação de água de chuva deve ser vista como um componente regional de aprimoramento nos planos de gestão de recursos hídricos. Nesse tipo de gestão têm que ser priorizados os planos integrados que forneçam melhorias nas práticas agrícolas, medidas de proteção de certas espécies vegetais, assim como o manejo da fertilidade do solo.

A captação de água de chuva em micro ou macro áreas de captação tem a vantagem de aumentar a produção das áreas agrícolas, ao reduzir as probabilidades de perdas por escassez de água. Também são utilizadas para reflorestar e recuperar áreas degradadas por meio da implementação de sistemas agro-florestais. É com esses sistemas e com a re-introdução de espécies arbóreas que a captação de água de chuva oferece uma possibilidade de deter o avanço dos processos de degradação nas regiões semi-áridas. Essas técnicas são de baixo custo e, por isso, constituem uma alternativa viável aos sistemas de irrigação sofisticados e caros. A utilização da água de chuva diminui a pressão sobre outras fontes de água, como a exploração de água subterrânea. Tem-se comprovado que em regiões áridas e semi-áridas que

não possuem estruturas para armazenar água, a plantação de árvores resistentes à seca, sob sistemas de captação de água de chuva, constitui uma das aplicações com maior sucesso (BOERS & BEM-ASHER, 1982 *apud* PRINZ & MALIK, 2002).

Embora a implementação das técnicas de captação para uso doméstico e agropecuário se destaque, sua utilização para solução de problemas de degradação ambiental também se tem efetuado em algumas regiões do mundo. As propostas para este último tipo de utilização são limitadas a poucos casos na China (LI *et al.*, 2005), na Índia (MYRADA, 2000), em algumas regiões da África (ROCKSTRÖM, 2003), Europa (FAO, 2003), Oriente Médio (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991) e América Latina (CONAF-JICA, 1998).

A China, por meio do *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute*, tem sido pioneira na utilização de técnicas de captação de água de chuva tipo *runoff farming* para reflorestar e aprimorar as condições eco-ambientais e suas regiões áridas e semi-áridas. Esses estudos estão enfocados no incremento da disponibilidade de água para infiltração no solo testando diferentes tipos de microcaptações e macrocaptações. Algumas das técnicas testadas têm-se mostrado eficientes para o tipo de solo nessa região – *loess* – com condições de aridez extremas e para altas declividades (LI *et al.*, 2005; LI *et al.*, 2006). Outros estudos abordam os modelos matemáticos da utilização das técnicas de captação de água para a reabilitação de áreas degradadas em áreas de transição entre regiões áridas e semi-áridas, onde as anomalias climáticas são muito freqüentes (LI *et al.*, 2003). A importância da captação de água de chuva na China se percebe pelo investimento feito nesses tipos de estruturas, unicamente para aumentar a produção agrícola e promover a restauração ambiental, da ordem de 2 bilhões de dólares de 1987 a 2001 (SANMUGANATHAN *et al.*, 2002). Milhões de metros cúbicos de água têm sido conservados por meio de sistemas de captação de água de chuva em pequena escala (SANMUGANATHAN *et al.*, 2002; ZHU, 2003).

Na Índia, diversos estudos e projetos pilotos com sistemas de microcaptação de chuva têm sido implementados nas regiões áridas e semi-áridas, como nas províncias do Rajastão e Karnataka. Estudos realizados nessas províncias têm demonstrado que as técnicas de microcaptação podem favorecer a cultura de árvores em sistemas agro-florestais utilizando espécies nativas. Esses estudos demonstram a efetividade de alguns sistemas de microcaptação, dependendo do tipo de solo, da declividade e do tipo de cultura a ser plantada. Essas técnicas são utilizadas em combinação com outras medidas de conservação dos solos (GUPTA, 1995; OJAVASI *et al.*, 1999; NARAIN *et al.*, 2005). Existem também estudos

sobre a utilização de técnicas de captação de água de chuva enfocados à diminuição da velocidade de escoamento em determinadas regiões montanhosas do norte da Índia, com o intuito de minimizar os processos erosivos, aproveitar a água no solo para a agricultura e diminuir a vulnerabilidade social e econômica dessas regiões (GOEL. & KUMAR, 2005).

No Oriente Médio também já foram utilizadas as técnicas de captação de água de chuva por escoamento com uma finalidade combinada de produção agrícola, reflorestamento e recuperação ambiental. O trabalho de Droppelmann e Berliner (2003) menciona a importância da implantação de projetos desse tipo para assegurar a subsistência de grupos nômades – cada vez mais pressionados pelas circunstâncias atuais daquela região para virar grupos sedentários – sem que eles percam a sua cultura e tradições. O trabalho desses pesquisadores demonstrou a eficiência das técnicas de captação de água de chuva tanto na produção de alimentos quanto na recuperação de áreas ambientalmente degradadas e a possibilidade de que os grupos nômades explorem os recursos disponíveis de maneira sustentável.

Na América Latina, o Chile faz uso destacado das técnicas de captação de água de chuva na recuperação ambiental. Os projetos nos quais se aplicam esses sistemas visam, por meio da construção de valetas de infiltração ao longo das vertentes, a diminuição da velocidade do escoamento, o aumento do volume de água infiltrada no solo e a retenção de sedimentos transportados pelo escoamento superficial. Além desses objetivos, procura-se a acumulação de água para uso posterior às chuvas, na irrigação (CONAF-JICA, 1998).

No Brasil, existe um projeto no qual se utiliza a captação de água de chuva para favorecer a infiltração no solo, aumentar o volume de recarga dos aquíferos, solucionar problemas de erosão em vertentes de alta declividade e aumentar a produtividade agrícola, além de aprimorar as condições ambientais do local. Esse projeto, conhecido como “Barraginhas” e elaborado por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), tem sido aplicado em diversos locais no estado de Minas Gerais e mais recentemente começou a ser implementado em diversos estados da região nordeste do país (CORDOVAL, 2003a, 2003b, 2005), ainda que não existam dados qualitativos ou quantitativos publicados sobre a eficiência dessas estruturas, nem dos tipos de solos onde essas estruturas podem ser implementadas.

A falta de conhecimento das características do ambiente físico onde serão implantadas as técnicas pode gerar inúmeros problemas posteriores. Um dos elementos principais a ser tomado em consideração é o solo e o seu comportamento sob condições de saturação. É de

fundamental importância, também, levar em conta a topografia, processos geomorfológicos atuantes e a intensidade e frequência das chuvas. Existem casos nos quais algumas técnicas de captação de água de chuva não são eficientes devido às condições do meio físico, as quais não eram adequadas para a sua implementação. Segundo Linares *et al.* (2002), no nordeste da Espanha, numa tentativa de diminuir a erosão, foram implantados vários sistemas de terraços para favorecer o reflorestamento. Porém, as características de textura e composição química dos solos variavam significativamente no mesmo local, o que não foi considerado, gerando um aumento dos processos erosivos, atingindo níveis mais elevados do que os anteriores à implantação dos terraços. Isso foi adjudicado a processos geomorfológicos de “*pipping*”, que naturalmente existem nessa região, mas que foram acentuados com a intervenção da construção de terraços. As características morfológicas e hidrológicas desses locais foram alteradas, causando movimentos em massa que foram favorecidos pelas declividades e acumulação de água na parte superficial do perfil do solo. O solo superficial saturado escorregou sobre a camada de material subsuperficial permeável, devido ao peso e a declividade da vertente, deixando descoberto o horizonte de material não intemperizado.

Deve existir, como já foi mencionado, um consenso entre os atores envolvidos na utilização do recurso hídrico para a tomada de decisões desde o planejamento até a operação e a manutenção das estruturas construídas, sejam de armazenamento (cisternas, açudes) ou de infiltração (barragens subterrâneas, estruturas tipo micro e macro áreas de captação). Tem-se observado em diversos locais onde foram implementados esses tipos de sistemas que a gestão dos recursos hídricos na parte das cabeceiras pode ser feita de uma maneira muito mais eficiente (ZHU, 2003). Adicionalmente, a captação de água de chuva é uma alternativa a ser utilizada nos sistemas agrícolas de subsistência nas regiões com pouca ou escassa disponibilidade de água. A localização desses sistemas próxima às áreas de cultura pode ser um fator para aprimorar o uso eficiente da água, evitando as perdas por escoamento excessivo ou por evaporação. O sistema de *runoff farming* não precisa de alta tecnologia e é mais apropriado para aplicações agrícolas – proporcionando altos benefícios na produção de alimentos – e florestais em locais onde a água de chuva é limitada do que em ambientes úmidos. Estima-se que de 3% a 5% das áreas áridas poderiam ser cultivadas utilizando esses métodos (BRUINS *et al.*, 1986).

Como se observa, a captação de água de chuva tem uma aplicação múltipla, porém a sua utilização na recuperação ambiental tem sido feita em menor grau, apesar de ter se mostrado

como uma alternativa de baixo custo para acelerar os processos de restauração das condições ambientais em locais degradados.

Todavia, como já foi colocado, esses sistemas apresentam algumas desvantagens, como a dependência absoluta do clima e os riscos que isso implica, ainda mais em anos com pouca quantidade de chuva. Outras desvantagens são os possíveis conflitos entre populações a montante e a jusante, ou a inaptidão de todos os terrenos à implementação desses sistemas. Em relação aos custos, quanto maior o tamanho do sistema (macro), maior a quantidade de mão-de-obra e material utilizados e, em consequência, a construção será de alto custo. Por outro lado, os benefícios poderão ser superiores.

Nas regiões semi-áridas, onde a precipitação é escassa e de distribuição irregular, o déficit de água no solo é o fator limitante do processo produtivo agrícola, assim como do desenvolvimento da vegetação em geral. Segundo Raes e Portilla (2003), uma das alternativas para agricultura em regiões semi-áridas é melhorar a eficiência do uso da água aplicada às culturas por meio da frequência de irrigação e do máximo aproveitamento de uso da água pelas plantas. Isto é, deve-se manter o solo da área das raízes em condições físicas que promovam uma melhor absorção de água e nutrientes.

Geralmente a eficiência do uso de água pelas plantas é determinada pela produção total de matéria seca da parte aérea por unidade de água evapotranspirada. Segundo Boyer e Westgate (2004), aumentar a produção por unidade de uso de água utilizada significa aumentar a eficiência do uso hídrico pelas plantas.

A implementação de sistemas de captação por escoamento busca o manejo racional da água, porém torna-se necessário conhecer as características das plantas a serem utilizadas, especificamente a demanda hídrica das mesmas e a sua resistência a períodos prolongados de estiagem. Ainda que existam métodos desenvolvidos para determinar as necessidades de água de algumas plantas, a FAO (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991) propõe uma fórmula simplificada para áreas áridas e semi-áridas, dado que, em geral, essas regiões não contam com informação sistemática climática ou hidrológica. Para cultura de cereais e outros produtos agrícolas, a fórmula é baseada na demanda hídrica de uma cultura padrão (pasto) sob diferentes tipos de clima.

A informação sobre os requerimentos de água para árvores em regiões semi-áridas é também escassa. As árvores são muito mais sensíveis a déficits de umidade durante o período após

serem plantadas. Essa sensibilidade é diminuída com o desenvolvimento do sistema radicular. Apesar da falta de informação detalhada disponível no que se refere à resposta de espécies nativas das regiões semi-áridas em termos de produtividade sob diferentes regimes de disponibilidade hídrica, para Vilagrosa *et al.* (2003) o ideal é reflorestar regiões áridas e semi-áridas com árvores e arbustos nativos tolerantes à seca. Essas espécies podem ser manipuladas antes do plantio para criar um pré-condicionamento à situação de stress hídrico.

3.7 Importância das características dos solos na captação de água por escoamento

Além da quantidade de precipitação, o solo e as suas características constituem um dos componentes mais importantes para a implementação dos sistemas de captação de água. Sem essa sustentação física não seria possível o funcionamento adequado desses sistemas. As propriedades físicas, químicas e biológicas do solo são responsáveis pelo índice de produção das plantas e da resposta delas à umidade retida no mesmo. As características dos solos que devem ser consideradas para promover a captação de água de chuva são a textura, a estrutura, a profundidade, a fertilidade e a salinidade.

A textura do solo influi na taxa de infiltração e na capacidade de retenção de água. Em função do diâmetro dos grãos do solo, são definidos os percentuais de argila, silte, areia e pedregulho, os quais permitem definir o tipo de solo. Os solos que permitem a captação de água de chuva são os de tipo siltoso, já que em geral apresentam as qualidades nutricionais e atividade biológica adequadas, além de permitir a infiltração e a retenção de água no perfil (GUERRA & CUNHA, 1998).

Uma vez que a água de chuva atinge a superfície do solo, pode infiltrar, escoar ou acumular nas folhas das plantas ou em pequenas poças de onde ela evapora de novo na atmosfera. São necessárias três características do solo para que exista eficiência na captação, na infiltração, no armazenamento e no uso da umidade do solo: a capacidade de infiltração; a capacidade de permitir o movimento ao longo do perfil, ou permeabilidade; a capacidade de armazenar a umidade na zona das raízes e liberá-la para o aproveitamento da planta, ou capacidade de retenção da água. Se qualquer uma dessas características não for adequada, a umidade potencial do solo perde-se por escoamento (FAO, 2004). Algumas causas de um mau funcionamento hidrológico do solo podem ser o selamento, a presença de crostas nas camadas superficiais do solo ou a presença de solo compactado. Declividades acentuadas do terreno podem agravar esses problemas.

A taxa de infiltração se apresenta de maneira diferente segundo o tipo de solo. Para os solos arenosos a velocidade de infiltração é mais rápida do que nos outros tipos de estrutura (Tabela 3). Assim, por exemplo, uma taxa de infiltração muito baixa pode afetar a eficiência dos sistemas de captação de água de chuva; por outro lado, uma taxa moderada de infiltração possibilita também a geração de escoamento, o que é ideal para a implementação desses sistemas. Os solos também devem permitir a ocorrência de infiltração para umedecer a área das raízes sem gerar problemas de saturação excessiva de água.

Tabela 3 – Taxa de infiltração de diferentes tipos de solo (Fonte: GUERRA & CUNHA, 1998)

Tipo de solo	mm/hora
Arenoso	50
Silto-arenoso	25
Limoso	12,5
Argiloso	7,5

A formação de crostas é um problema muito comum nas regiões áridas e semi-áridas. Isso gera problemas de escoamento elevado e baixas taxas de infiltração. A compactação do solo, por pisoteio ou pela introdução de maquinaria, também diminui as taxas de infiltração.

A estrutura de um solo consiste no agrupamento de suas partículas em agregados. Uma boa estrutura de solo relaciona-se com solos siltosos e com a presença de matéria orgânica, a qual afeta as propriedades físicas e químicas do solo. As características que se vêem influenciadas pela presença de matéria orgânica são a estrutura do solo, a capacidade retenção de umidade, a diversidade e atividade de organismos e a disponibilidade de nutrientes. A presença de matéria orgânica influi nos efeitos de corretivos químicos, fertilizantes, pesticidas e herbicidas (BOT & BENITES, 2005).

A transformação e movimento de materiais dentro do arranjo da matéria orgânica do solo depende da ação do clima, do tipo de solo e da interação entre vegetação e organismos presentes no perfil. Todos esses fatores operam dentro de uma escala com diferentes hierarquias espaciais. Os organismos do solo são responsáveis pela decomposição e circulação de micro e macronutrientes, e a sua atividade afeta a estrutura, qualidade e produtividade do solo. Segundo Mollison e Slay (1991), uma cobertura contínua de plantas vivas sobre o solo facilita a captura e infiltração da água de chuva e protege o solo. Adicionalmente, uma camada de folhas ou resíduos orgânicos em decomposição proporciona uma fonte contínua de energia para macro e micro-organismos. O papel das raízes também é importante já que, ao se distribuírem em diferentes profundidades, permitem uma efetiva absorção de nutrientes e uma interação ativa com os micro-organismos. Essas condições

criam um ciclo fechado de transferência de nutrientes entre solo e vegetação, o que gera condições físicas e hídricas favoráveis para o desenvolvimento da vegetação. Sob essas condições micro-climáticas, a evapotranspiração aumenta, a porosidade do solo permite a absorção da umidade pelas raízes, facilitando a infiltração da água e diminuindo o escoamento superficial e a erosão (BOT & BENITES, 2005).

Um alto conteúdo de matéria orgânica no solo favorece a infiltração e a retenção de umidade no solo. A matéria orgânica favorece a agregação das partículas do solo, permitindo boa infiltração superficial, melhor circulação do ar entre as partículas e melhor capacidade de retenção de água do que solos onde tem uma pobre estabilidade dos agregados das partículas. Um sistema estável dos poros do solo permite um bom intercâmbio de ar e água. O bom desenvolvimento das raízes das plantas, o qual depende da estabilidade dos agregados do solo, permite que as mesmas atinjam maiores profundidades, de onde podem obter água e nutrientes (FAO, 2004). A textura do solo e a estabilidade dos agregados do solo determinam a resistência à erosão e a facilidade de penetração das raízes. A agregação das partículas está intimamente associada com atividade biológica e a quantidade de matéria orgânica presente no solo. Esses dois elementos permitem a constituição, no perfil do solo, de estruturas internas e superficiais mais fortes criando condições favoráveis para a infiltração e armazenamento da água que fica disponível para o desenvolvimento da planta (FAO, 2004). A estabilidade dos agregados do solo pode ser melhorada com a implantação de ações de manejo do solo, como a aplicação de matéria orgânica e o uso de técnicas de conservação de umidade no solo.

Em climas tropicais a quantidade de matéria orgânica no solo é reduzida devido à rápida decomposição da mesma. Assim, a aplicação de matéria orgânica como resíduo de culturas, chamado de plantio direto (*conservation tillage*), pode aprimorar a estrutura do solo, além de favorecer a retenção de umidade no mesmo (ZOUGMOREA *et al.*, 2000). Daí a importância de se conhecer o conteúdo de matéria orgânica no perfil do solo, já que, em grande medida, é esse conteúdo que permite um incremento na capacidade de retenção de água no solo. Segundo Reicosky (2005, *apud* BOT & BENITES, 2005), determinado tipo de matéria orgânica pode reter até 20 vezes seu peso em água.

A capacidade de retenção de água dos solos também depende da profundidade do solo e do volume de poros no solo. É importante que o solo apresente profundidades maiores do que 1,5m. Os solos profundos apresentam melhor capacidade de retenção de água, além de proporcionarem quantidades maiores de nutrientes, o que favorece o crescimento das plantas. Os solos que apresentam menos de um metro de profundidade não são capazes de sustentar

um sistema de captação de água de chuva, embora seja difícil encontrar solos com essa característica (SIEGERT *et al.*, 2003: versão português, 2006). Também se deve ressaltar a importância da porosidade superficial dos solos e sua influência nas taxas de infiltração. A compactação do solo por pisoteio ou uso de maquinaria modifica as funções hidrológicas do solo. A perda da porosidade no solo reduz a infiltração e aumenta o escoamento superficial, incrementando os processos erosivos. Favorecer a infiltração com uso de sistemas de captação de água de chuva aumenta a umidade do solo superficial e pode incrementar a produção vegetal (CRITCHLEY & SIEGERT, 1991).

Em muitas das regiões onde as técnicas de captação de água de chuva têm sido introduzidas, a falta de umidade e a baixa fertilidade do solo são os principais limitantes do crescimento das plantas. A deficiência de fertilidade dos solos em regiões áridas e semi-áridas pode e deve ser revertida com técnicas de tratamento e manejo dos mesmos, sobretudo em áreas sobre-exploradas e degradadas. Mas é importante evitar a implantação dos sistemas de captação de água em solos salinos, já que esses solos apresentam uma redução na disponibilidade de umidade, seja direta ou indiretamente, além de prejudicar o crescimento da planta. Em geral, as características do solo determinam, em última instância, o funcionamento adequado dos sistemas de captação por escoamento (SHAXSON & BARBER, 2003).

Nos ambientes áridos e semi-áridos os eventos de escoamento sem controle podem gerar fortes processos de degradação do solo devido à erosão. Nesses casos as ações de conservação do solo e da água têm que ser implementadas para prevenir a degradação do solo e preservar o ambiente. A captação de água de chuva e, especificamente, o uso das técnicas de captação por escoamento viabilizam essa possibilidade e podem se tornar parte do gerenciamento dos recursos naturais nas áreas com déficit de água (PRINZ, 2001).

O principal objetivo na aplicação das técnicas é permitir a infiltração do maior volume de água de chuva possível durante os períodos de escoamento para que seja armazenada no solo e usada posteriormente pelas plantas. Em geral, a aplicação dessas técnicas favorece as condições físicas e químicas do solo, de forma a promover uma estabilização da paisagem que limite a erosão e que aproveite ao máximo a utilização da água de chuva. O manejo da água de chuva deve envolver o manejo de outros recursos naturais, como o solo e a vegetação, e deve permitir a participação dos usuários e da população em geral.

3.8 Variabilidade climática e fragilidade ambiental

Hoje existe grande preocupação por parte da comunidade científica internacional em conhecer melhor as possíveis mudanças que as alterações climáticas podem causar para evitar problemas ambientais, econômicos e sociais. Os eventos extremos e a incerteza da chuva anual são característicos de ambientes áridos e semi-áridos e os registros até hoje elaborados sobre esses fenômenos demonstram que a sua ocorrência em alguns países africanos, como Moçambique e Zimbábue, não são incomuns (SMET & MORIRARTY, 2001). O que é importante ressaltar é que, com ou sem mudanças climáticas, existe uma maior demanda por água devido ao incremento da população e das atividades agrícolas e industriais. As fontes de água que normalmente eram adequadas para um uso de pouca intensidade, temporal e de subsistência, como a chuva ou rios intermitentes, poderão se tornar insuficientes.

No entanto, a seca não é somente um fenômeno físico de déficit de precipitações. Ela é, também, um fenômeno social, o qual é definido por um desequilíbrio no balanço entre os recursos hídricos disponíveis e as demandas da população. Essa situação deriva do desconhecimento do funcionamento dos ecossistemas. É nos espaços ocupados por esses ecossistemas que o homem acelera um fenômeno natural, seja pelo mau uso e manejo inadequado do solo (técnicas inadequadas de exploração agrícola e pecuária, desflorestamento) ou do recurso hídrico (demanda excessiva e uso inadequado, poluição etc). O fenômeno da seca é, freqüentemente, concomitante com o processo de desertificação e este acelera a erosão do solo e o empobrecimento dos sistemas de produção primária, agravando o fenômeno da seca nos âmbitos geográfico e social.

Ottoni e Ottoni (1998) destacam a importância de se aprender a conviver com esse fenômeno natural e aprender a usar os recursos disponíveis nos ambientes áridos e semi-áridos. Os mesmos autores mencionam que vários países dispõem de bacias onde normalmente a chuva média é menor que do que 250mm por ano, mas essa precipitação é aproveitada de maneira eficiente para a produção agrícola ou consumo humano (sudoeste dos EUA e algumas regiões da Austrália, China e Israel). Na região do Brasil a chuva média anual, mesmo nas bacias carentes, é sempre maior que 250mm, embora em anos secos possam ser observados valores menores (OTTONI & OTTONI, 1998).

O problema se resume, precisamente, em tratar todos os ambientes áridos como regiões geográficas idênticas, com problemas e, portanto, com soluções também similares. Como já se mencionou, esses ambientes são muito frágeis e tornam-se ainda mais vulneráveis pela

escassa disponibilidade e desigual distribuição da água, espacial e temporariamente. Segundo Feng e Tang (2002), a escala de tempo em que os fatores naturais contribuem para os processos de desertificação é de 1.000 a 10.000 anos, mas com a influência antrópica a magnitude é de 10 anos.

A implantação de modelos de produção que utilizam inadequada e excessivamente os recursos gera, ao mesmo tempo, uma grave problemática ambiental. Ottoni e Ottoni (1998) afirmam que a continuada destruição da cobertura vegetal original, seguindo-se da implantação inadequada dos ciclos produtivos primários, a começar pelo do açúcar, desde os tempos do Brasil Colônia, tem sido uma das principais causas que agravam o problema das secas na região nordeste do Brasil. A exploração espoliativa e agressiva das riquezas naturais e a ocupação desordenada das terras completaram o quadro de condicionantes incentivadores do agravamento desse fenômeno natural.

Sob esses problemas podem ser iniciados processos de desertificação, a qual resulta da combinação das mudanças climáticas e o manejo inadequado dos recursos. Precisa-se destacar que o processo de desertificação é muito prejudicial, tanto ecologicamente quanto economicamente, já que pode devastar a produtividade do solo e afetar outros recursos. Segundo Feng e Tang (2002), existe um forte e acelerado processo de desertificação nas regiões semi-áridas do mundo, ocupando 65,51% dessas regiões. A desertificação favorece a evaporação da água do solo gerando ressecamento e salinização. Em consequência, o clima local torna-se instável, dando lugar a secas que destroem o meio ambiente e limitam, como resultado, o desenvolvimento econômico e social. Por exemplo, as perdas econômicas por desertificação na China alcançaram a cifra de 600 milhões de dólares na segunda metade do século XX (JIE & NANFENG, 1995 *apud* FENG & TANG, 2002).

Segundo Rockström (2003), favorecer e maximizar a infiltração de água no solo e aumentar a capacidade de retenção da umidade na área das raízes com a utilização de sistemas de captação de água por escoamento, em combinação com manejo de resíduos orgânicos e outras técnicas de conservação dos solos, são ações que ajudam a mitigar os efeitos das secas e dos veranicos. Isso pode permitir aos pequenos produtores realizar de maneira mais eficiente a gestão do abastecimento de água para as suas culturas, maximizando o uso adequado da água de chuva e podendo ter a alternativa de realizar irrigação complementar durante o período seco, se houver outras estruturas de armazenamento de água disponíveis no local que também aproveitem o período de chuvas para captar e coletar o volume máximo da precipitação. Com

base na utilização desses métodos, o volume de produção pode ser aumentado em até três vezes em relação ao normalmente produzido.

De fato, na China essas técnicas foram aplicadas para solucionar os problemas de segurança alimentar e de abastecimento de água para reduzir os efeitos indiretos do processo de desertificação acelerado que está se apresentando nas regiões áridas e semi-áridas desse país e que tem tornado-se um obstáculo para o desenvolvimento socioeconômico (ZHU, 2003).

As atividades econômicas básicas para sustentar as populações humanas dependem do funcionamento adequado dos ecossistemas. Quando a natureza perde a capacidade de se auto-reabilitar, a capacidade de produção de alimento perde-se, gerando desestabilidade social e ambiental. A intervenção do homem na natureza é evidente e o bem estar da humanidade depende do funcionamento adequado dos ecossistemas. Em ecossistemas vulneráveis, qualquer mudança pode gerar grandes alterações e impactos negativos. E é precisamente nos ambientes semi-áridos onde se concentra o maior número de comunidades pobres rurais e onde o meio ambiente pode perder a sua capacidade de absorver naturalmente a pressão dessas comunidades. A escassez de água e a frequência das secas condicionam a sobrevivência humana.

No Brasil, uma vez que existe a prioridade social e política de reduzir os níveis de pobreza, temas como a conservação e recuperação de biomas únicos, como a caatinga, ficam negligenciados (CASTELLETTI, 2004). No entanto, existe uma forte relação entre um ecossistema funcional, proteção de biodiversidade e redução de pobreza. A gestão dos recursos naturais deve considerar a conservação dos recursos hídricos e edáficos como base para sustentar os processos produtivos, econômicos e sociais das comunidades humanas.

Devido a esses motivos é necessário conhecer a possibilidade de se utilizar a captação de água de chuva e determinar se, utilizando essa alternativa, podem ser mitigados os efeitos ambientais das secas, especialmente por meio da coleta e armazenamento da água, seja em cisternas para consumo direto ou uso na irrigação, seja no solo como recarga da água do subsolo, assim como para evitar possíveis processos de desertificação. A recarga no subsolo pode funcionar como um amortecedor nos períodos de seca, o que, em conjunto, significa uma vantagem tanto para os usuários dessas técnicas quanto para as condições ambientais, econômicas e sociais das regiões semi-áridas do Brasil.

É importante a elaboração de projetos de pesquisa onde sejam aplicados e testados os diferentes tipos de captação de água de chuva em diferentes regiões geográficas com diferentes características, tanto climatológicas quanto edáficas, para poder determinar a possibilidade de sucesso na implementação de projetos de recuperação ambiental ou no aumento de produção agrícola.

3.9 Análise comparativa das eficiências de sistemas de *runoff farming*

Conforme mencionado anteriormente, as técnicas de captação para agricultura por escoamento têm sido usadas com sucesso em diversos países. Porém, é limitado o número de estudos em que tenham sido avaliadas suas eficiências para a restauração de solos e para a restauração da cobertura vegetal. Dessa forma, no âmbito desta pesquisa foram implantadas quatro técnicas de captação para agricultura por escoamento na região nordeste do estado de Minas Gerais, com posterior plantio de mudas de árvores e monitoramento de indicadores biológicos e físicos.

A análise das eficiências de diferentes técnicas pode ser feita com base na evolução temporal dos indicadores monitorados. Notadamente, é também importante utilizar métodos estatísticos que permitam a obtenção de comparações entre pares de grupos ou combinações entre os grupos. A Análise de Variância Simples (ANOVA – *One way*) é um dos métodos adequados para o tratamento estatístico dos dados obtidos em campo quando se dispõe de observações múltiplas (DAWSON & TRAPP, 2002). É um método paramétrico que constitui uma prova estatística para analisar quando as médias e variâncias de mais de dois grupos são diferentes entre elas. Adicionalmente, além da ANOVA, as diferenças entre os valores monitorados podem ser testadas com um fator e pós-teste de Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*) e teste não paramétrico de Friedman e pós-teste de Dunn, por se tratar de várias amostras independentes entre si e de diferentes tipos de variáveis a serem analisadas.

A análise de variância unidirecional produz um valor conhecido como F , o qual está baseado numa distribuição amostral. O valor F compara as variações nas pontuações de duas fontes diferentes – variações entre os grupos comparados e variações dentro dos mesmos grupos –, segundo a seguinte razão:

$$F = \frac{\text{média}_{qeg}}{\text{média}_{qdg}} \quad (1)$$

sendo $média_{qeg}$ a média dos quadrados entre grupos e $média_{qdg}$ a média dos quadrados dentro dos grupos.

A média dos quadrados implica uma média de variâncias elevadas ao quadrado. A média dos quadrados entre grupos se obtém calculando-se a média das pontuações de todos os grupos (média total). Em seguida, obtém-se o desvio da média de cada grupo em relação à média total e se eleva ao quadrado cada um desses desvios para que sejam somados. Finalmente, quantifica-se o número de indivíduos em cada grupo e a média dos quadrados é obtida com base nos graus de liberdade intergrupais. A média dos quadrados dentro dos grupos é calculada com base no desvio de cada pontuação em relação à média do seu grupo. Posteriormente, essa fonte de variação é somada e combinada para se obter uma média da variância intergrupais para todas as observações, considerando os graus de liberdade totais (WRIGHT, 1979 *apud* HERNÁNDEZ *et al.*, 1998).

Um valor alto de F indica que os grupos são diferentes entre eles, aceitando a hipótese da investigação, que no caso é que dentre os diferentes sistemas implantados, tem um que pode ser mais eficiente do que os outros. O valor da significância é representado por p ; se esse valor é menor do que 0,5, então o valor da variância é significativo no nível de 0,5 (95% de confiança de que a variância seja verdadeira e 5% de probabilidade de erro). Se p é menor do que 0,01, o valor da variância é significativo no nível de 0,01 (99% de confiança de que a variância seja verdadeira e 1% de probabilidade de erro).

O teste não paramétrico de Friedman é uma alternativa à análise de variância para amostras independentes, quando os dados não seguem uma distribuição normal. É importante destacar que ambos os métodos – paramétrico e não paramétrico – podem ser aplicados em amostras pequenas.

Os pós-testes de Tukey e de Dunn são utilizados para determinar, no caso de existir diferença significativa tanto na ANOVA simples e no teste não paramétrico de Friedman, qual dos grupos é o que apresenta a diferença mais significativa. O pós-teste de Tukey funciona por meio de uma comparação entre as médias de pares de grupos para determinar onde existe uma diferença significativa. Entretanto, o teste de Dunn é o teste não paramétrico para elaborar uma comparação múltipla. Com este último se ressalta a diferença por meio de comparações entre os grupos e a sua posição entre duas colunas com a diferença média esperada, a qual é baseada no número de grupos e o tamanho dos mesmos.

4 METODOLOGIA

4.1 Determinação das estruturas a serem implantadas

Para a elaboração do presente trabalho foi necessário utilizar diversos métodos em diferentes etapas do projeto. Primeiro, foram selecionadas as técnicas de captação de água a serem utilizadas na restauração das condições edáficas e de vegetação da região do médio Vale do rio Jequitinhonha, de características semi-áridas.

Para testar a capacidade de reabilitação de uma área degradada por meio do uso de técnicas de captação de água de chuva, foram selecionados os quatro sistemas de microcaptação de água de chuva conhecidos como captação para agricultura por escoamento (*runoff farming*) mais viáveis de serem aplicados, considerando as características locais de precipitação, solos e declividade e considerando aspectos de custo e tempo de construção.

Essas técnicas são estruturas de terra, de pequeno ou médio porte, nas quais é construída uma área de infiltração (cova e sulco) onde a água de chuva é acumulada. Esses sistemas possuem bordos que delimitam a superfície de captação. Dessa maneira é aproveitada a acumulação de água do escoamento gerado durante e após as precipitações. Apresentam a vantagem de poder ser construídas de forma manual, sem precisar de maquinaria, além de serem de baixo custo, fator fundamental face à situação econômica e social da população ativa na região de estudo. Isso é importante porque um esquema desse tipo só será viável se as condições geográficas e socioeconômicas forem consideradas.

Com base nos critérios anteriormente citados, as técnicas de captação de água selecionadas para determinar as diferenças de eficiência em retenção de água no subsolo e de recuperação das características de estabilidade do solo e da vegetação são: *Negarim*, leirões em semi-círculo, leirões em curva de nível e camalhões em curva de nível, pois podem ser construídas manualmente e já foram utilizadas com sucesso em locais cujas condições geográficas são semelhantes àquelas da região do médio Vale do Jequitinhonha.

Nenhuma das técnicas selecionadas tem sido testada ou monitorada no Brasil, o que coloca em destaque este trabalho na utilização das mesmas na tentativa de se estabelecer novas alternativas na recuperação de ambientes degradados em regiões semi-áridas no país.

4.2 Seleção das áreas experimentais

Após a seleção dos sistemas a serem implantados foi feito um reconhecimento geral da área de estudo, tendo sido visitados vários locais nos municípios de Araçuaí e Itinga. Dentre esses locais foi selecionada uma micro-bacia no município de Itinga, pertencente à região do Médio Jequitinhonha. Essa micro-bacia faz parte da bacia do córrego Teixeira, na comunidade de Humaitá (Figura 21). Nessa área, uma grande extensão está com níveis de degradação médios e altos. Foram visitados vários locais onde as condições edáficas e de relevo permitiriam a implementação dos sistemas de microcaptação com a finalidade de recuperar ambientalmente os solos e a vegetação. Para isso foram realizadas várias reuniões, tanto com Organizações Não Governamentais (ONG's) atuantes na região quanto com os moradores das comunidades, a fim de se apresentar os objetivos do projeto e a maneira como seria feito. A idéia proposta era a de que os moradores participassem do estudo, da construção dos sistemas de microcaptação e da seleção das áreas a serem utilizadas.

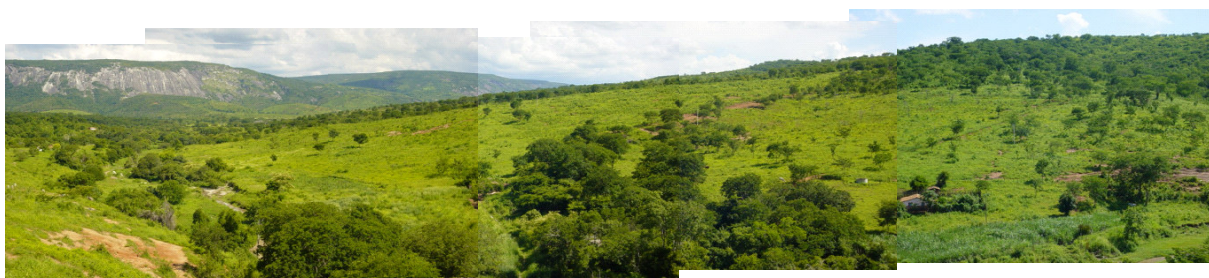


Figura 21: Vista panorâmica da região de Humaitá na bacia do córrego Teixeira, município de Itinga

Após a visita a vários locais foram selecionadas duas áreas com declividade moderada, mas com alterações na vegetação original e com processos ativos de erosão. Essas áreas passaram por um processo de utilização excessiva para pastoreio e agricultura. As duas áreas ficaram sem uso por um período de, no mínimo, seis anos. A Área Experimental 1 (AE1) apresentava evidências de processos erosivos por escoamento laminar e, em alguns pontos, concentrado, apresentando processos iniciais de ravinamento e alto nível de compactação por pisoteio. A Área Experimental 2 (AE2) apresentava menos alterações de perda de solo ou compactação, mas possuía uma declividade maior e, segundo o proprietário, os solos estavam empobrecidos, pois a produção agrícola não foi boa no último ano em que essa área foi cultivada.

As duas áreas experimentais encontram-se dentro de um perímetro de 1 km² e ambas possuem uma área de 800m², tendo sido destinada uma área de 200m² para cada um dos quatro sistemas de captação de água. Utilizou-se uma área de 200m² anexa à AE1 para a

implementação de uma área controle, onde também se plantaram árvores, mas sem a estrutura de captação de água de chuva.

Utilizando algumas características dos solos e das árvores plantadas como indicadores, foram realizadas as atividades de monitoramento de parâmetros qualitativos e quantitativos que exigiu um conjunto de métodos diferentes para permitir coletar dados que serviriam como indicadores da eficiência das técnicas. Posteriormente, foi realizada a análise dos mesmos.

4.3 Implementação dos sistemas de captação de água de chuva

A primeira área selecionada (AE1) foi utilizada anteriormente para cultura de pastos com a finalidade de abastecer o gado do proprietário e ficou sem utilização produtiva por mais de seis anos (Figura 22). Durante esse período, parte da área delimitada era utilizada diariamente como passagem de pessoas e animais, às vezes de motocicletas, e apresentava, na parte central, uma grande área de solo muito compactado sem cobertura vegetal. Nessa área a vegetação era escassa e arbustiva, do tipo campo sujo, com vegetação rasteira e pastos de pequeno porte espalhados em manchas. Também podiam ser observadas evidências de processos erosivos causados principalmente pelo pisoteio do gado e pela ação do escoamento superficial de tipo laminar durante os períodos chuvosos. Em alguns pontos, esses processos promoveram, ao longo da encosta, a aparição de sulcos e ravinas. A declividade média da área é de 5 % e, em alguns pontos, 7%. O solo estava em condições de extrema compactação superficial e nas áreas sem cobertura vegetal tinha formações de crostas superficiais impedindo a infiltração da chuva. Essas crostas foram provavelmente geradas pela combustão de matéria orgânica das queimadas feitas no local quando utilizado para cultivo de pastos.



Figura 22: Área experimental 1 selecionada para a implementação dos sistemas de captação por escoamento para produção agrícola

Para a implementação do projeto experimental primeiro foi necessário limpar a área e delimitá-la em cinco sub-áreas para construir os sistemas de captação de água de chuva. Cada sub-área tem uma extensão de 200m² e contém os sistemas de captação: 1) *Negarim*; 2)

leirões em semi-círculos; 3) leirões em curva de nível; e 4) camalhões em curva de nível. A quinta sub-área, que foi implementada posteriormente, constituiu a área controle, na qual não foi construído nenhum tipo de sistema e as árvores foram plantadas de maneira aleatória, sem considerar curva de nível ou nenhum outro tipo de tratamento (Figura 23).

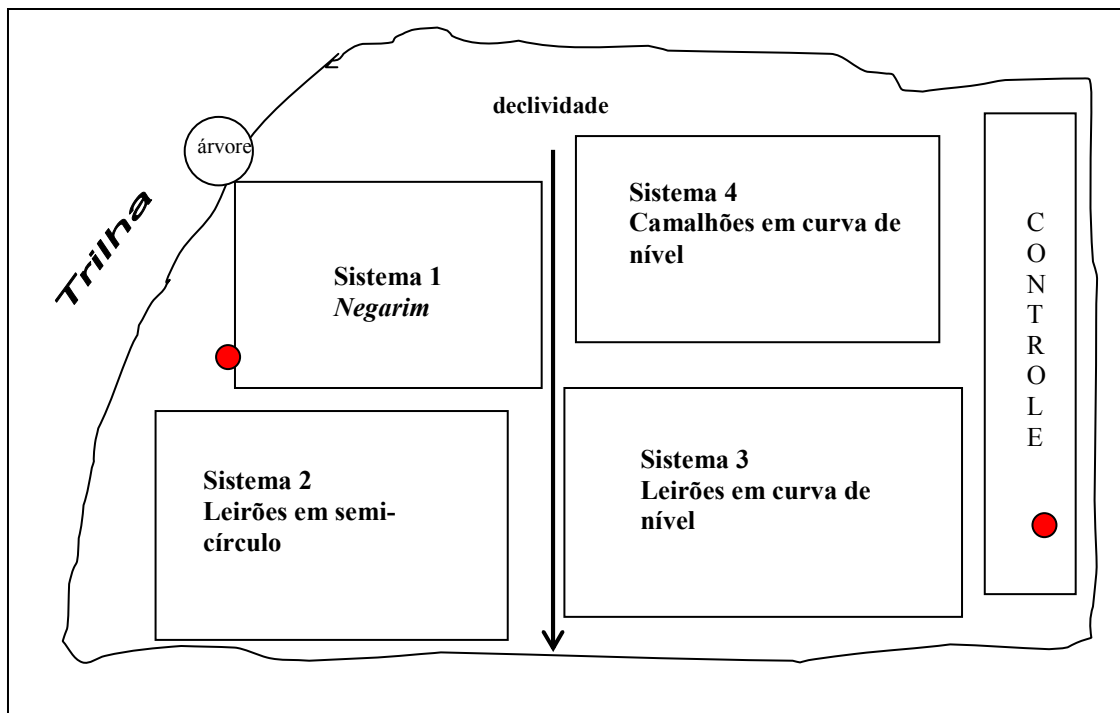


Figura 23: Esquema de distribuição dos sistemas de microcaptação de água de chuva para a AE1 (● – ponto de amostragem de solo)

Após limpar a área foram delimitadas as curvas de nível a cada 3 metros aproximadamente (Figura 24). Posteriormente foram delimitados 200m² para cada sistema de captação de água de chuva para agricultura por escoamento ou *runoff farming*.



Figura 24: Demarcação das curvas de nível na AE1

Em seguida, procedeu-se ao esboço, com ajuda de um barbante e estacas, de cada tipo de sistema de microcaptação a ser utilizado (Figuras 25 e 26). Isso facilitou aos lavradores a elaboração dos sulcos, os quais foram feitos com uma profundidade de 25cm e largura de 30cm. Segundo o tipo de sistema de microcaptação, os espaçamentos entre micro-bacias foram determinados de 3m até 4,2m. As covas onde foram colocadas as árvores foram feitas com uma profundidade de 40 a 50cm, segundo indicações de Critchley e Siegert (1991) e de Siegert *et al.* (2003). Ao mesmo tempo, com o solo extraído das valetas e covas, foram construídos pequenos bordos de aproximadamente 75cm de largura na base e 30 cm de altura.



Figura 25: Desenho e construção do sistema *Negarim* na AE1



Figura 26: Desenho e construção do sistema *Leirões em Semi-círculo* na AE1

A construção dos sistemas de captação na AE1 foi feita no mês de julho de 2005 e foram plantadas, inicialmente, 64 mudas de sete espécies diferentes de árvores do cerrado. A intenção inicial foi a de reflorestar e recuperar as capacidades de funcionamento hidrológico do solo e, ao mesmo tempo, evitar ao máximo os processos erosivos no local. As mudas foram doadas pelo viveiro da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), localizado no município de Leme do Prado. Essa empresa fomenta o reflorestamento entre

pequenos produtores e auxiliou a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) no processo de recuperação ambiental das áreas degradadas no entorno do empreendimento de Irapé.

Pedi-se a opinião do proprietário do local e junto às sugestões do pessoal da EMATER foram escolhidas espécies que poderiam ser aproveitadas. Dessa forma, dentre as espécies escolhidas havia algumas que produziam flores, com a possibilidade de investimento posterior na produção apícola, e outras espécies que poderiam gerar matéria prima aproveitável na construção e no reparo de ferramentas. Uma vez que o plantio foi realizado no mês de julho de 2005, no meio da época seca, pediu-se ao proprietário que aguisse uma vez por semana as mudas até o início do período chuvoso (outubro). Por diversos problemas, as mudas só receberam água em quatro ocasiões e ao perceber que as mudas começaram a morrer o proprietário desistiu de aguá-las. Junto a esses problemas, perceberam-se erros no desenho experimental, como a falta de uma área controle e a possível interferência do número de espécies das mudas selecionadas. Devido a isso, e ante à perda quase total das mudas, decidiu-se, junto ao proprietário, plantar no mesmo local mudas de árvores frutíferas, limitadas unicamente a duas espécies. As mudas, que foram disponibilizadas pelo escritório regional de Montes Claros do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), foram das espécies *Manguifera indica* (mangueira) e *Psidium guajava* (goiabeira). Decidiu-se aproveitar a oferta porque ambas apresentam uma grande resistência a períodos de seca e tolerância a excesso de água temporariamente. Essas espécies crescem em regiões climáticas com regime de precipitação entre 500mm e 900mm por ano. Isso gerou mais expectativas no pequeno produtor, o que facilitou a concessão de mais uma área experimental – AE2 –, possibilitando aumentar o número de árvores a serem plantadas e a duplicação das estruturas, o que permitiu uma margem maior para avaliar e analisar, de uma maneira mais robusta, a eficiência de cada um dos sistemas testados.

Realizou-se de novo o teste *in situ* das características físicas do solo e a análise de declividade e de geomorfologia. Pelos resultados dessas análises, considerou-se que o local proposto era apropriado para o estabelecimento de uma segunda área experimental. Por meio de análises expeditas, determinou-se que o tipo de solo nessa segunda área era semelhante àquele da AE1.

Na AE1, aproveitando o espaço disponível em cada sistema de captação de água de chuva por escoamento, plantaram-se, de maneira alternada, as árvores de *Manguifera indica* e de

Psidium guajava. A relação das mudas que foram plantadas para cada sistema é apresentada na tabela 4.

Tabela 4 – Número de árvores plantadas em cada sistema de captação na AE1

AE1	<i>Negarim</i> (S ₁)	Leirões em semi-círculo (S ₂)	Leirões em curva de nível (S ₃)	Camalhões em curva de nível (S ₄)	Controle
<i>Manguifera indica</i>	8	7	12	11	6
<i>Psidium guajava</i>	7	6	10	10	6
Total	15	13	22	21	12

As árvores frutíferas foram plantadas logo depois de iniciada a estação chuvosa do ano hidrológico de 2005. Após o segundo evento chuvoso em outubro de 2005, os leirões e camalhões da AE1 estavam estabilizados naturalmente por vegetação secundária rasteira, como é possível observar nas Figuras 27 e 28. Plantaram-se, no total, 158 mudas, 79 de goiaba e 79 de manga, logo após o início do período chuvoso, no mês de novembro de 2005, em ambas as áreas. Da área controle duas árvores de goiaba desapareceram no primeiro mês e logo não foram consideradas nas análises estatísticas posteriores. Uma vez que a AE1 estava limitada por uma trilha e por uma área de pastagem de gado, considerando então as dificuldades que se teriam na demarcação das curvas de nível e na construção dos sistemas de captação, o espaço disponível foi dividido em lotes de 200m² para cada sistema. A área controle foi implantada durante o mês de novembro de 2005, motivo pelo qual se aproveitou o extremo esquerdo da área numa faixa de 5m de largura por 40m de comprimento, seguindo a declividade da encosta.



Figuras 27 e 28: Estado inicial da AE1 em época da seca (julho/2005) e após as primeiras chuvas (outubro/2005)

Na AE2, os trabalhos de delimitação, construção dos sistemas e plantio das mudas foram feitos no início da temporada de chuvas, no mês de novembro de 2005. Os sistemas construídos na AE2 são réplicas dos sistemas da AE1. A distribuição dos sistemas foi feita de

maneira diferente para determinar, posteriormente, se a posição relativa dos mesmos em relação à declividade teria alguma influência em seus desempenhos (Figura 29).

Assim, a AE2 foi delimitada para a construção dos quatro sistemas de captação de água de chuva com 200m² de área para cada um. O histórico da segunda área é diferente, já que permaneceu sem utilização produtiva por cinco anos. Essa área sempre foi utilizada para cultura de grãos, principalmente de milho e feijão, e algumas outras hortaliças. Segundo o proprietário, nos últimos anos até o início da pesquisa, a produção dessa área diminuiu muito e o tamanho das espigas passou a ser cada vez menor.

Devido à similaridade das características físicas dos solos e pela proximidade com a AE1, foi considerado que a área controle implantada na AE1 poderia funcionar de igual maneira para a AE2, o que, como se constatou posteriormente, se constituiu em um erro no desenho experimental, devido principalmente às diferenças de compactação e de composição granulométrica dos solos entre as duas áreas. Adicionalmente, mas provavelmente com pequena influência, as orientações das vertentes são diferentes: a AE1 tem uma orientação com direção Sul e a AE2 orientação Sul-Sudeste.

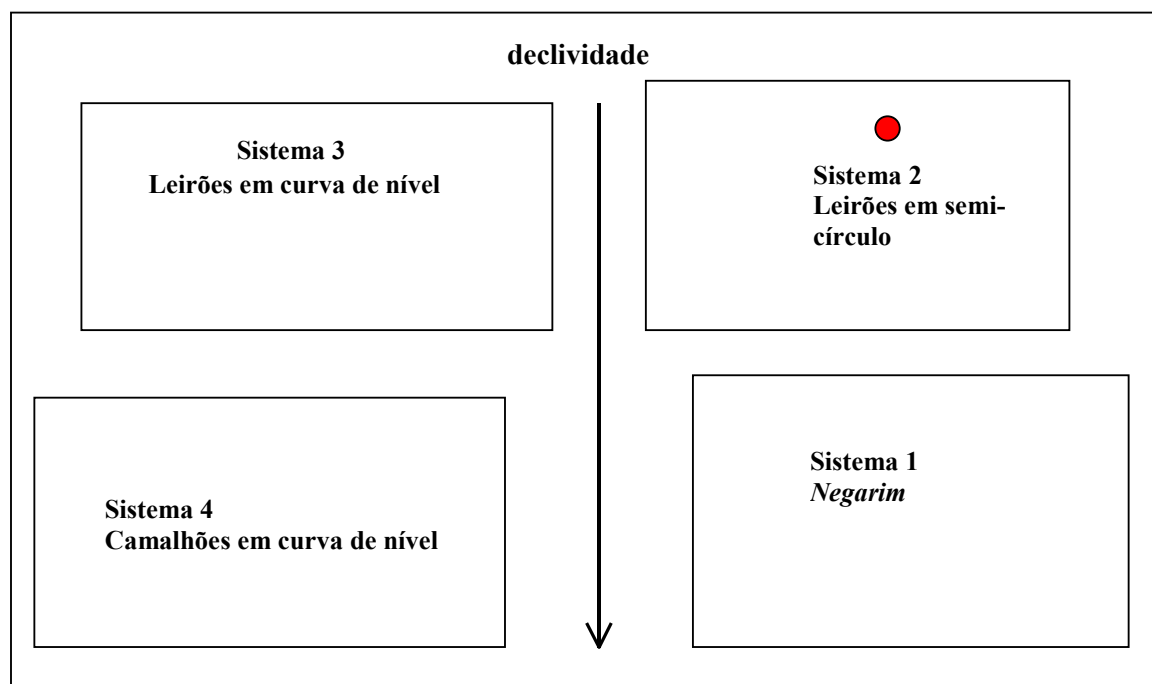


Figura 29: Esquema de distribuição dos sistemas de microcaptação de água de chuva para a AE2 (● – ponto de amostragem de solo)

Apesar da baixa produtividade, essa área ficou sem intervenção ou impacto de outro tipo, só o crescimento da vegetação secundária que invadiu a área, que é principalmente de tipo arbustiva e que manteve o solo protegido de processos erosivos e de compactação. A declividade dessa área é de pouco mais de 7% (Figura 30).



Figura 30: Aspecto inicial da AE2

Conforme mencionado, os procedimentos na AE2 para a construção dos sistemas de captação de água foram os mesmos realizados na AE1, qual seja, primeiro teve que se limpar a área para posteriormente marcar as curvas de nível, aproximadamente, a cada 3 metros (Figura 31).



Figura 31: Limpeza da AE2

Posteriormente, como mostra a Figura 32, foram feitos os sulcos com o desenho de cada sistema e as covas para o plantio das mudas de manga e goiaba. Cabe destacar que não foi utilizado nenhum tipo de adubação na hora de plantar as mudas para que ambas as áreas experimentais, incluída a área controle da AE1, tivessem as mesmas condições naturais e próprias de nutrientes, textura e matéria orgânica.



Figura 32: Construção do sistema *Negarim* na AE2

Nas sub-áreas delimitadas para cada sistema foram plantadas, de maneira alternada, 40 mudas de *Manguijera indica* e 38 de *Psidium guajava*, as quais foram distribuídas nos diferentes sistemas de captação de água de chuva como indicado na tabela 5.

Tabela 5 – Número de árvores plantadas em cada sistema de captação na AE2

AE2	<i>Negarim</i> (S ₁)	Leirões em semi-círculo (S ₂)	Leirões em curva de nível (S ₃)	Camalhões em curva de nível (S ₄)
<i>Manguijera indica</i>	9	9	11	11
<i>Psidium guajava</i>	11	7	9	11
Total	20	16	20	22

O número de árvores nos sistemas S₁ e S₂ foi um pouco menor, pois o desenho de ambos exige um maior espaçamento entre as microbacias que constituem o conjunto de microcaptações, mas também o número de mudas viu-se reduzido, na AE1, pela topografia e pela presença de árvores que estavam dentro do espaço delimitado para esses sistemas e cujas raízes não permitiram que o espaçamento entre microbacias fosse uniforme. Nos sistemas S₃ e S₄, o desenho permitiu um espaçamento menor entre árvores – 3,5m e 3m, respectivamente –, o que permitiu plantar um número maior de mudas.

4.4 Estruturas implantadas e plantio de mudas

Segundo SIEGERT *et al.* (2006), para a implantação das estruturas de *runoff farming* os solos devem ser profundos, não salinos ou sódicos e devem possuir um determinado nível de fertilidade. Existem restrições se os solos são arenosos, já que se a infiltração acontece de maneira rápida, o escoamento superficial não é favorecido. A declividade pode ser um fator limitante para a implementação dos sistemas de microcaptação, de tal forma que se recomendam declividades baixas (de 0% a 5%), devido à possibilidade do escoamento ser irregular e, principalmente, pelos elevados custos de construção para maiores declividades. A construção das estruturas selecionadas é descrita a seguir.

4.4.1 *Negarim*

Para a construção dos sistemas de microcaptação, como já foi mencionado, é necessário primeiro definir e marcar as curvas de nível. Isso foi feito com uma mangueira de nível, que é a maneira mais fácil e econômica de se realizar tal tarefa. A primeira curva de nível foi feita na parte mais alta do terreno e, a partir dessa, as subseqüentes foram marcadas com estacas e um barbante. A primeira linha sempre é feita com os extremos abertos. A distância entre as pontas ($a - b$) depende do tamanho da unidade de microcaptação. Nesse caso, foi de 4,2m, seguindo as recomendações do Critchley e Siegert (1991), como se observa na Figura 33.

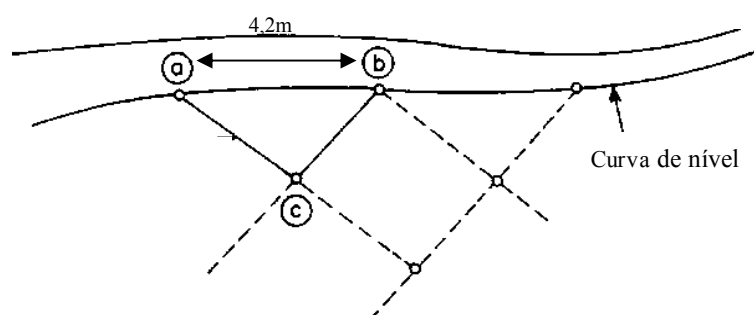


Figura 33: Técnica para marcar as microcaptações *Negarim*

Uma peça de barbante com a extensão de um lado da microcaptação – no caso 3 m para a área de $3 \times 3 \text{ m}^2$ – foi fixada num dos extremos (a) e um segundo barbante de mesma extensão no outro extremo (b). Os dois se encontraram no cruzamento (c). Esse ponto foi marcado com uma estaca e os lados $a - c$ e $b - c$ foram marcados no solo ao lado dos barbantes com uma picareta. Esse procedimento foi repetido até que todos os leirões da primeira fileira de microcaptações estivessem marcados.

A seguinte fileira de microcaptações foi marcada considerando os pontos (c) da fileira antecedente, como as pontas (a) e (b) das microcaptações anteriores, e partindo-se desses pontos (a e b) foi marcado o ponto de cruzamento (c) para esse grupo de microcaptações, como indicado no parágrafo anterior. Uma vez marcada a segunda fileira de microcaptações, o mesmo processo foi repetido para a seguinte, vertente abaixo. O resultado final foi um lote de 200 m^2 de microcaptações em forma de diamantes com a primeira fileira aberta na parte mais alta da encosta, como mostrado na figura 33. Uma vez marcadas no solo as microcaptações, procedeu-se à escavação da cova para colocar a muda de árvore e do sulco de infiltração. A cova da árvore se fez na parte mais baixa seguindo a linha da declividade, mas sem chegar ao bordo da sarjeta de infiltração, a qual foi feita ao longo dos lados da

microcaptação na parte interna da estrutura. Aproveitando o solo extraído da sarjeta, foram construídos os leirões em duas camadas, que foram umedecidas e compactadas com os pés ou com pás. Para verificar se era uniforme a altura dos leirões, estendeu-se um barbante, acima do leirão, entre os pontos $a - c$ e $b - c$.

Esse tipo de estrutura precisa de manutenção constante durante o período de chuvas no caso de ocorrência de eventos de grande intensidade, já que o escoamento pode causar rompimentos se os leirões não estiverem bem compactados e consolidados. Os danos que acontecem pelo escoamento excessivo podem gerar rompimentos, com efeito *dominó* se os primeiros não forem reparados. As mudas de árvores foram plantadas imediatamente após o início da temporada de chuvas.

4.4.2 Leirões em semi-círculo

Para a construção dos leirões semi-circulares, marcaram-se as curvas de nível utilizando mangueira de nível e colocando-se estacas e barbantes. As estruturas construídas têm um raio de 3m. Cada extremo do semi-círculo está localizado na curva de nível e a distância entre as micro-bacias é de 1,5m (Figura 34).

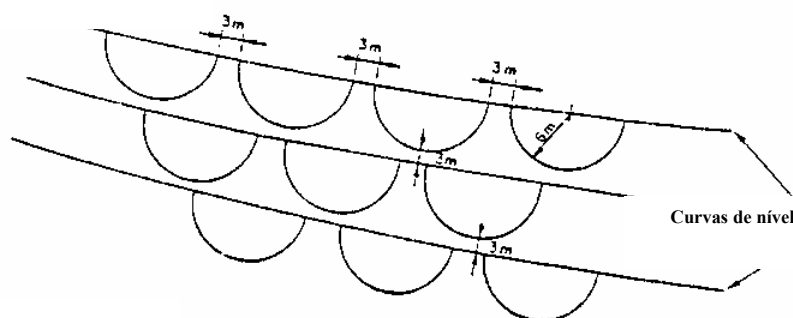


Figura 34: Desenho dos leirões em semi-círculo para uma área de captação maior (Fonte: CRITCHLEY & SIEGERT, 1991)

O desenho do semi-círculo foi feito localizando-se primeiro o ponto central de cada microcaptação sobre a curva de nível. Posteriormente, com uma corda com a extensão do raio selecionado, determinou-se o alinhamento do semi-círculo levando o extremo da corda de um lado ao outro. Isso foi feito para cada curva de nível marcada no terreno (Figura 35).

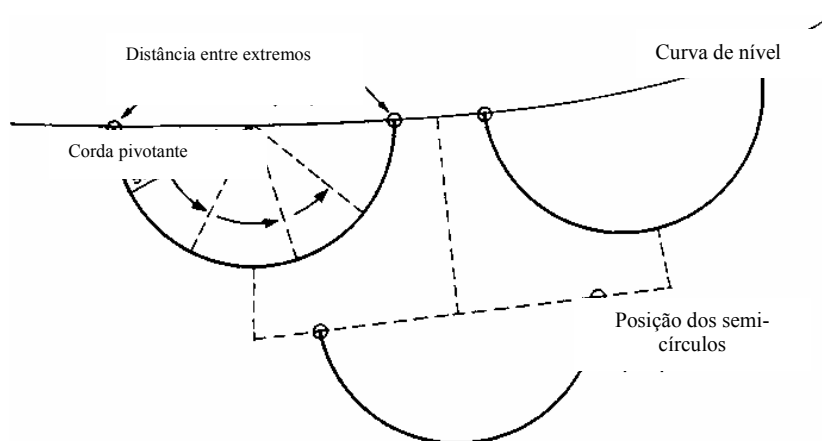


Figura 35: Desenho e alinhamento dos semicírculos sobre a curva de nível (Fonte: CRITCHLEY & SIEGERT, 1991)

É importante verificar se a parte central do semi-círculo está coincidindo com o espaçamento entre os semi-círculos da curva de nível acima, isto é, as estruturas de uma linha têm que estar intercaladas em relação àquelas de uma linha superior ou inferior, para aproveitar o vazamento do escoamento excedente que se gerará em cada meia lua.

A construção dos bordos foi feita escavando uma pequena trincheira em sua parte interna com a intenção de favorecer a capacidade de armazenamento de cada estrutura semi-circular. Aproveitando o solo extraído da sarjeta, foram construídos os leirões com uma altura de 25cm, com uma base de 75cm e no topo uma largura de 25cm. O bordo foi construído em camadas, compactadas e umedecidas, de 15cm cada vez. Eventos muito intensos de chuva podem afetar as estruturas. Por isso é recomendada uma revisão das condições dos bordos antes e durante o período de chuvas para realizar as reparações devidas e evitar um dano maior às estruturas.

4.4.3 Leirões em curva de nível

Para a construção desse sistema foi necessário primeiro determinar as curvas de nível, as quais foram marcadas com estacas e barbante. As sarjetas foram escavadas manualmente de maneira paralela à curva de nível. Com o solo extraído foram construídos leirões. Os dentes foram construídos com um espaçamento de 4 metros, dividindo o leirão em vários segmentos. Os dentes têm um comprimento de 50cm, com uma altura de 15 a 20cm. Dado que a área de captação é relativamente pequena, o leirão deve ser suficientemente alto (de 25 a 35 cm) para prevenir um transbordamento do escoamento superficial. No desenho da Figura 36 é mostrada uma planta do sistema.

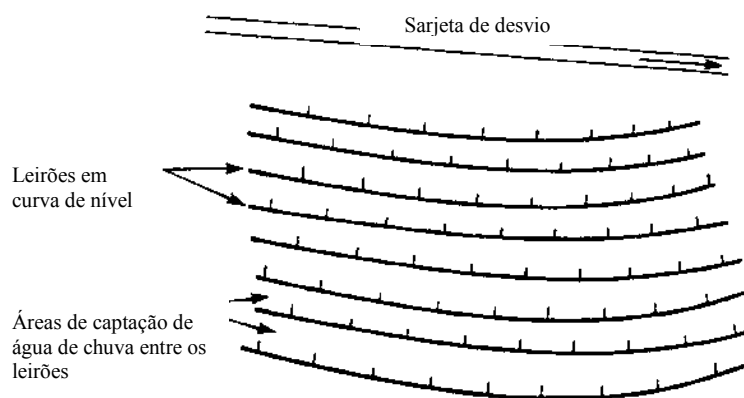


Figura 36: Leirões em curva de nível (Fonte: CRITCHLEY & SIEGERT, 1991)

Como no caso dos outros sistemas, se durante o período de chuvas se apresentarem rupturas dos leirões, esses deverão ser reconstruídos imediatamente. No final de cada período chuvoso os leirões foram reconstruídos à sua altura original e os sulcos e valetas onde se acumularam sedimentos foram refeitos.

4.4.4 Camalhões em curva de nível

Para a construção dessas estruturas tem que se marcar primeiro as curvas de nível, no caso, a cada 3 metros, com estacas e barbante. Procedeu-se a escavação do sulco de infiltração e, utilizando o solo extraído, foram construídos os camalhões contínuos, com uma altura de 35 a 45cm. A cada 3,5 metros foram feitas covas com profundidade de 40cm para colocar uma muda por cova. Dentre os quatro sistemas construídos, esse foi o que demandou menor tempo de trabalho (Figura 37). As principais diferenças entre esse sistema e o anterior (leirões em curva de nível) é a continuidade do camalhão e a altura do mesmo, nesse sistema de 10cm a 15cm mais alto do que o anterior.



Figura 37: Construção dos camalhões em curva de nível (julho/2005)

4.5 Métodos de avaliação do processo de restauração ambiental

Para projetos de recuperação ambiental a fase de monitoramento é vital, já que é a base da informação que indicará se os objetivos estão sendo atingidos. No entanto, existem poucas referências na matéria de monitoramento de recuperação de ambientes áridos e semi-áridos. No presente trabalho foi utilizada uma conjunção de documentos que descrevem diferentes métodos de indicadores de restauração ambiental, tanto qualitativas quanto quantitativas e semi-quantitativas (Tabela 6).

A metodologia proposta pelo USDA (1999) e por Herrick *et al.* (2005) sugere a realização do monitoramento de vários aspectos do solo e da vegetação, dos quais no presente trabalho são considerados os seguintes: estabilidade dos agregados do solo (*soil aggregate stability*) e taxa de infiltração no solo (*soil infiltration rate*). Já outros trabalhos mencionam a utilização de equipamento especial para monitorar a porcentagem de umidade no solo (HERRERA & WHITE, 2002; CAMPBELL-CLAUDE, 2005). No presente caso foram utilizados blocos de gesso (*521F1 G-Blocks, Soil Moisture Equipment*) colocados a 20cm e 40cm de profundidade em quatro pontos (dois para cada profundidade) para cada sistema de captação de água avaliado. A metodologia utilizada tem a vantagem de ser simples, relativamente rápida, de baixo custo e de fácil reprodução. Todas as medições são feitas no local de estudo (*in situ*) para eliminar custos e eventuais demoras associadas com análises em laboratório.

Foram considerados os seguintes parâmetros de cada árvore:

- Altura e número de folhas

Os parâmetros do solo foram:

- Porcentagem de umidade em duas profundidades diferentes (20 e 40cm), estabilidade dos agregados do solo e taxa de infiltração no solo

Tabela 6 – Níveis de monitoramento da eficiência das técnicas de microcaptação de água de chuva

Nível	Objetivo	Medições
Qualitativo	Documentação das mudanças na vegetação e nos sistemas de captação de água de chuva	Fotografias
Semi-quantitativo	Infiltração de água no solo	Capacidade de infiltração superficial
Quantitativo	Documentação das mudanças na produção vegetal, na estabilidade do solo e na retenção de umidade no solo	Desenvolvimento em altura e número de folhas das árvores Estabilidade dos agregados do solo Porcentagem de umidade no solo

Esses monitoramentos foram feitos periodicamente – aproximadamente a cada mês, a exceção do monitoramento da umidade do solo, que foi feito a cada 15 dias – já que o ritmo de crescimento inicial das mudas no campo pode ser muito diferenciado. Nos primeiros meses após o plantio é que a competição com a vegetação invasora provoca maiores interferências no desenvolvimento das plantas (LELES *et al.*, 2001).

Árvores de mangueira (*Mangifera indica*) e goiabeira (*Psidium guajava*) foram utilizadas como bio-indicadores para, com base no desenvolvimento da planta e o tipo de sistema, determinar a eficiência das técnicas de captação de água de chuva por escoamento na retenção de umidade no solo. Essas culturas são muito expandidas no Brasil e, apesar disso, os conhecimentos de suas necessidades hídricas são escassos para a região do semi-árido (OLIVEIRA & COELHO, 2002; NETO, *et al.* 2003). No entanto, são plantas que podem crescer em lugares que apresentam de 250 a 500 mm de chuva por ano. Precisam de um período seco para a floração e para a produção de frutos (SILVA & GUEDES, 2003). As condições de temperatura e umidade relativa do ar no local são benéficas para ambas as espécies.

4.5.1 Desenvolvimento das árvores

A estimativa da área foliar é utilizada para avaliar o crescimento das plantas e em estudos agrônomicos e fisiológicos. Porém, não existe uma metodologia totalmente adequada para sua estimativa. Segundo Hernandez (1995 *apud* CALDAS PINTO, 2006), a área foliar é uma importante medida para avaliar a eficiência fotossintética da cultura e, conseqüentemente, sua influência sobre a produção final, já que o aporte de água inferior à necessidade hídrica da cultura produz estresse hídrico à planta, afetando o número e tamanho das folhas e área foliar total. Vários métodos já foram utilizados para a medição da área foliar, como o emprego de

medidores eletrônicos ou técnicas de planimetria (KVET & MARSHAKLL, 1971 *apud* CALDAS PINTO, 2004). No entanto, a dificuldade do uso de planímetros e o alto custo de medidores eletrônicos determinaram que fosse utilizado como indicador o número de folhas, como proposto por Percy *et al.* (1994), Kloss e McBride (2002), Holt *et al.* (2002) e Amorim *et al.* (2005). Para ambos os parâmetros – altura e número total de folhas das árvores –, seguiram-se os métodos de medição diretos propostos por Percy *et al.* (1994).

Com uma fita métrica foram tomadas medidas da altura total de cada planta. No caso das plantas com bifurcações, foi considerada a extensão do galho com maior comprimento. Quantificou-se o número de folhas que cada uma das mudas tinha para comparar posteriormente o desenvolvimento em altura e da copa da árvore. Para se obter uma quantidade de dados que permitisse fazer uma avaliação mais robusta, foram feitos registros da altura da planta e do número de folhas como indicadores da evolução e desenvolvimento geral da planta a cada mês.

4.5.2 Estabilidade dos agregados do solo

Os testes *in situ* do solo, como foi dito, compreenderam a avaliação da estabilidade dos agregados do solo e da taxa de infiltração, ambas monitoradas mensalmente, e a porcentagem de umidade no solo, monitorada a cada semana.

O teste de estabilidade do solo forneceu informações sobre o grau de desenvolvimento estrutural do solo e da sua resistência à erosão. Também reflete a integridade biológica do solo, já que a matéria orgânica que une as partículas do solo deve ser restituída constantemente pelas raízes das plantas e os organismos no solo. Esse teste mede a estabilidade do solo ao ser exposto a um processo de umedecimento rápido.

O material utilizado para esse teste foi:

- ✓ Espátula metálica para retirar as amostras de solo;
- ✓ 18 peneiras pequenas para colocar os fragmentos de solo (feitas com tubo PVC de ½’’);
- ✓ Água destilada;
- ✓ Vasilha compartimentada para molhar as amostras;
- ✓ Cronômetro; e
- ✓ Caderno de anotações.

Para realizar esse teste foram selecionados 18 pontos de amostragem de solo superficial e subsuperficial para cada sistema de captação de água. As amostras de solo subsuperficial proporcionaram informação sobre a erodibilidade do solo. Esses pontos foram registrados numa folha de coleta de dados e sua localização foi sempre a uma distância de, no mínimo, 50cm da árvore. As coletas foram feitas sempre nos mesmos pontos. Só no caso em que se apresentou alguma interferência o ponto foi localizado a uma distância de um 1,0 metro.

Foi feita uma coleta da amostra superficial escavando uma pequena trincheira de 10-15mm na área de amostragem. O fragmento de solo deve ter um tamanho entre 2-3mm de espessura e 6-8mm de diâmetro (Figura 38). Uma vez coletado, o fragmento foi colocado em uma peneira seca para posteriormente ser colocado no compartimento seco da vasilha de umedecimento.

A amostra de solo subsuperficial foi retirada diretamente abaixo do ponto onde foi coletada a amostra superficial. Para isso foi preciso escavar uma pequena trincheira a uma profundidade de 3-4 cm. O fragmento de solo tinha de ser, também, de 2-3 cm de espessura e 6-8mm de diâmetro. Posteriormente, cada fragmento foi colocado na peneira e umedecido, como feito com a amostra superficial (Figura 39).



Figura 38 e 39: Fragmentos de solo superficial e solo subsuperficial

Os compartimentos da vasilha de umedecimento foram cheios com água destilada. Nesse processo, a água deve estar à temperatura ambiente.

Colocou-se a primeira peneira no compartimento com água. O resto das amostras foi colocado em água a cada 30 segundos, uma após a outra. A contagem do tempo começa com a primeira amostra. Observaram-se os fragmentos a partir do momento em que eram imersos na água até completar 5 min (300 segundos). Quando a amostra permaneceu sem mudanças, foi extraída da água e voltou a ser imersa por cinco vezes. Posteriormente, registrou-se uma classe de estabilidade segundo a Tabela 7. Se inicialmente a amostra foi classificada como 1, 2 ou 3, a classificação podia ser alterada se depois dessas imersões menos do 10% do solo continuasse na peneira.

Tabela 7 – Critérios de classificação da estabilidade dos agregados do solo

Classificação de estabilidade	Critérios para determinar a classificação
1	Perda de 50% da integridade estrutural (dissolve) em 5 segundos de imersão em água OU o solo é muito instável para amostrar (passa através da peneira)
2	Perda de 50% da integridade estrutural (dissolve) em 5-30 segundos após imersão
3	Perda de 50% da integridade estrutural (dissolve) em 30-300 segundos após imersão OU < 10% do solo permanece na peneira após cinco ciclos de imersão
4	10–25% do solo permanece na peneira após cinco imersões
5	25–75% do solo permanece na peneira após cinco imersões
6	75–100 % do solo permanece na peneira após cinco imersões

Fonte: HERRICK *et al.*, 2005; USDA, 1999

A maior estabilidade do solo superficial e subsuperficial indica uma resistência maior e melhor capacidade de recuperação à erosão. Locais com valores 5 ou maiores são, geralmente, muito resistentes à erosão, principalmente se existem poucas áreas sem cobertura vegetal. Valores altos também refletem uma boa função hidrológica, pois os solos estáveis são menos propensos à dispersão e à obstrução dos espaços entre partículas durante as chuvas torrenciais. A integridade biótica também pode se relacionar com os valores altos da estabilidade dos agregados dos solos, já que são os organismos do solo que elaboram as substâncias que unem as partículas do solo.

4.5.3 Taxa de infiltração

A taxa de infiltração está associada à velocidade com que a água penetra no solo. A infiltração lenta no solo pode levar à formação de poças com encharcamento em áreas planas ou à erosão por escoamento em áreas com declividades acentuadas. A utilização do infiltrômetro de anel proporciona uma idéia relativa da capacidade de infiltração do solo.

Para a realização desse teste foram utilizados os seguintes materiais:

- ✓ Tubos de PVC de 10cm de diâmetro e 12cm de comprimento;
- ✓ Sacolas plásticas;
- ✓ Água;
- ✓ Cronômetro; e
- ✓ Caderno de anotações.

Foram escolhidos três pontos para cada sistema de captação, que foram registrados para se fazer o teste de infiltração sempre no mesmo lugar. Procurou-se um ponto que permitisse a

inserção do anel no solo, sem alterar as características deste ao redor da árvore. Era necessário verificar se o solo não estava saturado de água.

Inseriu-se o anel sempre a uma profundidade de 3cm, distribuindo a pressão sobre o anel o máximo possível.

Em uma sacola plástica foram adicionados 500ml de água, os quais foram posteriormente despejados cuidadosamente dentro do anel para evitar alterações no solo superficial. Se houvesse fugas ao redor do cilindro, inseria-se mais 0,5cm o cilindro no solo.

Registrou-se como tempo final de infiltração o momento em que se percebia que 50% do solo continuávamos molhados. A diferença entre o início da infiltração até o tempo final é o tempo requerido para que a água infiltre 3cm de solo (Figura 40).



Figura 40: Solo úmido após o início do processo de infiltração

A taxa de infiltração superficial é um indicador relativo da velocidade com que a água umedece o solo superficial durante os eventos chuvosos intensos. A infiltração por meio do cilindro é muito mais rápida do que as taxas naturais de infiltração. Isso ocorre porque durante o teste a água pode se movimentar horizontal e verticalmente nos primeiros três centímetros dentro do solo e não é muito sensível à compactação do solo subsuperficial – mais de 3cm de profundidade –, a menos que o cilindro seja inserido a uma profundidade maior. Esse indicador pode ser sensível às mudanças na superfície do solo e muda com o desenvolvimento de raízes, com a atividade biológica (presença de nemátodes, artrópodes e outros organismos), com a estabilidade dos agregados do solo e com o aumento na quantidade de matéria orgânica. No entanto, apesar dessas limitações, esse indicador constitui informação importante em relação às mudanças das características hidrológicas do solo superficial (USDA, 1999).

4.5.4 Porcentagem de umidade no solo

A umidade do solo pode ser avaliada com diferentes tipos de técnicas. Aparelhos como os blocos de gesso utilizam uma resistência elétrica para medir a umidade contida no solo. O princípio desse tipo de aparelho é que o conteúdo de umidade pode ser determinado pela resistência entre dois eletrodos inseridos no perfil do solo. Se houver uma grande quantidade de umidade no solo, a resistência é menor. Os blocos de gesso utilizados são do tipo *Soilmoisture 5201FIG-Blocks* (*Soilmoisture Equipment Corp.*). Esses blocos podem ser colocados em diferentes níveis de profundidade no perfil do solo e adquirem o conteúdo de umidade em equilíbrio com o solo ao redor deles. Os blocos, com uma resistência no seu interior, possuem cabos que ficam na superfície do solo. Esses cabos permanecem fora do solo e podem ser conectados a um aparelho medidor portátil cujas medições estão relacionadas com a resistência do bloco (ohm) e com a sucção do solo (bares). Foram utilizados dois aparelhos de medição para verificar as leituras.

Para cada sistema ou tratamento foram instalados 4 blocos de gesso em duas diferentes microbacias de captação, a 20cm e a 40cm de profundidade no solo, considerando que nessa faixa se daria o desenvolvimento de raízes em árvores novas. Foi instalado um par para cada microbacia, em diferentes pontos ao longo da declividade do terreno, em buracos a uma distância de 30cm em ambos os lados das árvores, para determinar, posteriormente, se a posição em relação à declividade das microbacias apresentava uma diferença no armazenamento de água no perfil de solo. No total, para as duas áreas experimentais e a área controle foram instalados 36 blocos de gesso. O monitoramento foi feito a cada semana para cada sistema ou tratamento.

Dessa maneira testou-se a efetividade das microcaptações para coletar o escoamento e distribuí-lo na área ao redor da cultura para cada sistema de captação.

Para a instalação dos blocos foi necessário, utilizando picareta, fazer buracos um pouco maiores do que o tamanho do bloco.

- Seguindo as instruções de uso, os blocos foram pré-umedecidos em água por mais de 10 minutos;
- Preparou-se uma lama, mistura de solo local e água, que foi colocada no fundo do buraco; e

- Inseriram-se os blocos até o fundo dos buracos e cobriram-se posteriormente com a mesma mistura de solo e água.

Cobriu-se o resto do buraco com solo local pressionando levemente. Para fechar completamente o buraco, foi colocado um tampão da mistura de água e solo, compactando firmemente. Após seis horas foram feitas a primeira leitura e o primeiro registro da umidade do solo nas duas profundidades (Figura 41).



Figura 41: Leitura do aparelho e registro das medições de umidade no solo

A instalação desses aparelhos teve como objetivo reportar as diferenças temporais de disponibilidade de água no perfil do solo. Com os dados obtidos pode-se realizar uma análise da efetividade dos sistemas de microcaptação para armazenar água no perfil do solo e as variações durante o período seco, permitindo saber qual desses sistemas é mais eficiente na retenção de umidade ao longo do tempo.

4.6 Análise estatística da eficiência das estruturas

A melhor maneira para elaborar o presente trabalho seria a concepção de um desenho experimental em que houvesse várias réplicas (lotes de 200m²), cada uma com uma combinação dos diferentes sistemas de captação. Isso eliminaria possíveis diferenças em suas eficiências que pudessem ser atribuídas a variações no tipo de solo.

As diferenças poderiam ser testadas mediante o uso da técnica de análise de variância (ANOVA) de dois fatores em grupos aleatórios. No entanto, tendo em consideração o tempo e recursos financeiros e humanos para a realização da pesquisa e considerando que os solos da região são relativamente homogêneos, optou-se por um desenho em que um sistema é construído em um lote de 200m² separado dos lotes de outros sistemas. As diferenças foram testadas com a ANOVA de um fator e pós-teste de Tukey HSD (*Honestly Significant Difference*), ou por meio do teste não paramétrico de Friedman e pós-teste de Dunn, por se

tratar de várias amostras independentes e referentes variáveis distintas, já que o propósito desses testes de variância múltipla é identificar possíveis diferenças significativas entre as médias das amostras em análise.

No entanto, a ANOVA ou o teste não paramétrico não permitem conhecer qual é o tratamento que apresenta uma diferença significativa dentro de todos os tratamentos analisados. A ANOVA apresenta a vantagem de poder ser utilizada ainda que as amostras sejam pequenas e os números de indivíduos nas amostras não sejam iguais para todos os tratamentos utilizando testes específicos (HALPIN *et al.*, 1991; KULINSKAYA & GAO, 2003). Isso permitiu analisar as diferentes amostras, apesar de ter existido perdas de indivíduos arbóreos amostrados ao longo do tempo observado.

Para poder determinar qual dos tratamentos apresentou diferenças significativas no que se refere aos diversos indicadores, utilizou-se o pós-teste de Tukey quando a análise havia sido feita com a ANOVA e o pós-teste de Dunn quando a análise havia sido feita com o teste não paramétrico de Friedman. A utilização desses testes, de tipo *pós*, permitiu definir qual foi o tratamento mais eficiente em relação aos outros. Os testes comparam a média mais alta com a mais baixa, além de permitir a análise de amostras de diferentes tamanhos. Adicionalmente, permitem conhecer a diferença das médias entre dois grupos e qual deles deve ser considerado como significativo.

Tanto para a ANOVA, com pós-teste de Tukey HSD, quanto para o teste não paramétrico de Friedman, com pós-teste de Dunn, foi utilizado o programa *GraphPad Prism* versão 4.00 para Windows, *GraphPad Software*.

5 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA REGIÃO DE ESTUDO

5.1 Localização

A área de estudo está inserida no município de Itinga, na parte média da bacia do rio Jequitinhonha, no estado de Minas Gerais. Esse município localiza-se a 635km de Belo Horizonte (Figura 42) e possui uma área de 1.650 km² (IBGE, 2000).

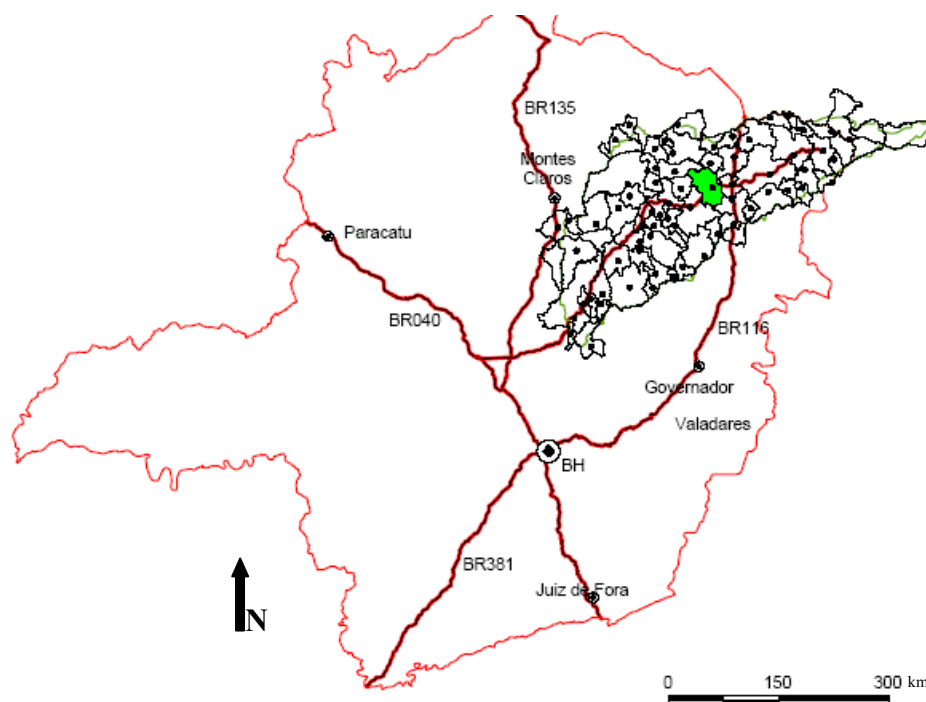


Figura 42: Localização do município de Itinga no estado de Minas Gerais (Fonte: CPRM, 2005)

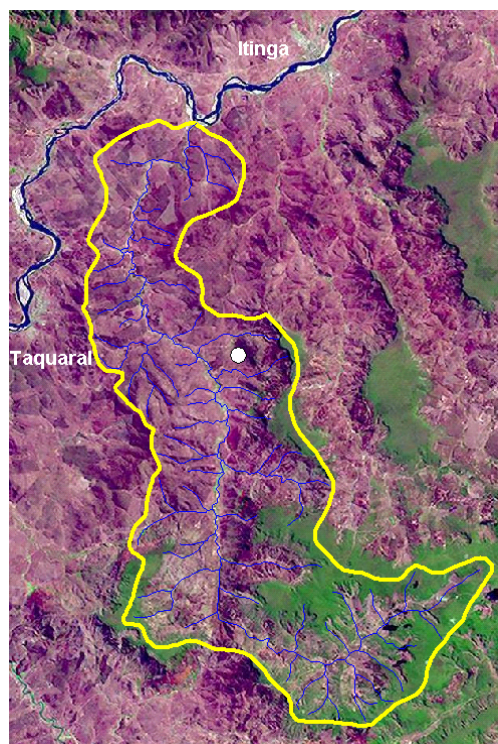
Segundo os dados do Censo de População 2000 (IBGE, 2000), a população estabelecida no município para esse ano foi de 13.835 habitantes, dos quais 40% moravam na sede do município. A densidade demográfica é de, aproximadamente, 8,42 hab/km².

As principais atividades econômicas no município são a agropecuária e a mineração. A produção agrícola é principalmente de laranja, cana-de-açúcar, tomate, feijão e mandioca. Na pecuária predominam as criações de bovinos, galináceos, suínos e eqüinos. Exploram-se minerais corados, onde o principal método de produção é o garimpo. As reservas minerais do município incluem berilo, estanho (cassiterita), feldspato, lítio (ambligonita, espodumênio e petalita), mica, nióbio-tântalo (columbita-tantalita) e quartzo. Recentemente começou, nas imediações das áreas rurais da parte NE e SE do município, a extração de granito, o que tem gerado, em pouco tempo, importantes mudanças na estrutura social e econômica da população rural.

No semi-árido mineiro apresentam-se condições geológicas relativamente favoráveis se comparadas com a região do NE Brasileiro. No médio Vale do Jequitinhonha existem diversas formações geológicas com diferentes graus de permeabilidade que favorecem a infiltração e a ocorrência de aquíferos, apesar de existir um embasamento geológico cristalino com seqüências metassedimentares, pertencentes ao Grupo Macaúbas, e seqüências ortoquartzíticas, do Supergrupo Espinhaço. Portanto, a presença de nascentes e córregos intermitentes constitui a principal fonte de abastecimento de água nas áreas rurais dessa região. São as nascentes as que constituem a base da distribuição espacial da própria população e determinam as atividades econômicas que se realizam no local. Isso é particularmente importante devido à degradação acelerada das nascentes, assim como dos solos, que de maneira geral está ocorrendo na região pelo uso excessivo na mineração e agricultura. Essas condições estão agravando ainda mais a condição de aridez natural já existente. Essa degradação poderia ser identificada como o início de um processo de desertificação, podendo causar custos econômicos e sociais muito mais altos se não se tomarem medidas para evitar esses processos de deterioração dos recursos do Vale do Jequitinhonha. É por isso que é necessário gerar soluções alternativas que proporcionem soluções viáveis para restaurar o funcionamento do sistema hidrológico-edáfico-biológico desses locais de maneira a manter os recursos disponíveis para sustentar a população e diminuir os índices de pobreza que são inerentes aos atuais modos de exploração desses recursos (OLIVEIRA *et al.*, 2002a).

As áreas experimentais localizam-se na parte SE do município, na bacia do córrego Teixeira, afluente do rio Jequitinhonha. O córrego Teixeira é intermitente e corre na direção SE-N. A bacia do córrego Teixeira localiza-se entre 16° 25' e 16° 52' lat. Sul e 40° 45' e 40° 16' long. Oeste, na região do Médio Jequitinhonha e possui uma área de 142km² (Figura 43).

Como em todo o Vale do Jequitinhonha, na micro-bacia do Teixeira o homem vem intervindo nos processos naturais da bacia hidrográfica e tem alterado o caráter da mesma em todos seus aspectos – drenagem, solos, vegetação –, assim como na velocidade de ação dos processos de escoamento superficial e erosão, gerando mudanças nas condições naturais da bacia.



Escala aprox. 1 : 290.000

Figura 43: Imagem de satélite mostrando a bacia do córrego Teixeira e o local da área de estudo (Fonte: EMBRAPA, 2005)

A nascente do córrego Teixeira encontra-se na vertente sudeste da bacia do rio Jequitinhonha, no local conhecido como Chapadão, a uma altitude aproximada de 750 m. A extensão aproximada do rio, desde a nascente até sua desembocadura, é de 32 km.

Segundo o mapa Geológico do Projeto Diagnóstico Ambiental de Minas Gerais (IBGE, 1997) e o Diagnóstico do município de Itinga, elaborado pela CPRM (2005), na bacia do córrego Teixeira afloram rochas granitóides e metamórficas, de idade neoproterozóica. Na região onde se localiza a área de estudo ocorrem as rochas da Formação Ribeirão do Grupo Macaúbas, datada de 830 milhões de anos. Esse grupo está composto por metapelitos, metacherts, formações ferríferas bandadas e orto-anfíbolitos. As rochas granitóides intrudiram a seqüência anterior em três estágios. O primeiro no Neoproterozóico, representado pela biotita granitóide Água Boa, de cor cinza clara e bege e de granulação média. Também no Neoproterozóico, num segundo estágio, ocorreu a intrusão pós de granito peraluminoso, e no Período Cambriano do Paleozóico houve a intrusão do Granito Medina. O grupo Água Boa tem a maior ocorrência dentro do município, ocupando quase 80% dele. Em alguns pontos da bacia encontram-se, superpostas a essas seqüências, coberturas detríticas, colúvio-eluviais e lateríticas. Essas seqüências estão constituídas por arenitos, siltitos e argilitos.

A totalidade da bacia localiza-se dentro da grande unidade geomorfológica do Planalto Jequitinhonha (KING, 1965), que é composta de áreas aplainadas limitadas por rebordos

erosivos, denominadas regionalmente de *chapadas* (Figura 44). Essas áreas alternam-se com zonas dissecadas que acompanham o rio principal e seus afluentes, onde predominam vertentes ravinadas e vales encaixados, cristas e colinas.



Figura 44: Aspecto geral da porção Sul da bacia do córrego Teixeira

5.2 Clima

O nordeste mineiro está inserido na zona semi-árida tropical e está condicionado pela variabilidade climática que ali se apresenta devido a mudanças na circulação atmosférica. Apresentam-se períodos de seca com altas temperaturas, pouca umidade relativa no ar e alta taxa de evaporação. Na região do médio do Vale do Jequitinhonha o clima tem variações locais por diferenças de altitude, mas predomina o clima semi-árido, com totais pluviométricos anuais médios de 800mm, irregularmente distribuídos ao longo do ano, e temperatura média anual de 24,4°C. As chuvas se concentram em seis meses do ano (de outubro a março). Mais da metade da chuva total anual é observada entre os meses de dezembro e fevereiro. A evaporação potencial situa-se na faixa dos 800 a mais de 1.200 mm (IBGE, 1997). A umidade relativa do ar varia entre 60 e 80% de média anual, sendo mais baixa nas áreas mais deprimidas. Devido à relação entre evaporação potencial alta e pluviometria relativamente baixa, a bacia do Jequitinhonha como um todo apresenta níveis de deficiência hídrica diferentes segundo a localização geográfica. Esses níveis estão na faixa de 0 a mais de 600mm anuais, perdurando por períodos que vão de 1 a 12 meses. Os índices mais baixos distribuem-se a noroeste e na baixa bacia, com valores entre 0 e 200mm; nos setores mais meridionais e extremo setentrional, registram-se valores medianos; na média bacia e setores mais deprimidos registram-se valores mais elevados, oscilando entre 300 a mais de 600 mm na região que ocupam os municípios de Araçuaí e Itinga (IBGE, 1997).

Como já foi mencionado, a parte nordeste do estado de Minas Gerais está sob a influência do clima semi-árido. A precipitação em Minas Gerais deve-se, principalmente, aos processos convectivos e aos sistemas frontais estacionários que têm a sua origem na Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). No entanto, as estiagens no estado podem ser também resultado dos fenômenos de *El Niño* e *La Niña*, que afetam a Circulação Geral da Atmosfera. Em Minas Gerais, quando ocorre o fenômeno *El Niño*, parte do Triângulo Mineiro, Norte e Nordeste do estado têm anomalias úmidas na primavera e no ano seguinte secas, principalmente no verão (RAJARAM, 2001).

Na região do semi-árido mineiro o regime estacional é tipicamente tropical. É durante o verão que o sistema de correntes perturbadas de oeste (IT), com pancadas de chuvas ocasionais, assegura o máximo de chuvas. No inverno, com o sistema enfraquecido, o setor fica sob o domínio mais constante dos ventos anticiclônicos de NE e E da alta subtropical do Atlântico Sul, que é quando se apresenta o mínimo pluviométrico do ano. A distribuição anual das precipitações constitui o fato mais negativo nessa região, com uma concentração da mesma em poucos meses, na forma de chuvas torrenciais, e um período muito seco de duração variável (NIMER, 1979; CAVALCANTI *et al.*, 2002).

As chuvas são, também, de caráter irregular, espacial e temporalmente. Ainda assim, a altura média anual de precipitação é maior do que a de algumas áreas do nordeste brasileiro, dando-lhe a característica de ser, dentro a região semi-árida, a mais úmida. No entanto, as taxas de evaporação e evapotranspiração são das maiores. As condições de semi-aridez que existem na parte média do Vale do Jequitinhonha devem-se, principalmente, aos fenômenos de tipo regional, onde se conjugam fenômenos meteorológicos de alta pressão, direção dos ventos e as características topográficas que existem nessa região.

Além dessa variabilidade climática e irregularidade nas precipitações, nessa porção do estado são frequentes períodos de estiagem durante o período chuvoso. Esse fenômeno é denominado regionalmente de veranico e adquire uma grande importância econômica devido ao seu impacto na produtividade das culturas, principalmente quando a disponibilidade de água do solo é inadequada ou insuficiente para atender as necessidades hídricas das culturas ou das plantas em geral (LUCHIARI *et al.*, 1986 *in*: MINUZZI *et al.*, 2005). Esse fenômeno acentua, ainda mais, a vulnerabilidade ambiental e social que existe na região.

O relevo, como foi mencionado, também tem influência sobre a variabilidade do período seco, mas atua, nessa região, com efeitos mais localizados.

Além da variabilidade na precipitação e a temperatura média, o tipo de vegetação que predominante na área – xerófila de tipo caatinga – indica que a área de estudo se encontra dentro da área de clima mais seco da porção média do Vale do Jequitinhonha. Também está presente uma vegetação secundária, como pastos induzidos e capoeira. A deficiência hídrica que existe na região constitui um grande problema para a prática das atividades primárias, restringindo a agricultura a culturas temporárias (IBGE, 1997).

A região apresenta variações micro-climáticas resultado da influência do relevo e da circulação dos ventos locais gerada pela localização da mesma. Verifica-se uma concentração da chuva nos últimos e primeiros meses do ano, com ocorrência regular de veranicos, seja em janeiro ou fevereiro, para voltar a ter um aumento de chuvas no mês de março, que fecha o período chuvoso. Apresentam-se, regularmente, 6 meses de seca, em geral, bastante extremos. Para ilustrar esse fenômeno foram considerados os dados disponíveis de precipitação média mensal da estação Itinga, que é a mais próxima à área de estudo (Figura 45).

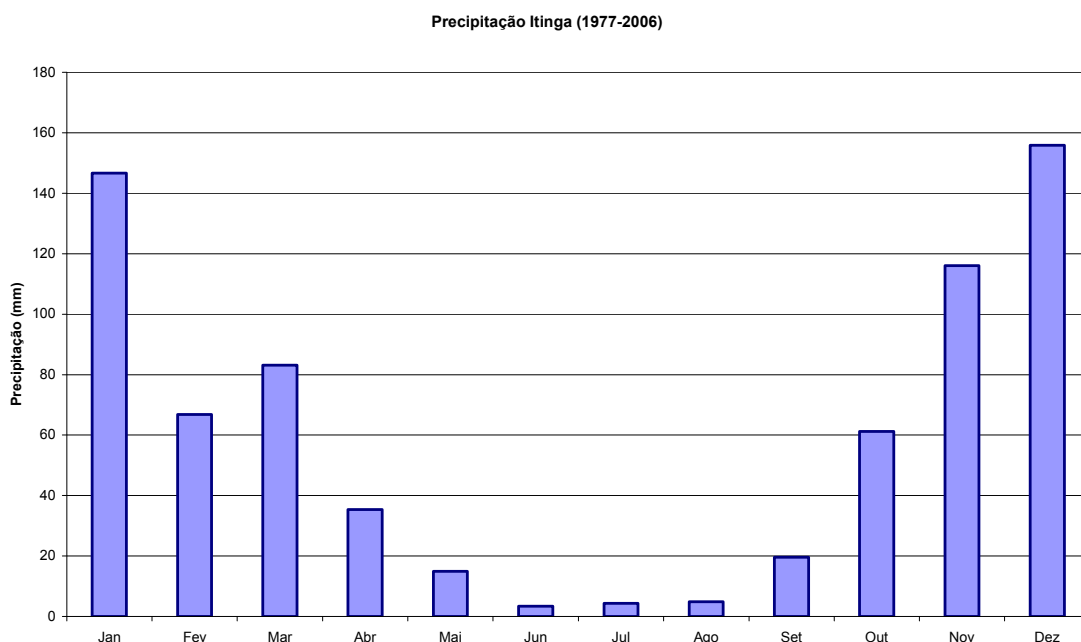


Figura 45: Precipitação média mensal (1977-2006) em Itinga (Fonte: CPRM, 2006)

A taxa de evapotranspiração potencial na região é alta (Figura 46) e deve-se considerar que a relação existente entre precipitação e a evaporação potencial determina a intensidade da aridez, que para a região é de 0,60, segundo os dados do INMET (1992).

Evapotranspiração potencial média
mensal (1970-1990) em Itinga

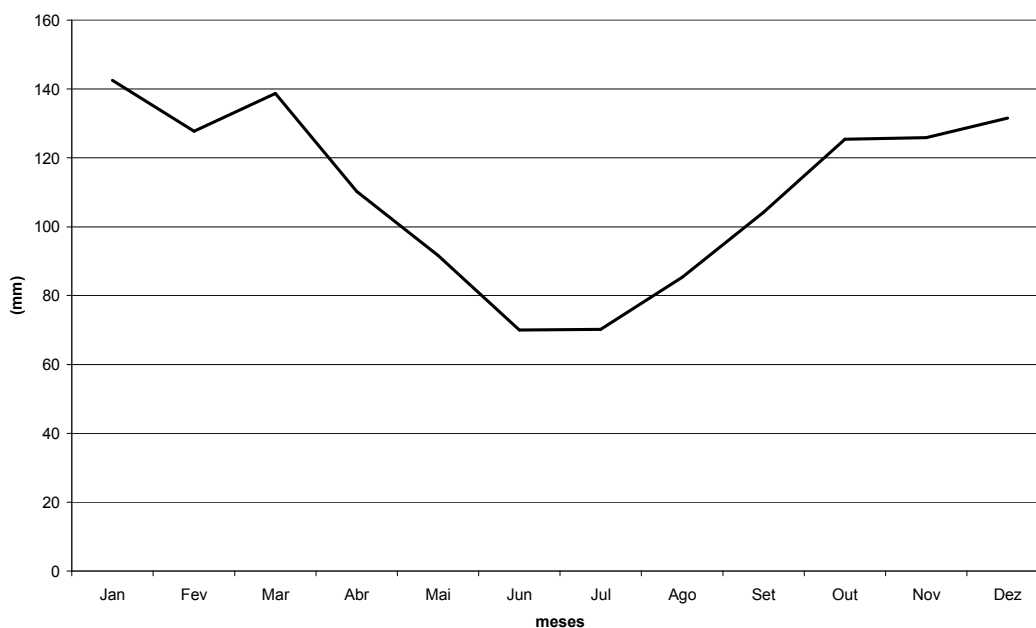


Figura 46: Evapotranspiração potencial média mensal (1970-1990) em Itinga (Fonte: INMET, 1992)

Analisando ambos os gráficos pode-se observar que, segundo dados da estação de Itinga, a relação precipitação–evapotranspiração é determinante na área de estudo porque o déficit de água persiste durante o ano todo. O balanço hídrico climatológico (Figura 47) permite conhecer até que ponto as características climatológicas da região podem interferir no armazenamento de água no solo e, portanto, no desenvolvimento das plantas. Uma das formas de se monitorar o armazenamento de água no solo é por meio do uso do balanço hídrico climático, descrito por Thornthwaite & Mather em 1955. Com base na contabilização do suprimento natural de água ao solo e da demanda atmosférica (evapotranspiração potencial), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível apropriado ao tipo de planta cultivada, o balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real, da deficiência hídrica, do excedente hídrico e do armazenamento de água do solo. O balanço hídrico climático médio é importante na definição e quantificação das exigências climáticas dos diferentes tipos de vegetação, nas diferentes fases fenológicas das plantas. Como se pode observar no balanço hídrico climatológico para Itinga (Figura 47), na região há uma deficiência hídrica no solo durante a maior parte do ano. Isso se deve ao fato de que a água pode se movimentar através dos solos como vapor de água, o que se reflete como perda de umidade da superfície do solo por evaporação, que ocorre quando a concentração de vapor de água no solo é maior na superfície do solo do que na atmosfera imediatamente acima dessa superfície. O vapor de água passa do solo para a atmosfera numa tentativa de igualar as

concentrações. A taxa de evaporação do solo será maior se a atmosfera estiver mais quente e seca do que a superfície do solo, considerando que este possua suficiente água nas camadas subsuperficiais, a qual, por capilaridade, chega à superfície.

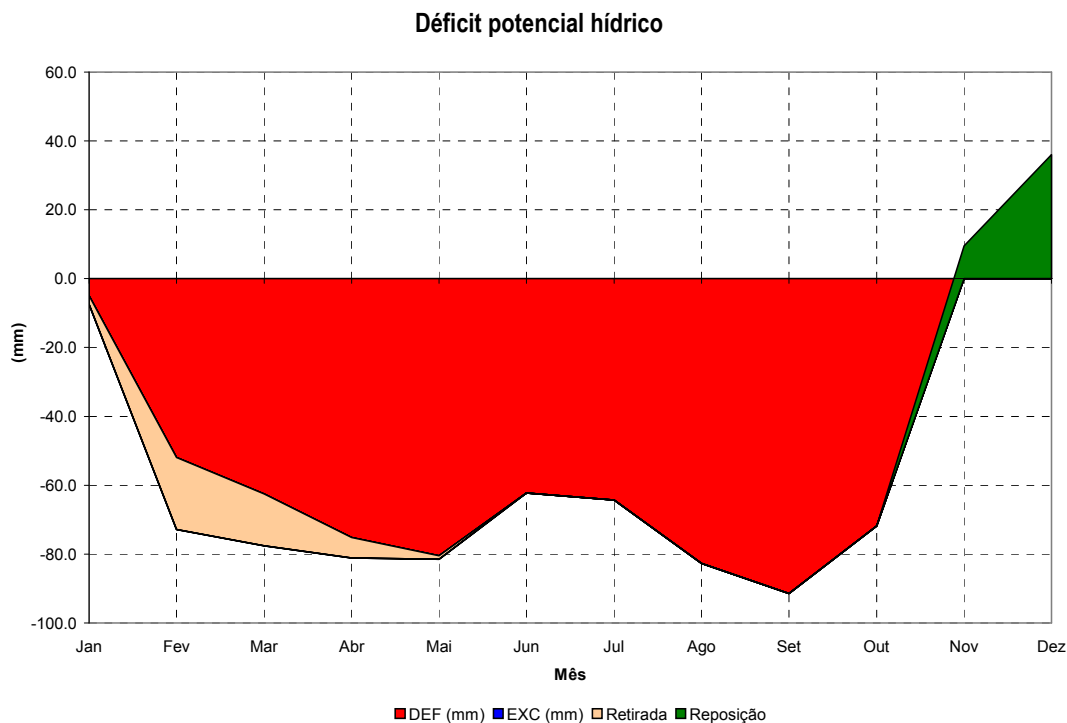


Figura 47: Déficit potencial hídrico com base no balanço hídrico climatológico – estação de Itinga (Fonte: INMET, 1992)

5.3 Solos

Ainda que não exista um mapa detalhado dos tipos de solos na bacia, segundo o mapa de solos da EMATER – EMBRAPA (1998), os solos existentes na bacia são, em geral, do tipo Latossolo. Essa variedade corresponde a solos minerais não hidromórficos de seqüência de Horizontes A, Bw e C, e apresentam como característica diferencial a ocorrência de Horizonte B latossólico, constituído por minerais altamente intemperizados. São solos profundos com horizonte B latossólico de mais de 2 metros de espessura. A classe textural varia de média a muito argilosa e a drenagem de acentuadamente a moderadamente drenada. São solos de baixa fertilidade natural, fortemente ácidos e elevados teores de alumínio trocável (GUERRA & CUNHA, 1998).

Na bacia são encontrados Latossolos do tipo Vermelho-Amarelo com diferenças de fertilidade em função da localização dentro da bacia. Além desses tipos existem solos Argilossolo

Vermelho-Amarelo e Neossolo litólico, distribuídos na bacia em concordância com a paisagem da área de estudo.

As características desses tipos de solos são descritas a seguir:

- Latossolos Vermelho-Amarelos. Estes solos são profundos ou muito profundos de seqüência de horizontes A-Bw-C, com aparência relativamente bem individualizada devido à distinção de cor, especialmente entre os horizontes A e B. O horizonte A fraco é característico das zonas semi-áridas. O horizonte B apresenta ampla variação de cor, devido às condições diferenciadas de drenagem interna. A estrutura é granular e geralmente são porosos, mesmo aqueles com teores elevados de argila. As diferenças texturais entre os horizontes A e B são pequenas. São solos predominantemente distróficos ou álicos. São solos bem drenados (REZENDE *et al.*, 2003);
- Argilossolo Vermelho-Amarelo. Esta classe compreende solos que apresentam horizonte diagnóstico B textural com seqüência de horizonte A, Bt e C ou A, E, Bt e C. Os horizontes são bem diferenciados e apresentam nítido gradiente textural, cujo incremento de argila do horizonte A para Bt é facilmente perceptível. A textura, a atividade da argila e a fertilidade são muito variáveis (GUERRA & CUNHA, 1998); e
- Neossolo Litólico. São solos muito rasos, pouco desenvolvidos e com seqüência de horizonte A, C e R ou A e R. Em geral, apresentam horizonte A diretamente sobre o substrato rochoso, contudo podem ter horizonte B incipiente, pouco espesso, acima do material rochoso pouco intemperizado. São solos pobres e ácidos (RESENDE *et al.* 1995).

5.4 Vegetação

A vegetação típica da caatinga constitui a principal formação vegetal original nas partes baixas da bacia. O cerrado existe, ainda hoje, nas partes altas da bacia e em algumas das chapadas. Esses tipos de formações vegetais ocorrem sobre solos profundos e são característicos das regiões caracterizadas por uma estação seca de duração de até 6 meses. Ambos os tipos de vegetação possuem características que as distinguem de outras formações. Os troncos das árvores e arbustos possuem galhos que formam ângulos com o tronco, ou entre si, gerando o hábito de crescimento intermitente em uma outra direção, resultando em fâcies de tortuosidade para as plantas (CETEC, 1980).

A caatinga hoje pode ser encontrada nessa bacia em pequenas extensões, mas provavelmente já cobriu maior extensão. Essa formação vegetal é de especial importância pela ocorrência de espécies endêmicas e está correlacionada com a mata pluvial por alguns de seus gêneros, assim como com o cerrado (CETEC, 1980). As plantas suculentas – cactáceas, bromeliáceas, euforbiáceas etc – ocorrem extensivamente na caatinga, principalmente nos nichos com afloramentos rochosos. Esse tipo de vegetação se encontra em manchas próximas à área de estudo na parte SE da bacia.

Pode-se constatar, por observação em campo, que a vegetação predominante sobre essa unidade é de tipo secundária induzida, como gramíneas de diferentes tipos. Isso significa que a vegetação original foi retirada para dar lugar a culturas de diferentes tipos, com exceção de algumas regiões altas onde a cobertura é constituída por capoeira, principalmente na porção sudeste, que abriga a cabeceira da bacia.

A capoeira é uma formação secundária, em fase de desenvolvimento, originada da regeneração de floresta cortada ou queimada. Às vezes é considerada uma gradação de mata secundária, podendo ser encontrada nas diferentes variedades de capoeirão, capoeira e capoeirinha.

O capoeirão é uma formação vegetal em fase avançada de regeneração, desenvolvida a partir do corte ou queima de mata virgem pré-existente. Ela procede da brotação de tocos da mata, de raízes e da germinação de sementes caídas anteriormente no solo.

A capoeira pode proceder das florestas sempre-verdes ou semicaducifólias. Ela difere do capoeirão pelo porte e diâmetro das árvores. Seus indivíduos arbóreos apresentam alturas que variam de 3 a 10 m.

A capoeirinha apresenta as mesmas características gerais da capoeira. Ela corresponde ao estágio que antecede a capoeira, isto é, a uma mata incipiente de troncos finos, que se observa no início do processo de reconstituição parcial da formação primitiva. Também existe na região uma associação de capoeirinha com samambaia.

Como se pode observar em fotografias aéreas (IGA, 1964) e imagens de satélite (IEF, 1994), o tipo de vegetação que ocupa a maior extensão dentro da área da bacia é o pasto induzido. Isso indica um desmatamento intenso e constante ao longo do tempo, com o propósito de abrir áreas, seja para a agricultura, seja para a pecuária, sendo esta última a atividade predominante na unidade de estudo. As áreas atualmente ocupadas pela pecuária foram usadas inicialmente por culturas de ciclo curto, isto é, milho junto com feijão e lavoura exclusiva de milho. Depois dessa atividade agrícola, foram plantadas gramíneas, que constituem a pastagem. Nessa região, o capim mais utilizado para a formação de pastagens é o chamado capim colômbio, que é de origem africana. O desenvolvimento dessa gramínea é fortemente limitado pela altitude e pela seca (CETEC, 1980).

A utilização dos solos é, principalmente, para pastagens de reserva, que são utilizadas durante a seca. A forragem produzida nessa região é pobre. Além dos pastos, a agricultura que se realiza nessa área é predominantemente de subsistência, com cultivo de mandioca e feijão. Os fundos de vale são aproveitados para a cultura de banana e laranja. Os fatores limitantes desses solos são o esgotamento da fertilidade e a alta erodibilidade. Outros fatores que podem ser observados são a falta de práticas básicas de manejo e conservação dos solos e a impossibilidade de mecanização devido ao relevo e às altas declividades em algumas porções da bacia.

Outro tipo de cobertura vegetal, que se apresenta em associação com o capim colômbio, é o pasto sujo. Essa associação ocorre quando, pelo pastoreio excessivo, o terreno fica descoberto, deixando crescer o capim marmelada no período de águas. Existem outros tipos de capins que têm sido introduzidos, procurando uma melhor resistência à seca, assim como uma melhor capacidade de suporte ao pisoteio, um dos principais fatores geradores de erosão do solo.

5.5 Análise geomorfológica

Como já foi mencionado, o córrego Teixeira faz parte da bacia do rio Jequitinhonha, no nordeste do estado de Minas Gerais. Localmente, a cabeceira dessa sub-bacia localiza-se ao Sul da vertente direita do Jequitinhonha numa chapada cuja altitude é de 750 m. Essa chapada

pertence à unidade fisiográfica da Serra do Chifre, que serve de divisor de água com a bacia do rio Mucuri, ao Sul. A extensão do córrego Teixeira é de 35 km, entre as cotas de 750m e 230m, na sua confluência com o rio Jequitinhonha. A topografia da bacia apresenta um relevo de superfícies elevadas e aplainadas, cujas altitudes vão de 250m a 750m, com presença de vales muito encaixados, resultado dos processos fluviais de uma rede de drenagem pouco densa. O conjunto apresenta-se como uma série de chapadas recortadas. A declividade dessas formações chega a ter até mais de 45°.

O embasamento rochoso dessa região está constituído por rochas granítico gnáissicas, quartzitos e xistos. Os solos derivados dessas rochas são Latossolos Vermelhos e Amarelos, argilosos e porosos, com acidez elevada e, portanto, a sua fertilidade é relativamente baixa. Esse tipo de solo existe nos fundos dos vales da bacia.

Para a caracterização geomorfológica foram consideradas a rede de drenagem, a topografia e a geologia existentes dentro da bacia utilizando como base o mapa de Itinga, carta topográfica em escala 1:100.000 (CPRM, 2004), fotografias aéreas (IGA, 1964) e observações no local. A partir desses elementos foi feita uma análise e descrição dos diferentes tipos de rede drenagem do córrego Teixeira (e de seus afluentes), que é claramente controlada pela estrutura geológica da bacia, já que o seu percurso é cortado em várias ocasiões para mudar o rumo, podendo-se observar o seguimento das linhas de falha ou fraturas. A seguir se mencionam e descrevem os diferentes tipos de padrão de drenagem presentes na bacia.

5.6 Padrão de drenagem

O padrão de drenagem predominante da sub-bacia do Teixeira é de tipo dendrítico. Esse tipo de padrão é o mais extenso dentro da bacia e distingue-se por se desenvolver livremente em todas as direções. Sua característica principal é a aparência de ramificações irregulares dos cursos dos rios. É considerado como um padrão de drenagem erosional (DERRUAU, 1983). Esse tipo de drenagem localiza-se em áreas onde, como neste caso, existem vertentes com declividades acentuadas e onde há controles estruturais que dão lugar à ocorrência dessa distribuição regular e quase paralela das correntes fluviais. Desenvolve-se sobre Latossolos de textura grossa originados a partir de granitos, gnáisses e xistos. A confluência em ângulos retos no padrão dendrítico constitui anomalias, as quais devem ser atribuídas, em geral, aos fenômenos tectônicos (CHRISTOFOLETTI, 1981).

5.6.1 Padrão subdendrítico

Esta é uma variação do padrão dendrítico, que constitui uma forma de transição para o tipo de drenagem paralelo. Essa fase de transição pode ser observada nos córregos que se originam na divisória SE da bacia e em alguns dos cursos que atravessam de Leste para Oeste, passando pelas cotas mais baixas da zona. As características do relevo que condicionam esse tipo de padrão são as vertentes moderadamente onduladas a planas, assim como fraturas e falhamentos (LUGO, 1989; DERRUAU, 1983).

5.6.2 Padrão paralelo

Caracteriza-se por apresentar cursos paralelos ou quase paralelos. Na bacia, os elementos causadores desse tipo de padrão são a estrutura geológica e fraturas ou falhas (DERRUAU, 1983). Os cursos seguem o caminho mais curto em leitos perpendiculares ao rumo da escarpa. Esse tipo de drenagem localiza-se em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais que motivam a ocorrência de espaçamento irregular, quase perpendicular das correntes fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1981). Neste caso, esse tipo de padrão se apresenta em ambas as margens do eixo do córrego. Apresenta-se muito mais evidente na margem direita do Teixeira, na sua parte média e alta, onde as declividades demarcam uma área de transição das altitudes da bacia, de muito íngreme a um relevo com declividades menores.

5.7 Processo de ocupação da região

Das poucas referências que hoje existem sobre os primeiros moradores da região do médio Jequitinhonha, se fala que os vales do Jequitinhonha e do Araçuaí eram habitados por índios da etnia Tapuia, divididos em nações e tribos diversas (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 1983). Dentre essas nações estavam os Botocudos, habitando a parte média do Jequitinhonha, trecho coberto por florestas tropicais. O nome de Botocudos lhes foi dado pelos portugueses, por causa dos adornos de pau que eles colocavam nos beiços, semelhantes aos batoques das pipas (LIMA, 1960). A pressão exercida pelos indígenas sobre os recursos era, praticamente, mínima, já que não existia um conceito de acumulação de bens e esses só tomavam da natureza o necessário para sua subsistência, a qual se baseava na caça, pesca e coleta (PEREIRA, 1969).

Ao final do século XVIII já existia um processo constante e progressivo de ocupação no Médio Jequitinhonha pelos imigrantes europeus. A despeito de ser um ambiente desconhecido, o colonizador nunca precisou, como no caso da Amazônia, do conhecimento

dos indígenas na forma de uso dos recursos do lugar. Esse foi um dos motivos pelo qual a apropriação do espaço foi muito mais fácil e a paisagem foi sendo transformada com a introdução de pastos para “transplantar” um modo de produção, com técnicas e produtos alheios a esse novo ambiente. Isso foi parte do processo colonizador: a expansão e transgressão do imperialismo europeu.

“À proporção que decaía a ação de garimpeiros e faiscaidores, iniciava-se um outro tipo de aventura, pois as florestas passaram a ser abertas e se implantou uma atividade inteiramente estranha ao meio: a pecuária extensiva” (GUIMARÃES, 1960).

Segundo Lima (1960), o médio Vale do Jequitinhonha viu-se, desde o início da colonização, insulado entre a febre desatada pela atividade mineradora do alto vale e as plantações de cacau do baixo curso, já na Bahia. Na medida em que diminuía a atividade mineradora do alto vale, o trecho médio foi sendo mais intensamente percorrido, quase sempre do alto para o baixo vale. Ante a desvantagem que tinham frente aos colonizadores europeus, os índios dessa região foram cedendo pouco a pouco o espaço que ocupavam e os recursos que eles utilizavam. Aos poucos chegou toda uma variedade de imigrantes.

Foram-se formando alguns núcleos de população às margens dos grandes rios e dos ribeirões. Assim, foi criada ao longo do eixo do rio Jequitinhonha uma série de quartéis, ao redor dos quais se formavam aldeias, quase ao acaso, por conveniência dos habitantes, sem que os governos tivessem a mínima interferência no desenvolvimento daquela zona. Em particular, a cidade de Itinga tem sua origem na chegada dos desbravadores Martiniano Antunes de Oliveira, João Batista Lobato e Manoel de Jesus Maria às terras de Minas, vindos de Belmonte, na Bahia. Subindo o rio Jequitinhonha, eles fundaram ali um povoado, denominado Santo Antônio da Barra do Itinga, posteriormente Itinga. Começaram a chegar, ao final do século XIX, famílias para instalar-se nessa área dedicando-se à lavoura e posteriormente a uma incipiente atividade pecuária. Com a instauração dessa última atividade e o progressivo aumento da população, a pressão sobre os recursos naturais da bacia foi-se incrementando, gerando um desequilíbrio na capacidade de regeneração da natureza, marcando o início de um processo de degradação que se reflete nas condições atuais da bacia do Jequitinhonha e das bacias dos seus afluentes (LIMA, 1965).

Itinga, que significa *água branca*, emancipou-se em 1943 do município de Araçuaí. Ao lado de sua riqueza mineral parte das atividades econômicas do município é hoje constituída pelo artesanato de bambu, madeira, palha, pedras e cerâmica.

Em geral, o atual uso do solo na região do córrego Teixeira exige uma grande demanda do recurso água em quantidade e qualidade suficiente para garantir uma boa produtividade e um desenvolvimento econômico positivo.

A área de estudo, inserida no contexto regional do Médio Jequitinhonha, tem seguido as pautas de desenvolvimento econômico estabelecidas pelas relações de mercado que imperam hoje nessa região. A agricultura é pouco desenvolvida, sendo a pecuária a principal atividade econômica regional. Existem grandes e contraditórias diferenças econômicas e sociais em “convivência” permanente num mesmo espaço. As condições geográficas desse espaço apresentam fortes limitantes para o desenvolvimento das atividades mencionadas, mas essas podem ser superadas por meio da aplicação de alternativas que permitam diminuir as diferenças de desenvolvimento sem fragmentar econômica, social e fisicamente esse espaço.

Um dos fatores limitantes, mas ao mesmo tempo integrador e fragmentador das diferentes áreas da bacia, é a disponibilidade de água. Essa disponibilidade é irregular em tempo e espaço, afetando dentro da mesma bacia umas áreas mais do que outras. A qualidade de água também limita as possibilidades de uso e, portanto, a disponibilidade desse recurso. Mais de 60 % da bacia tem como cobertura vegetal os pastos destinados à produção pecuária.

6 RESULTADOS

6.1 Seleção da área de estudo

Para a seleção das áreas de estudo foram realizadas várias visitas aos municípios de Araçuaí e Itinga, sendo a primeira em setembro de 2004. Devido à natureza do trabalho, considerou-se necessário contar com a participação dos moradores dos locais para realizar a implementação dos diferentes sistemas de captação de água de chuva, durante a etapa de construção, para dar manutenção aos mesmos e, principalmente, como parte de uma atividade paralela de educação e capacitação ambiental que permitiria repetir a experiência posteriormente. Por isso, numa primeira etapa, foram realizados contatos com as organizações que desenvolvem projetos sociais na área de estudo (Cáritas, Visão Mundial, Fundo Cristão, prefeituras dos municípios de Araçuaí e Itinga). Essas instituições aceitaram colaborar com as suas experiências e facilitar o contato com os moradores da região. A Visão Mundial, por meio da Associação de Moradores e Amigos de Itinga (AMAI), foi a entidade que promoveu os principais contatos com a comunidade de Humaitá, local de implementação deste projeto.

Também foram visitados diferentes pontos dentro da bacia do rio Araçuaí e bacias menores de afluentes do rio Jequitinhonha para selecionar áreas potenciais para realizar a pesquisa. De maneira paralela foram realizados encontros com diferentes comunidades dos municípios de Araçuaí e Itinga a fim de facilitar cada vez mais o contato com os pesquisadores e para mostrar o projeto no qual as comunidades teriam um papel participativo (Figuras 48 e 49).



Figuras 48 e 49: Reuniões com os moradores da comunidade de Humaitá (Fotos: Sarah Martin)

As áreas potenciais foram selecionadas com base no estágio de degradação e capacidade de recuperação do ambiente. Para isso, foram considerados diferentes aspectos, como o histórico de uso e manejo do local, o tipo de solo – textura, profundidade –, declividade, se o lugar apresentava condições ambientais representativas da bacia e a possível cooperação e motivação do proprietário de se engajar em um projeto alternativo de recuperação ambiental,

que ao mesmo tempo lhe permitiria utilizar as mesmas técnicas para aprimorar a produção agrícola. Apresentou-se para os pequenos proprietários e moradores da região o projeto e os motivos pelos quais se considerava importante a participação em mutirão. Cabe ressaltar que as mulheres sempre foram maioria nas reuniões e muito mais participativas do que os homens, mas, quase sempre, foram os homens que decidiram a participação da família ou não.

Atualmente na região existe uma tendência de mudar a atividade agropecuária pela mineração e isso gerou problemas na aceitação dos proprietários dos locais inicialmente selecionados, já que no início alguns tinham aceitado realizar a implementação dos sistemas para depois decidir que não podiam ceder o terreno ante a perspectiva de se obter um retorno econômico significativo e quase imediato por meio da mineração de granito. O processo de aceitação do projeto foi complicado e demorado pela falta de confiança dos pequenos proprietários e pela intervenção, às vezes não favorável, de membros das ONG's ativas na região. Não houve participação em mutirão e tampouco participação da ONG que teve maior interesse no início no projeto.

Antes de selecionar as áreas para a construção dos sistemas de captação de água de chuva por escoamento foram realizadas visitas aos locais propostos por alguns dos moradores. Nesses locais se fez uma análise *in situ* das características físicas dos solos, assim como da geomorfologia dos locais, como indicado em SIEGERT (2003). Nem todos os locais apresentavam as características necessárias para a implantação dos sistemas. Isso gerou certo receio nos moradores, dificultando ainda mais a disponibilidade dos proprietários para ceder uma área que servisse como área experimental.

No mês de dezembro de 2004, após o consentimento da proprietária, foi definida uma área onde, em janeiro de 2005, seria iniciado o plantio de mudas de árvores. Porém, essa proprietária desistiu devido à possibilidade de exploração de granito em sua propriedade. Ante esse problema procurou-se a cooperação de outros proprietários, mas ninguém demonstrou interesse. Somente em junho de 2005, um segundo proprietário concordou em ceder uma área apropriada para a realização da pesquisa. Posteriormente, a mesma pessoa cedeu uma segunda área para plantio de mudas de árvores.

As duas áreas selecionadas localizam-se entre as latitudes 16°42'650'' e 16°45'150'' e longitudes 42°48'369'' e 42°48'362''. A geomorfologia ao redor das áreas experimentais apresenta feições que evidenciam retrabalhamento intenso com relevo bastante dissecado e vales profundos e largos, dando lugar a um mar de morros. Os solos são geralmente férteis

nas encostas e pobres nos topos. A vegetação é de caatinga hipoxerófila. O solo em ambas as áreas é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, com teor médio a alto de argila. Em conjunto, as características que apresentam as áreas são adequadas para a instalação dos sistemas de captação de água de chuva para agricultura por escoamento ou *runoff farming*, cuja finalidade é a retenção de umidade no solo por maior período de tempo, tornando possível o desenvolvimento e a regeneração de vegetação e, portanto, diminuindo a taxa de erosão durante o período de chuvas.

Com a umidade disponível no solo e as chuvas do mês de dezembro de 2005 e janeiro de 2006, as mudas tiveram, em ambas as áreas, um desenvolvimento relativamente homogêneo. No entanto, no mês de janeiro teve um veranico prolongado, gerando a perda de 20% das árvores em conjunto na AE1 e na área controle, enquanto que na AE2 só houve a perda de uma árvore de *Manguifera indica*. A umidade no solo se manteve em níveis acima do ponto de murcha na AE1, AE2 e menos favoráveis na área controle. Essa inferência foi feita de maneira visual e qualitativa, já que, devido a diversos problemas, a instalação dos 36 blocos de gesso para medir a porcentagem de umidade foi feita somente durante o mês de junho de 2006, já no meio da época seca.

6.2 Análise de solos

Posteriormente, e devido às diferenças qualitativa e quantitativa – altura e número de folhas – observadas no desenvolvimento inicial das árvores em ambas as áreas experimentais, realizou-se uma amostragem de solo a 40cm de profundidade (Figuras 23 e 29: locais indicados com pontos vermelhos) para analisar a textura dos solos e determinar suas porcentagens de argila, silte e areia. Uma primeira análise granulométrica foi feita pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil (CPRM) por meio do método de peneiramento, pipeta e gravimetria e os resultados são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Análise granulométrica dos solos das áreas experimentais (realizada pela CPRM)

Amostra	Frações (%)		
	Areia	Silte	Argila
Área experimental 1	8,27	2,93	88,80
Área experimental 2	30,94	2,65	66,41
Área controle	7,22	2,54	90,24

Posteriormente, realizou-se uma outra análise considerando também as características de fertilidade e conteúdo de matéria orgânica para as duas áreas experimentais. Tomaram-se amostras em diferentes profundidades – 0-30cm, 30-60cm, 60-90cm e 90-110cm – dos perfis

de solo em ambas as áreas experimentais para se obter informações sobre as diferenças granulométricas e de nutrientes com um nível maior de detalhe. Essa análise, cujos resultados são apresentados no Anexo 3, foi realizada pelo Instituto Mineiro de Agropecuária (IMA).

Ambas as áreas experimentais apresentam uma fertilidade relativamente boa, sendo que o solo da AE1 é eutrófico, indicando melhores condições de nutrientes para as plantas. Porém, existem também diferenças na relação argila-areia em diferentes profundidades em ambos os perfis de solo (Anexo 3).

Os solos identificados com base nas características morfológicas são latossolos vermelho-amarelos e foram separados no 3º nível categórico (grande grupo) em duas unidades distintas: LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Tb Eutrófico – LVAe (AE1) e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Tb Distrófico – LVAd (AE2).

Observou-se que o conteúdo de areia grossa é maior na AE2 do que na AE1, enquanto que os valores para as argilas são muito similares em ambas as áreas. Porém, na AE2 existe um conteúdo alto de argila entre os 56 e 100cm, o qual permite a retenção de umidade por mais tempo, especificamente na área onde as raízes se desenvolvem. A composição granulométrica do solo ao longo do perfil apresenta condições favoráveis para o processo de infiltração e de disponibilidade de umidade para a vegetação na AE2, dando como resultado um melhor e constante desenvolvimento das plantas, como se poderá observar mais adiante.

Existem interações entre a água do solo e os nutrientes que determinam a disponibilidade destes para o desenvolvimento das plantas, mas também é importante a resistência natural das plantas a longos períodos com uma baixa porcentagem de umidade disponível. Estes fatores – água, nutrientes, vegetação – se influenciam mutuamente. As plantas armazenam água, à maneira de reserva, que utilizam durante as épocas de seca, mas essa quantidade é muito pequena, enquanto que o armazenamento de nutrientes pela mesma planta nos seus tecidos é maior. Conseqüentemente, a carência de água prejudica a planta de uma maneira mais importante do que a falta de nutrientes. Isso demonstra que conservar água no perfil deve ser prioritário para refletir maiores benefícios na vegetação. A falta de água no solo também se reflete na atividade microbiana, pois reduz os níveis de nitrogênio, de fósforo e de outros nutrientes disponíveis para as plantas no solo.

6.3 Dados de chuva e evaporação nas áreas experimentais

É importante conhecer a disponibilidade de água de chuva para esse local. Por isso, como parte do projeto CT-Hidro, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG e a CPRM (Belo Horizonte), foi instalada uma estação meteorológica próxima às áreas experimentais no final do ano de 2004. Os dados de chuva obtidos dessa estação referentes aos meses de monitoramento dos indicadores de recuperação ambiental utilizados nesta pesquisa (dezembro de 2005 a janeiro de 2007) são apresentados na Figura 50.

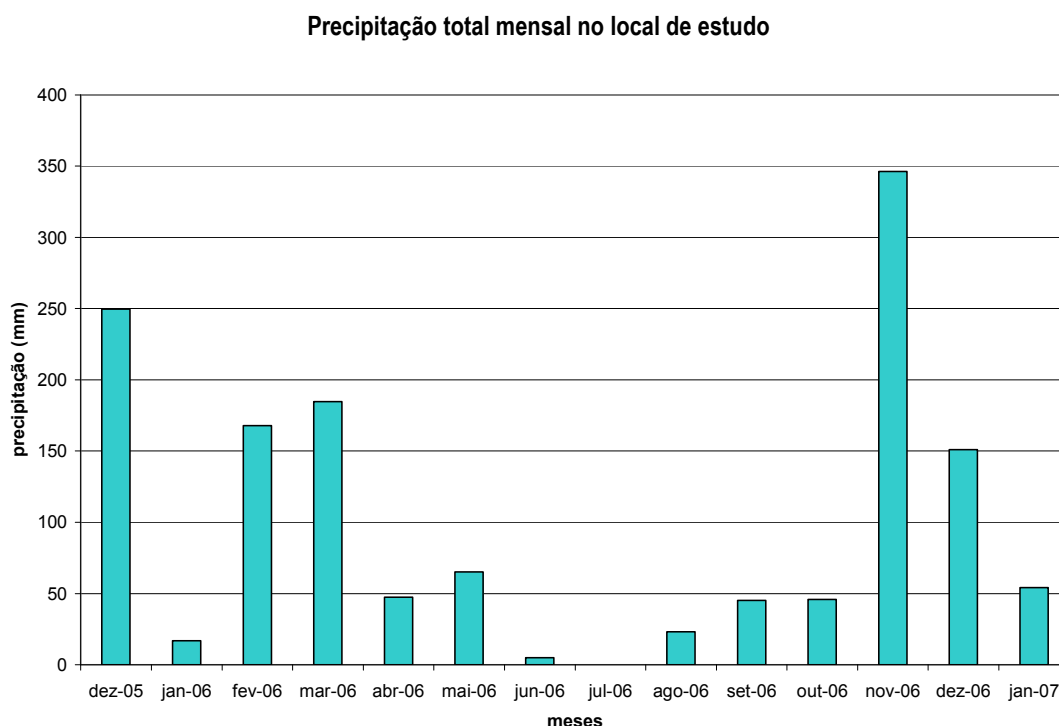


Figura 50: Precipitação total mensal no local de estudo de dezembro/2005 a janeiro/2007 (Fonte: CPRM, 2007)

Analisando o gráfico é possível observar que a maior altura de precipitação ocorreu no mês de novembro de 2006 (mais de 300mm de chuva). Se comparado com o ano anterior (Tabela 9), o volume total de precipitação do ano 2006 foi consideravelmente maior, porém concentrando mais de 30% do total durante um único mês, enquanto 7 meses apresentaram alturas inferiores a 50mm, com os valores mínimos de 5 e 0 nos meses de junho e julho, respectivamente (Tabela 9).

Tabela 9 – Precipitação total mensal (mm) no local de estudo de janeiro/2005 a janeiro/2007

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	Jun	jul	ago	Set	out	nov	Dez	Total
2005	121,1	102,8	90,2	0	53,7	0	0	0	0	2,8	135,2	213,4	719,2
2006	16,9	167,8	173,7	46,8	65,2	5	0	23,2	45,1	45,8	345,1	150,9	1085,5
2007	54,1												

(Fonte: CPRM)

As variações de precipitação local interferem no desenvolvimento das plantas e, portanto, podem também interferir nos diferentes processos erosivos presentes na bacia. Na figura 50 é possível visualizar as variações que podem acontecer na distribuição temporal e na quantidade da precipitação. As chuvas torrenciais que se apresentam no local de estudo, de maneira irregular, geram fortes problemas erosivos em solos sem cobertura vegetal, o que tem acontecido em grandes áreas da bacia do córrego Teixeira, onde existem áreas com características geomorfológicas e edafológicas que apresentam processos de ravinamento e voçorocamento naturais se afetados por altos volumes de escoamento superficial. Isso evidencia a exposição dos solos a processos naturais de erosão, os quais são potencializados pela ação contínua de desmatamento e de atividades agropecuárias.

Na tabela 10 são apresentados os dados de evaporação potencial obtidos a partir de um tanque evaporimétrico instalado próximo às áreas experimentais. A evaporação potencial no local é alta. A interação precipitação – evapotranspiração, regulada pelas propriedades da vegetação e o solo, determina a disponibilidade de água para que a planta possa se desenvolver.

Tabela 10 – Evaporação potencial (mm) na área de estudo (tanque evaporimétrico) de dezembro/2005 a janeiro/2007

dez-05	jan-06	fev-06	mar-06	abr-06	mai-06	jun-06	jul-06	ago-06	set-06	out-06	nov-06	dez-06	jan-07
99,9	-	123,96	77,76	62,04	50,76	40,62	54,6	88,5	103,02	89,04	110,64	85,86	92,76

(Fonte: CPRM, 2006)

O gráfico de evaporação potencial (Figura 51) permite inferir que durante os meses de seca a vegetação, de uma forma geral, foi colocada em situação de estresse hídrico muito alto, diminuindo a atividade de determinadas fases fenológicas das plantas. A vegetação nativa apresenta a vantagem de responder à falta de umidade diminuindo a sua atividade e ficando em um ponto de latência, evitando a morte. No entanto, os cultivos atingem níveis de umidade baixos, com a conseqüente perda, em alguns casos, da cultura.

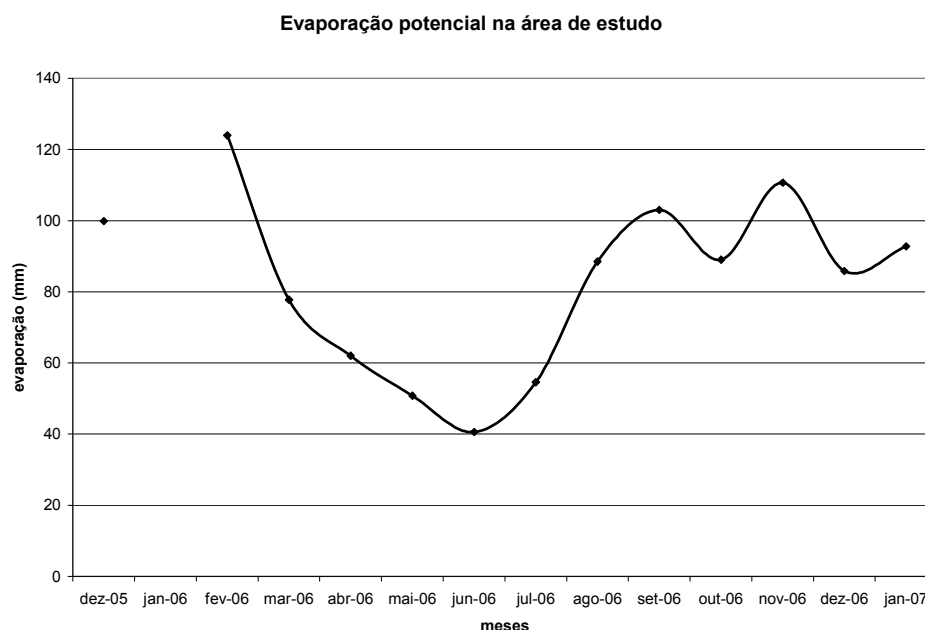


Figura 51: Evaporação potencial na área de estudo de dezembro/2005 a janeiro/2007 (Fonte: CPRM, 2006)

6.4 Análise estatística dos dados

O monitoramento dos diferentes indicadores foi realizado mensalmente e o registro das porcentagens de umidade no solo a cada semana. Durante os primeiros meses não foram observadas grandes diferenças qualitativas entre as duas áreas experimentais no que se refere ao desenvolvimento das árvores plantadas. As perdas iniciais foram consideradas normais devido à adaptação das mudas a um ambiente diferente.

Passado o período seco a quantidade de perdas totais em ambas as áreas experimentais e na área controle foi inferior a 25%. Já com os blocos de gesso instalados, foram percebidas poucas diferenças nas leituras entre os sistemas. No entanto, o desenvolvimento das árvores em todos os sistemas da AE2 apresentou um comportamento diferente daqueles na AE1. Inicialmente, pensou-se que essas diferenças eram causadas pelo histórico de uso da AE2, já que os solos dessa área não apresentavam processos de degradação tão altos quanto os solos da AE1. Posteriormente, com a análise das características morfológicas dos solos das áreas experimentais, admitiu-se que a composição granulométrica e o grau de compactação dos solos estavam influenciando o desenvolvimento diferenciado das plantas. Iniciado o período úmido percebeu-se, em várias ocasiões, que na AE1 se produziam encharcamentos logo após eventos de chuva, fossem eles intensos ou não. Já na AE2 não se observou o mesmo fenômeno. Devido às diferenças nas características dos solos entre as duas áreas experimentais, e à falta de uma segunda área controle – que constitui um erro no desenho

experimental que não pode ser corrigido, mas que não invalida os resultados obtidos –, determinou-se fazer uma análise comparando só os tratamentos de cada área experimental. A área controle só foi contemplada na comparação com os sistemas da AE1.

O uso dos métodos estatísticos apresentados no item 4.6 para comparar amostras com números diferentes (e reduzido) de indivíduos, além de números variáveis dentro de uma mesma amostra, pode gerar resultados não confiáveis caso não sejam obedecidas as premissas desses métodos. Quanto ao número de árvores, a opção nesta pesquisa experimental foi a de utilizar lotes de mesma área para a implantação dos 4 sistemas de captação de água por escoamento já mencionados. Assim, face às características geométricas de cada sistema e às condições de relevo e uso do solo nas duas áreas experimentais, os números de árvores plantadas foram diferentes em cada lote.

Ainda que inicialmente tivessem sido plantados números idênticos de árvores nos lotes, já se esperava uma variação do número de indivíduos de uma mesma amostra, pois, como não foi utilizada irrigação artificial em nenhuma fase da pesquisa, contava-se com a perda de árvores por falta de umidade, principalmente aquelas da área controle. Assim, no caso da AE1, a comparação entre os indicadores de recuperação ambiental das amostras dos sistemas e da área controle foi prejudicada porque, das 12 árvores de *Mangifera indica* e *Psidium guajava* plantadas nesta, apenas uma sobreviveu até o encerramento do monitoramento.

Os dados de umidade do solo foram avaliados com base no teste não paramétrico de Friedman visto esses não seguiam uma distribuição normal. Admitiu-se que os demais valores de indicadores seguiam distribuições normais, o que motivou o uso da análise de variância. Além da análise estatística, subsidia as avaliações a evolução temporal dos indicadores de recuperação ambiental.

6.4.1 Umidade no solo

Área experimental 1

Os valores mínimos indicados pelos blocos de gesso sempre se localizaram em 20%, já que foi o nível mínimo que o aparelho utilizado registrou para o tipo de solo do local de estudo. Notadamente, fica a dúvida se valores menores não deveriam ter sido detectados quando do monitoramento na época de seca. Como se vê no gráfico da figura 52, são relativamente similares os dados de umidade para a profundidade de 20 cm na AE1. Apesar dessa similaridade pode-se apreciar diferenças em relação ao S₄ (camalhões em curva de nível),

sistema que apresentou maior eficiência em conteúdo de umidade disponível para o desenvolvimento das plantas. Os outros sistemas mantiveram a umidade, durante todo o período da estação seca, no limite para atingir o ponto de murcha permanente – considerado como o teor de água de um solo para o qual as folhas de uma planta que nele cresce atinjam, pela primeira vez, um murchamento irrecuperável.

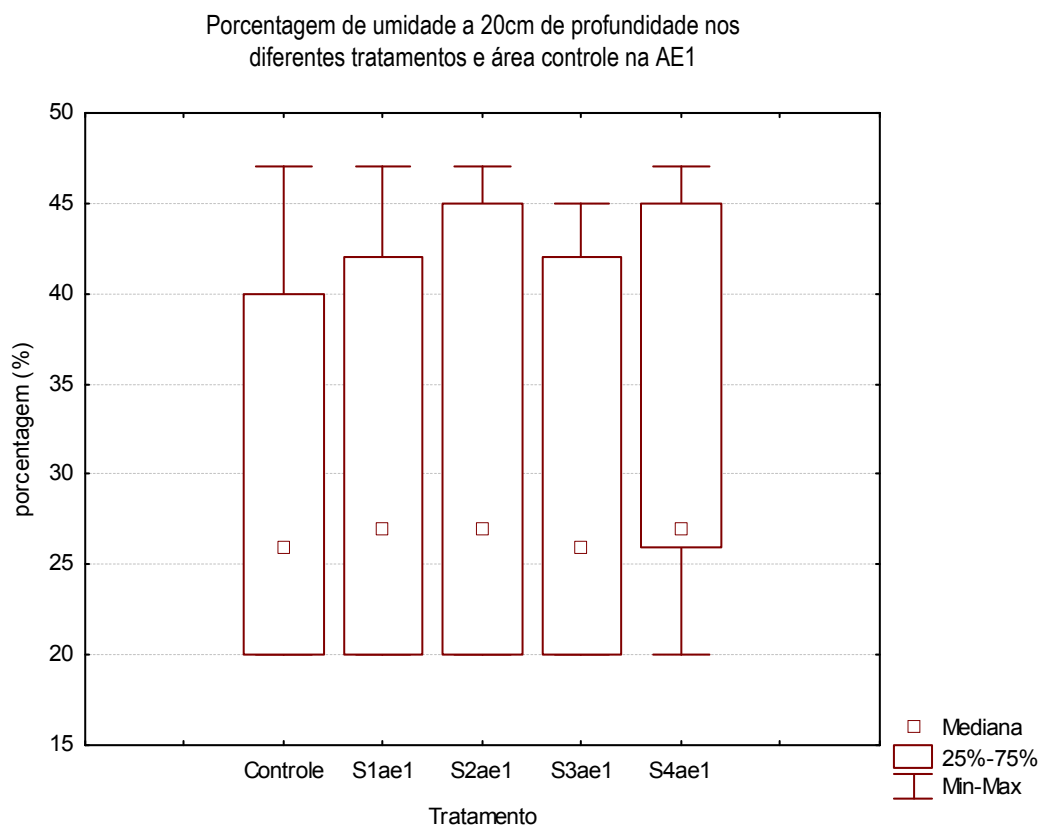


Figura 52: Porcentagem de umidade no solo a 20cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1

Uma vez os dados não se ajustavam a uma distribuição normal, esses foram analisados com o teste não paramétrico de Friedman. O teste indicou diferenças significativas entre as médias de umidade a 20cm de profundidade entre os quatro tratamentos e a área controle, resultando o valor de 38,7 para o teste de Friedman e valor de $p < 0,0001$. Para determinar qual dos tratamentos é o que apresenta a diferença mais significativa foi utilizado o teste de comparação múltipla de Dunn (Tabela 11).

Tabela 11 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 20cm de profundidade na AE1

Teste de Dunn	Diferença entre postos	<i>p</i>
Controle vs S ₁	-16,00	<i>p</i> > 0,05
Controle vs S ₂	-38,50	<i>p</i> < 0,01
Controle vs S ₃	-15,00	<i>p</i> > 0,05
Controle vs S ₄	-55,50	<i>p</i> < 0,001
S ₁ vs S ₂	-22,50	<i>p</i> > 0,05
S ₁ vs S ₃	1,000	<i>p</i> > 0,05
S ₁ vs S ₄	-39,50	<i>p</i> < 0,01
S ₂ vs S ₃	23,50	<i>p</i> > 0,05
S ₂ vs S ₄	-17,00	<i>p</i> > 0,05
S ₃ vs S ₄	-40,50	<i>p</i> < 0,01

Para os dados de porcentagem de umidade a 40 cm de profundidade na AE1 também foi aplicado o teste não paramétrico de Friedman, o qual indicou que existem diferenças significativas entre as médias de umidade entre os diferentes tratamentos e a área controle. O valor do teste de Friedman foi de 35,49 e o valor de $p < 0,0001$ (altamente significativo). Como se pode observar no gráfico da Figura 53, as medianas para os tratamentos S₁ e S₃ são similares, enquanto que para S₂ e S₄ houve valores de concentração mais elevados entre o segundo e terceiro quartil, ou seja, entre 25% e 45%. Para o S₄ a mediana ficou em torno de 36%, indicando um melhor desempenho na retenção de umidade.

A área controle apresentou uma diferença significativa na mediana em relação aos valores das medianas do resto dos tratamentos, demonstrando que a falta de uma estrutura para captar e coletar água pode estar incidindo no desempenho da capacidade do solo para retenção de umidade que fique disponível ainda no período seco, apesar dos valores máximos terem atingido mais de 45% de umidade.

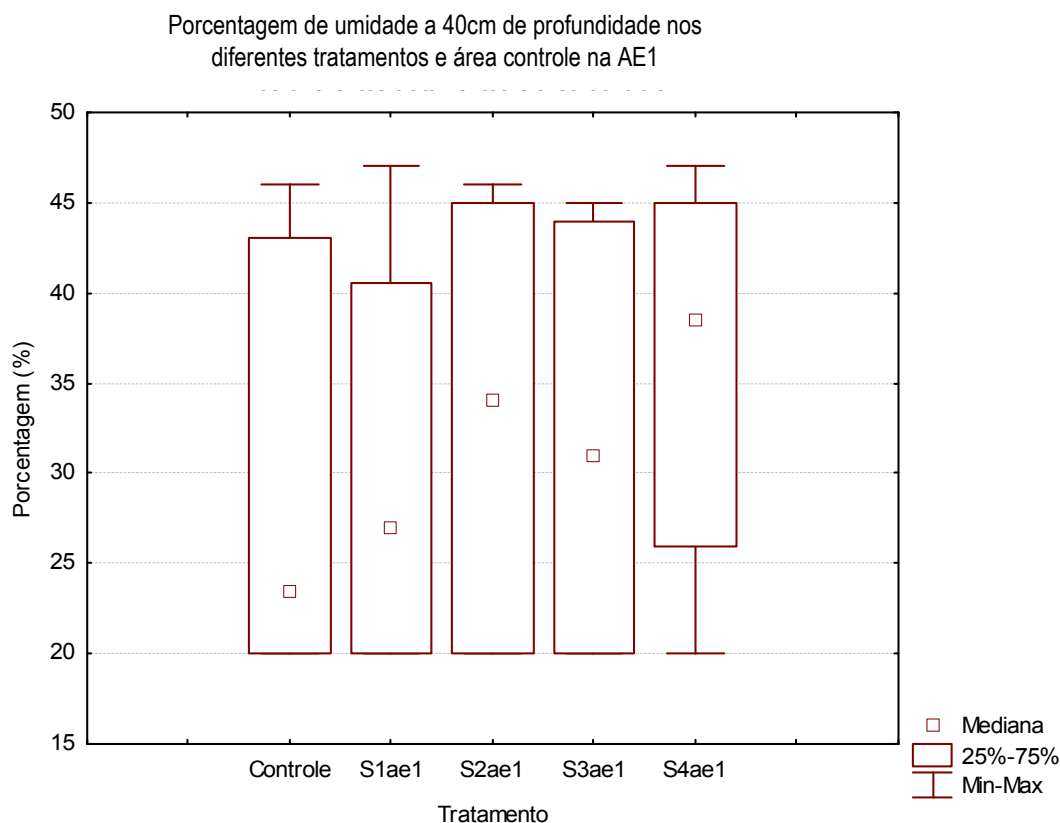


Figura 53: Porcentagem de umidade no solo a 40cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1

Qualitativamente, o tratamento S₄ apresentou uma melhor retenção da umidade ao longo do tempo, o que se refletiu em um melhor desenvolvimento das plantas e condições das folhas, que foram constantes, com uma leve queda durante o período seco. Para determinar qual dos tratamentos apresenta uma diferença significativa em relação aos outros, aplicou-se o teste de comparação entre tratamentos de Dunn, cujos resultados são apresentados na tabela 12.

Tabela 12 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 40cm de profundidade na AE1

Teste de Dunn	Diferença entre postos	<i>p</i>
Controle vs S ₁ (AE1)	-11,50	<i>p</i> > 0,05
Controle vs S ₂ (AE1)	-20,50	<i>p</i> > 0,05
Controle vs S ₃ (AE1)	-20,00	<i>p</i> > 0,05
Controle vs S ₄ (AE1)	-55,50	<i>p</i> < 0,001
S ₁ (AE1) vs S ₂ (AE1)	-9,000	<i>p</i> > 0,05
S ₁ (AE1) vs S ₃ (AE1)	-8,500	<i>p</i> > 0,05
S ₁ (AE1) vs S ₄ (AE1)	-44,00	<i>p</i> < 0,01
S ₂ (AE1) vs S ₃ (AE1)	0,5000	<i>p</i> > 0,05
S ₂ (AE1) vs S ₄ (AE1)	-35,00	<i>p</i> < 0,05
S ₃ (AE1) vs S ₄ (AE1)	-35,50	<i>p</i> < 0,05

Esse teste (Tabela 12) indicou que também existem diferenças significativas entre os valores de umidade entre o S₄–Controle e S₄–S₁, visto que nessas comparações se encontram as diferenças entre médias mais significativas. Para o resto dos tratamentos, os valores das

médias são similares, indicando, portanto, que os tratamentos S₁, S₂ e S₃ funcionam no mesmo nível de eficiência para a profundidade de 40cm na AE1. O teste de comparação múltipla de Dunn estabeleceu que existe uma diferença estatística significativa entre as médias da área controle e o S₄, tanto a 20cm quanto a 40cm de profundidade, o que é perceptível no gráfico da figura 54.

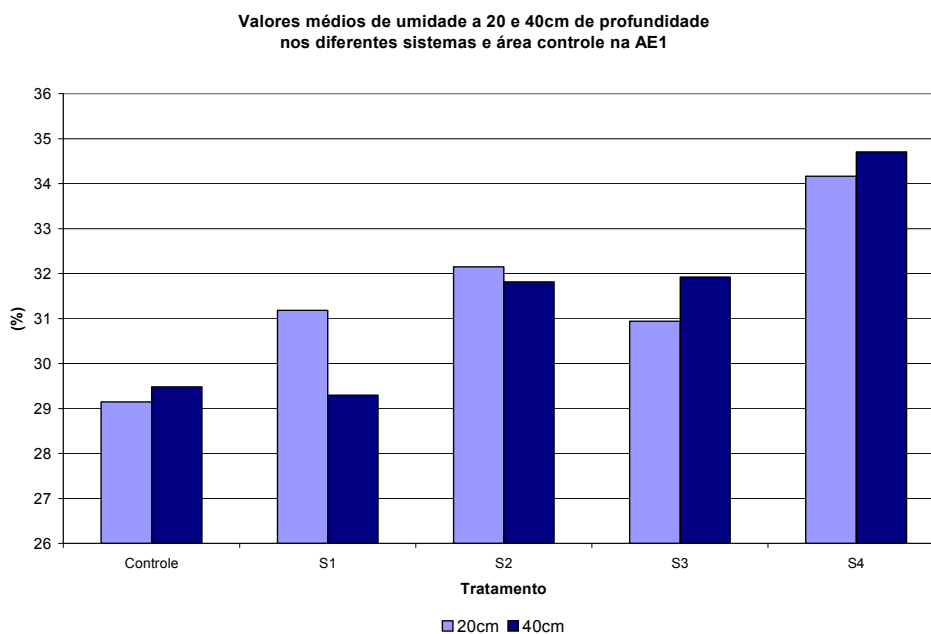


Figura 54: Valores médios de umidade a 20 e 40cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1

Os gráficos das figuras 55 e 56 mostram a evolução ao longo do tempo de monitoramento da porcentagem de umidade no perfil do solo nos diferentes tratamentos e na área controle da AE1, relacionando o comportamento da conservação da umidade no solo com os eventos chuvosos no local. É visível a diferença que existe entre os tratamentos S₃ e S₄ em relação ao resto dos sistemas e da área controle, principalmente durante o período seco do ano. Porém, o S₄ apresentou valores superiores de umidade, se comparado com os outros sistemas avaliados, ao longo do período monitorado. Isso indica uma diferença na disponibilidade de água para o desenvolvimento das plantas inclusive durante o período mais seco do ano, o que foi percebido por diferenças no desenvolvimento das árvores dos diferentes sistemas. Os valores mais altos de umidade se encontram claramente associados aos eventos de chuva, mas a capacidade de retenção da umidade na AE1 está diretamente relacionada à compactação do solo superficial, pois esta não permitiu a infiltração da chuva de maneira mais eficiente durante o início do período chuvoso.

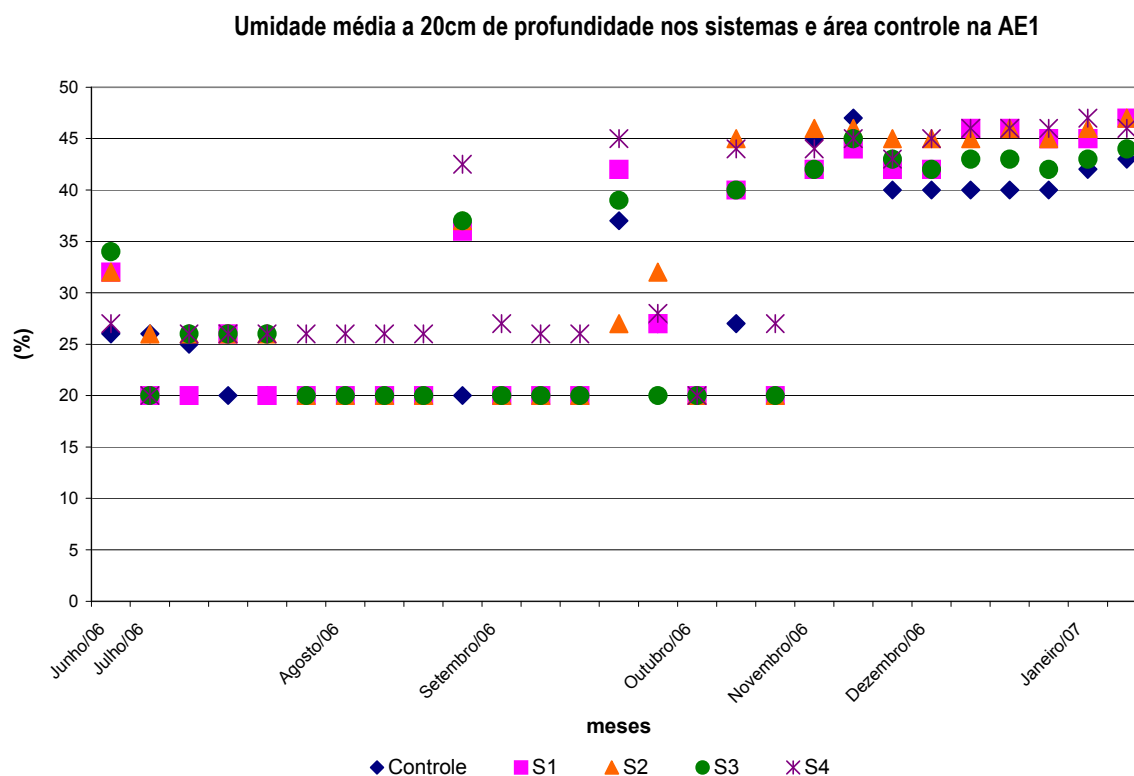


Figura 55: Umidade média a 20cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1

Para a profundidade de 40cm os sistemas S₃ e S₄ mantiveram um comportamento similar, com os melhores desempenhos na retenção de umidade. Ambos os sistemas mantiveram porcentagens maiores de umidade durante mais semanas do período seco. O sistema S₄ apresenta porcentagens mais elevadas após o início do período de chuvas, registrando valores de até mais de 15 pontos percentuais acima da porcentagem apresentada na área controle (Figura 56).

O tratamento S₁ apresenta bons níveis de umidade, mas só temporariamente ou imediatamente após o evento chuvoso. Durante os períodos chuvosos os tratamentos S₂, S₃ e S₄ permitem a concentração de umidade mais eficiente e a mantêm por um período de tempo maior do que a que se tem de maneira natural, refletido no grupo controle.

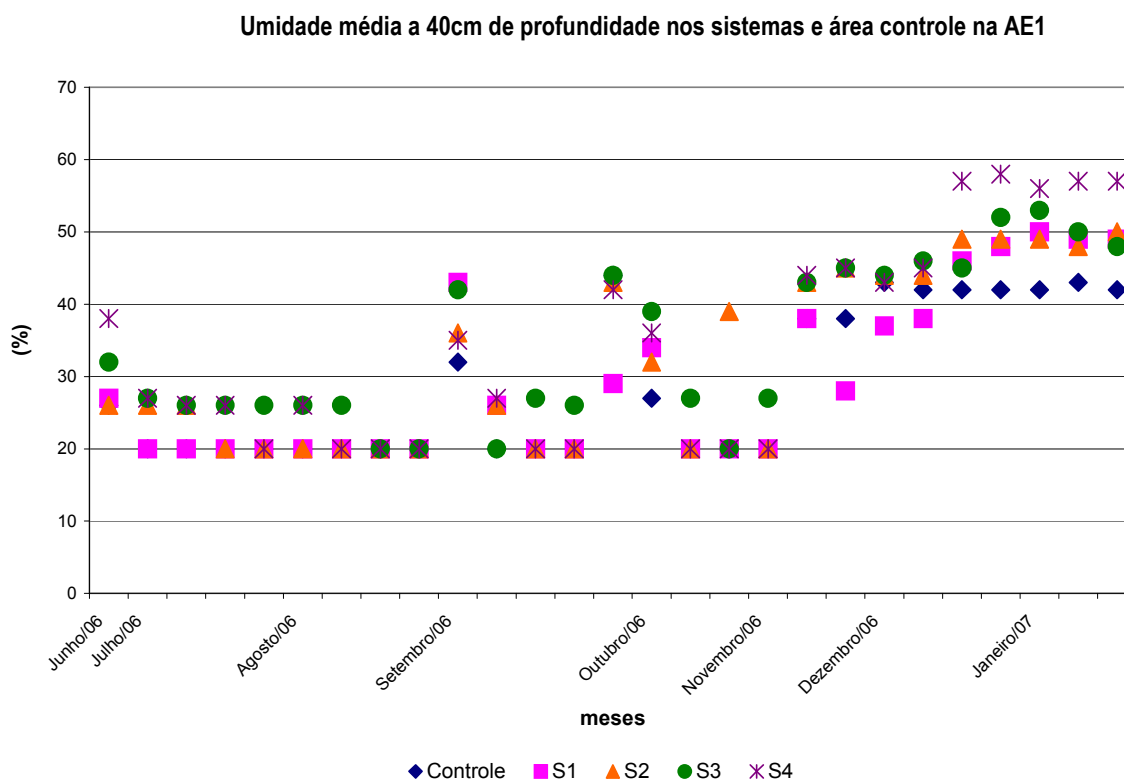


Figura 56: Umidade média a 40cm de profundidade nos sistemas e área controle na AE1 e precipitação no local

Área experimental 2

No gráfico seguinte (Figura 57), pode-se observar que os comportamentos na retenção de umidade a 20cm de profundidade na AE2 são similares àqueles da AE1, visto que há uma concentração de valores entre 26% e 45% para todos os tratamentos. Já as medianas se apresentam com posições diferentes para cada sistema, sendo melhores as concentrações nos tratamentos S₁ (*Negarim*) e S₄ (camalhões em curva de nível). Pela interpretação do gráfico, os dados para todos os sistemas estão concentrados dentro do mesmo intervalo de valores. Pode-se observar a melhor capacidade de retenção de umidade no sistema S₄, que manteve a umidade entre 27% e 45%, tornando disponível a quantidade de água necessária para o desenvolvimento das plantas, mesmo durante o período seco, com maior eficiência do que os outros sistemas.

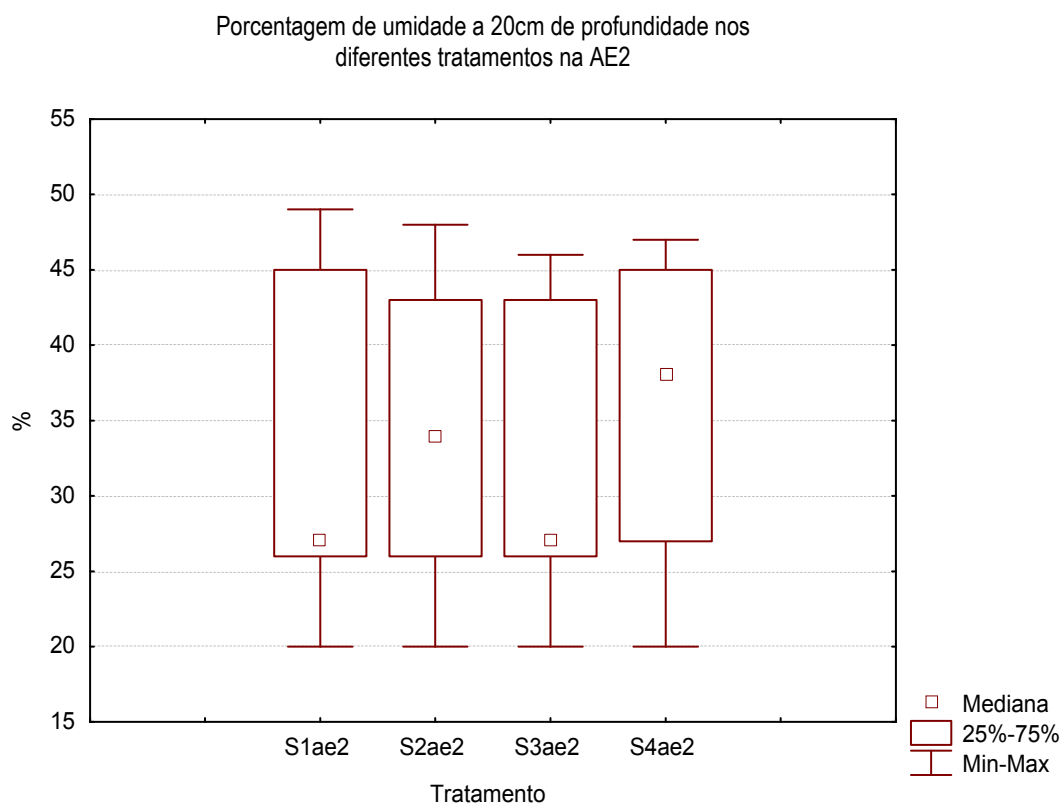


Figura 57: Porcentagem de umidade no solo a 20cm de profundidade nos sistemas na AE2

O teste não paramétrico de Friedman aplicado aos valores dos quatro tratamentos testados mostrou que existem diferenças significativas entre as médias de umidade nos sistemas da AE2, gerando um valor de $p < 0,0001$ (significância alta).

A análise da tabela 13 do teste de comparação entre as médias de umidade dos sistemas avaliados mostra que existe diferença significativa de porcentagem de umidade em 20cm de profundidade para os tratamentos na AE2, indicando que, para essa profundidade, o tratamento S₄ mostrou maior capacidade de infiltração e retenção de umidade ao longo dos meses monitorados.

Tabela 13 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 20cm de profundidade na AE2

Teste de Dunn	Diferença entre postos	<i>p</i>
S ₁ (AE2) vs S ₂ (AE2)	5,500	$p > 0,05$
S ₁ (AE2) vs S ₃ (AE2)	4,500	$p > 0,05$
S ₁ (AE2) vs S ₄ (AE2)	-28,00	$p < 0,05$
S ₂ (AE2) vs S ₃ (AE2)	-1,000	$p > 0,05$
S ₂ (AE2) vs S ₄ (AE2)	-33,50	$p < 0,01$
S ₃ (AE2) vs S ₄ (AE2)	-32,50	$p < 0,01$

No gráfico da figura 58 são mostrados os valores de umidade a 40cm de profundidade na AE2. Pode-se perceber que os comportamentos entre tratamentos são relativamente similares. A concentração de valores para o tratamento S₄ se apresenta melhor do que nos outros

sistemas, já que 50% dos valores se concentram entre 36% e 47%. Já para os outros três tratamentos 50% dos valores se concentram entre 27% e 43-44%. As medianas dos S₁, S₂ e S₃ têm uma posição similar e os valores máximos estão acima de 43%.

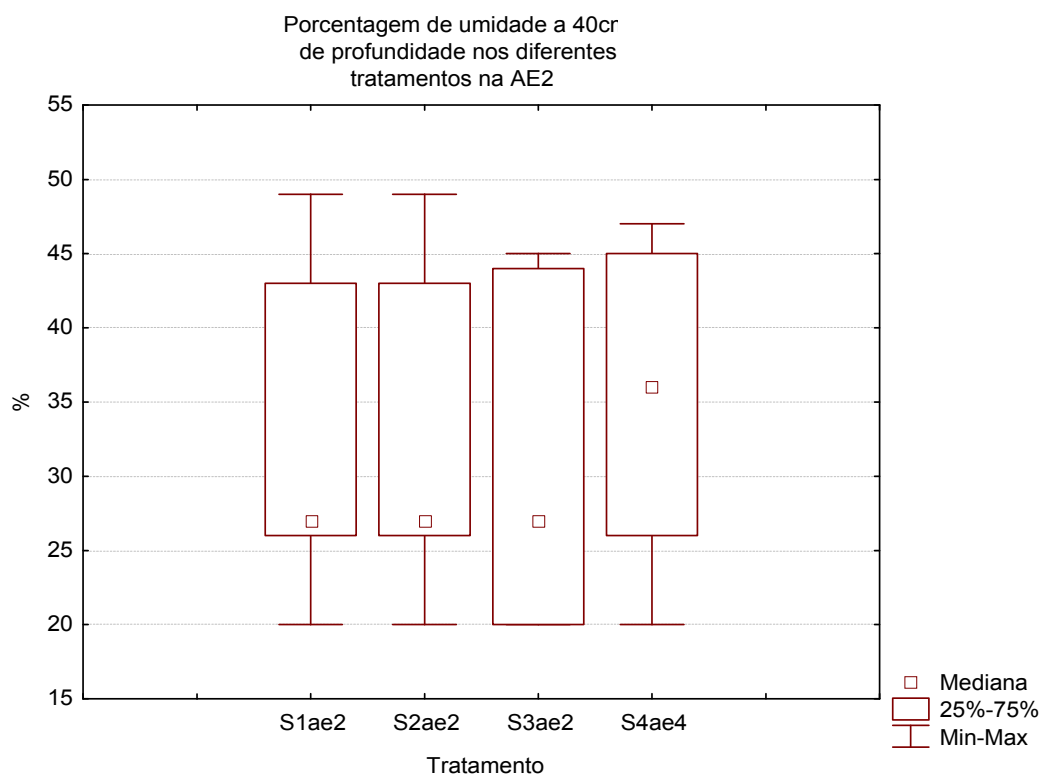


Figura 58: Porcentagem de umidade no solo a 40cm de profundidade nos sistemas na AE2

Os dados obtidos pela análise não paramétrica de Friedman indicam uma diferença pouco significativa entre os valores médios de porcentagem de umidade na profundidade de 40cm (Tabela 14). A análise de comparação múltipla de Dunn mostra que o sistema S₄ teve uma diferença superior mínima em relação aos outros sistemas na capacidade de retenção de umidade.

Tabela 14 – Teste de Dunn para a variável de umidade a 40cm de profundidade na AE2

Teste de Dunn	Diferença nos postos	<i>p</i>
S ₁ (AE2) vs S ₂ (AE2)	-0,5000	<i>p</i> > 0,05
S ₁ (AE2) vs S ₃ (AE2)	11,50	<i>p</i> > 0,05
S ₁ (AE2) vs S ₄ (AE2)	-15,00	<i>p</i> > 0,05
S ₂ (AE2) vs S ₃ (AE2)	12,00	<i>p</i> > 0,05
S ₂ (AE2) vs S ₄ (AE2)	-14,50	<i>p</i> > 0,05
S ₃ (AE2) vs S ₄ (AE2)	-26,50	<i>p</i> < 0,05

No gráfico da figura 59 são mostradas as diferenças na porcentagem média registrada para cada tratamento na AE2 nas profundidades de 20 e 40cm. A média do tratamento S₄ foi superior aos outros tratamentos em ambas as profundidades. A capacidade de retenção de

umidade no perfil a 40cm é menor do que a 20cm de profundidade em todos os sistemas. O S₃ teve, na média, o desempenho mais pobre para ambas as profundidades.

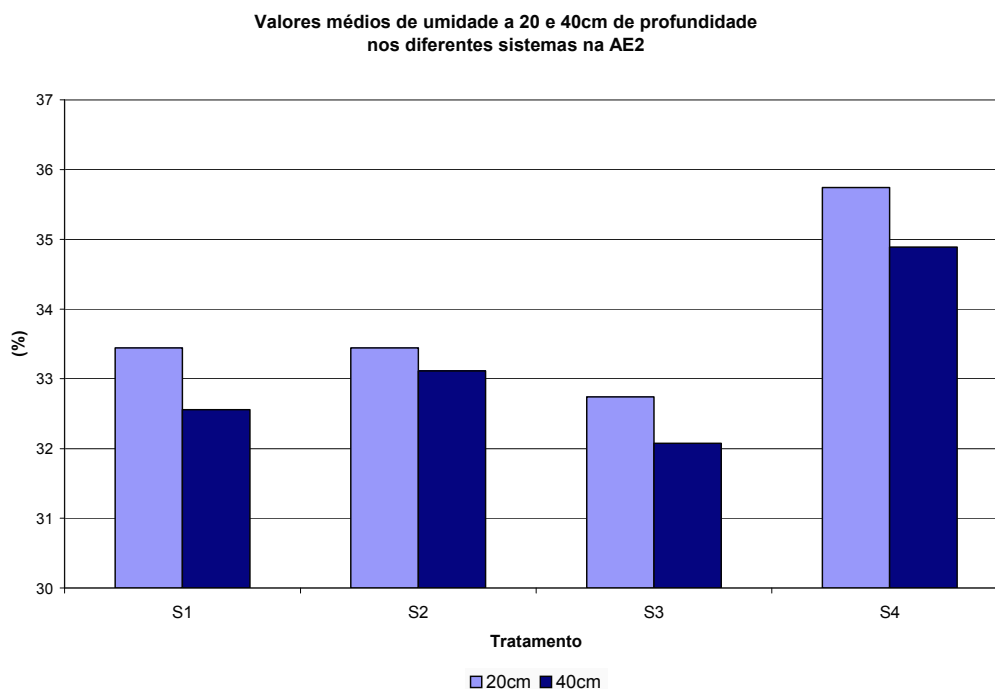


Figura 59: Valores médios de umidade a 20 e 40cm de profundidade nos sistemas na AE2

Ao longo do tempo de monitoramento o tratamento S₄ manteve os níveis de umidade acima dos níveis manifestados nos outros tratamentos na profundidade de 20cm, como se ilustra no gráfico da figura 60. Os tratamentos S₁, S₂ e S₃ mantiveram um comportamento similar ao longo dos meses. No entanto, o início do período chuvoso marca uma diferença na porcentagem de umidade, com igualdade do desempenho desses sistemas, com valores mantidos entre 40% e 49%, em relação ao tratamento S₄ mesmo durante os períodos com pouca precipitação. Dentre os três tratamentos de menor retenção de umidade, o tratamento S₁ superou a porcentagem de umidade dos outros dois tratamentos, atingindo 49% nas últimas semanas monitoradas, as quais correspondem ao mês de janeiro de 2007.

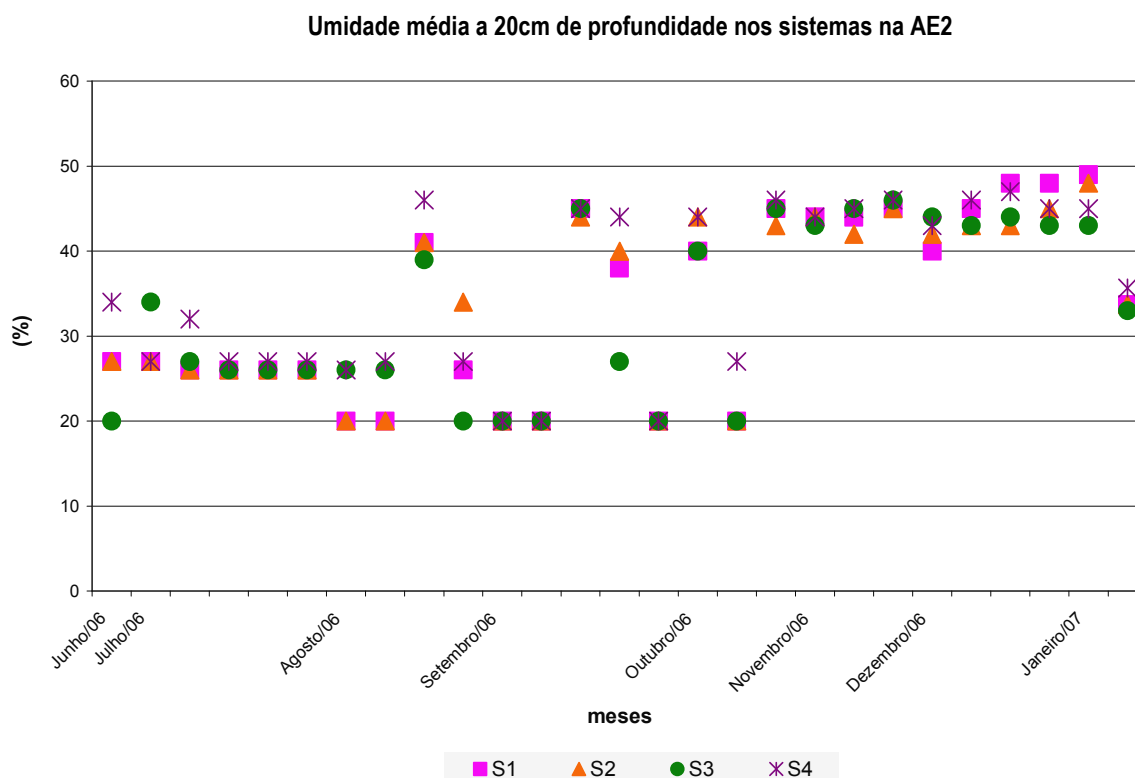


Figura 60: Umidade média a 20cm de profundidade nos sistemas na AE2

Na figura 61 são ilustrados, em porcentagem, os valores de umidade a 40cm de profundidade registrada ao longo dos meses de monitoramento. O sistema S₄ apresentou, durante um maior número de dias, valores acima de 30%. Esse sistema teve os valores mais altos inclusive durante a maior parte do período seco e só no final deste apresentou os valores mais baixos em todo o período de monitoramento (20%). Os sistemas S₁ e S₂ também tiveram um bom desempenho no armazenamento de umidade a 40cm de profundidade e durante o período seco a umidade se manteve estável (acima de 25%). Com o início da temporada de chuvas os valores voltaram a estabilizar, de novo em torno de 25%, e com o alto volume de chuva que se apresentou no mês de novembro de 2006, esses sistemas atingiram um nível de umidade acima de 40%. No final do período de monitoramento, no mês de janeiro de 2007, os tratamentos S₁ e S₂ tiveram a maior concentração de umidade (49%), seguidos dos tratamentos S₃ e S₄, com 44% e 47%, respectivamente.

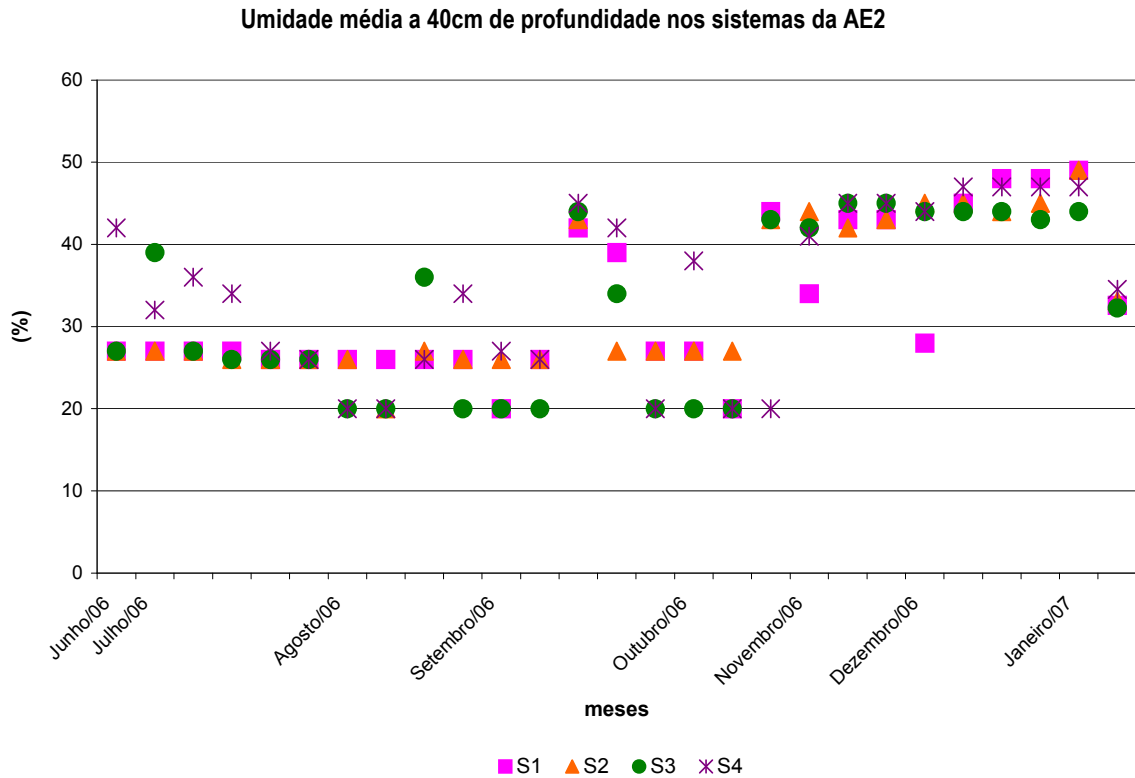


Figura 61: Umidade média a 40cm de profundidade nos sistemas da AE2

Durante o período seco de 2006 a umidade atingiu valores baixos e similares tanto na AE1 quanto na AE2. Na figura 62 mostra-se a influência da ação dos sistemas de captação na vegetação dentro e fora da AE1. A exposição do solo e a condição da vegetação invasiva apresentam, visualmente, diferenças que denotam a existência de umidade que condiciona a sobrevivência da vegetação.



Figura 62: Diferenças qualitativas nas condições da vegetação e do solo na AE1 durante a estação seca em junho de 2006

Um fator que deve ser considerado é a característica da porcentagem dos diferentes tipos de textura do solo que existe para cada área experimental. As características de textura na AE1, por possuir uma porcentagem maior de argila, causam a saturação das camadas superficiais e permitem reter a umidade por mais tempo. Por sua vez, as características granulométricas dos

solos na AE2 permitem uma drenagem mais efetiva e a proporção de argila entre os 50 e 100 cm permite o armazenamento mais prolongado de umidade, o que se refletiu no desenvolvimento das árvores, como se observará a seguir. A infiltração da água concentrada nos sulcos e nas covas disponibilizou a umidade às áreas circundantes das microáreas de captação, permitindo o crescimento da vegetação de maneira natural, como pode se observar na figura 63.



Figura 63: Presença de vegetação invasiva, principalmente dentro e em áreas próximas às sarjetas de infiltração; árvore da espécie *Manguífera indica* na AE2 no S₂, no início do segundo período chuvoso – outubro, 2006

6.4.2 Desenvolvimento das árvores

a1) Taxa de sobrevivência e altura das árvores

Área experimental 1 – *Manguífera indica*

O desenvolvimento das árvores na AE1 apresentou diferenças qualitativas muito claras entre os distintos tratamentos. Verificou-se uma alta taxa de perdas de árvores durante o mês de fevereiro de 2006 e no final do período seco de 2006.

As taxas de sobrevivência das árvores de manga mostradas na Tabela 15 indicam que a AE1 apresentou uma taxa de sobrevivência muito baixa, com a perda de mais de 60% para o S₁ e taxa de sobrevivência de 57% para o S₂. A taxa de sobrevivência para o tratamento S₄ foi de 45%.

Tabela 15 – Taxa de sobrevivência de *Manguífera indica* na AE1

Tratamento	No.		%								
	inicial	dez-05	fev-06	mar-06	abr-06	jun-06	jul-06	ago-06	oct-06	nov-06	jan-07
Controle	6	100	50	50	50	50	50	17	17	17	0
Negarim - S ₁	8	100	88	88	88	88	88	38	38	38	38
Leirões em semi-círculo - S ₂	7	100	86	86	86	71	71	71	71	57	57
Leirões em curva de nível - S ₃	12	100	67	42	33	33	25	25	25	17	17
Camalhões em curva de nível - S ₄	11	100	82	73	73	73	64	45	45	45	45

Apesar da diferença no número de árvores plantadas inicialmente em cada sistema, todos apresentaram a mesma tendência na perda de indivíduos. O mesmo pode-se observar durante os períodos nos quais a quantidade de plantas vivas se estabilizou, tanto nos tratamentos, quanto na área controle, tendo se mantido a relação proporcional com o número inicial de árvores para cada um dos tratamentos. O gráfico do número de árvores vivas ao longo do tempo monitorado (Figura 64) permite ver a relação que existe durante os meses de seca e as perdas ocorridas nos diferentes tratamentos na AE1, coincidindo também com uma estabilização do crescimento das plantas durante os mesmos períodos. A relação de perdas relacionadas com o final do período seco e com o mês de maior altura de precipitação tem relação com a capacidade da planta de absorção de umidade nos períodos críticos de escassez de água e quando existe um volume maior de água no solo. Isso indica diferenças na tensão de água no solo, o que determina um declínio na produtividade da planta, já que em ambos os casos extremos – falta e excesso de água – a planta tem dificuldade em retirar água do solo, como indicado em pesquisas da EMBRAPA (CALBO & SILVA, 2005).

A diferença na eficiência dos tratamentos foi manifestada de maneira mais clara com base no desenvolvimento da altura e do número de folhas das árvores, por serem esses indicadores da disponibilidade de umidade para as plantas que sobreviveram ao longo do período monitorado, como se apresenta na seqüência.

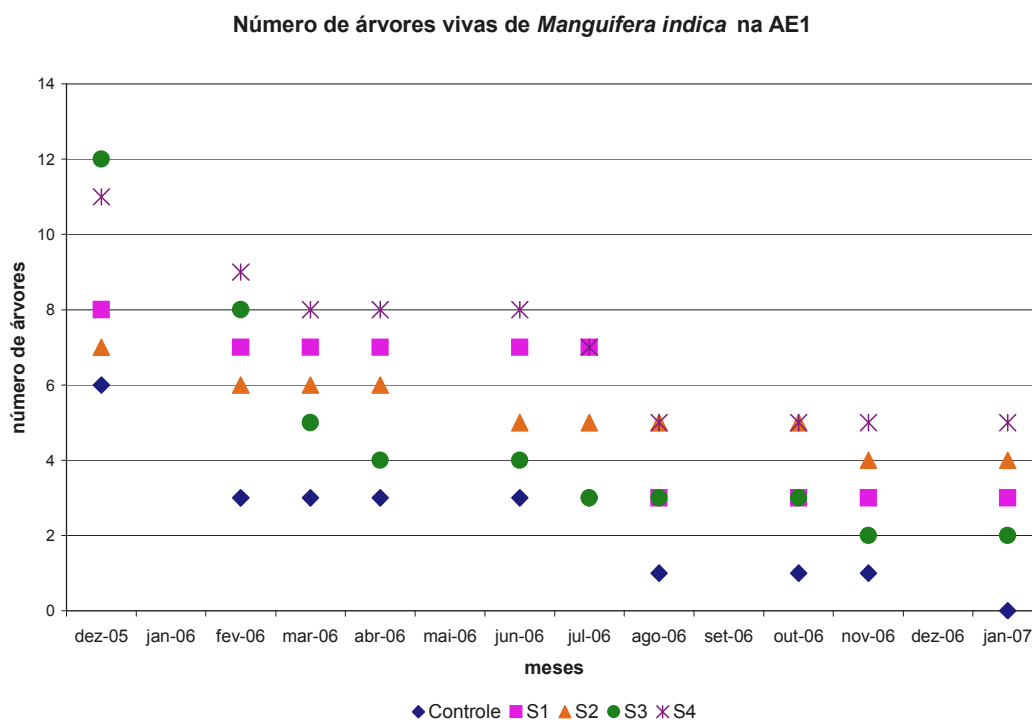


Figura 64: Número de árvores vivas de *Manguifera indica* na AE1

Por meio do gráfico de *Box plot* (Figura 65) são mostradas as diferenças de crescimento das mudas de manga entre os diferentes sistemas, sendo que a área controle teve os menores valores em altura para essa espécie, visto que as árvores plantadas nunca se desenvolveram como nos outros sistemas. O valor da mediana para as árvores de manga na área controle ficou em torno de 30cm e os troncos dessas mudas não conseguiram se desenvolver. A totalidade das árvores dessa espécie na área controle não sobreviveu.

As alturas desenvolvidas pelas árvores demonstraram que os quatro tratamentos testados tiveram um bom desempenho se comparados com a área controle, atingindo valores superiores ao valor máximo desta última. As mudas plantadas nos tratamentos S₁ e S₂ tiveram um desenvolvimento menor em relação aos tratamentos S₃ e S₄, com valores das medianas em torno de 40cm de altura e máximos acima de 50cm, e uma distribuição mais homogênea entre o primeiro e terceiro quartis (< 50cm até 65cm).

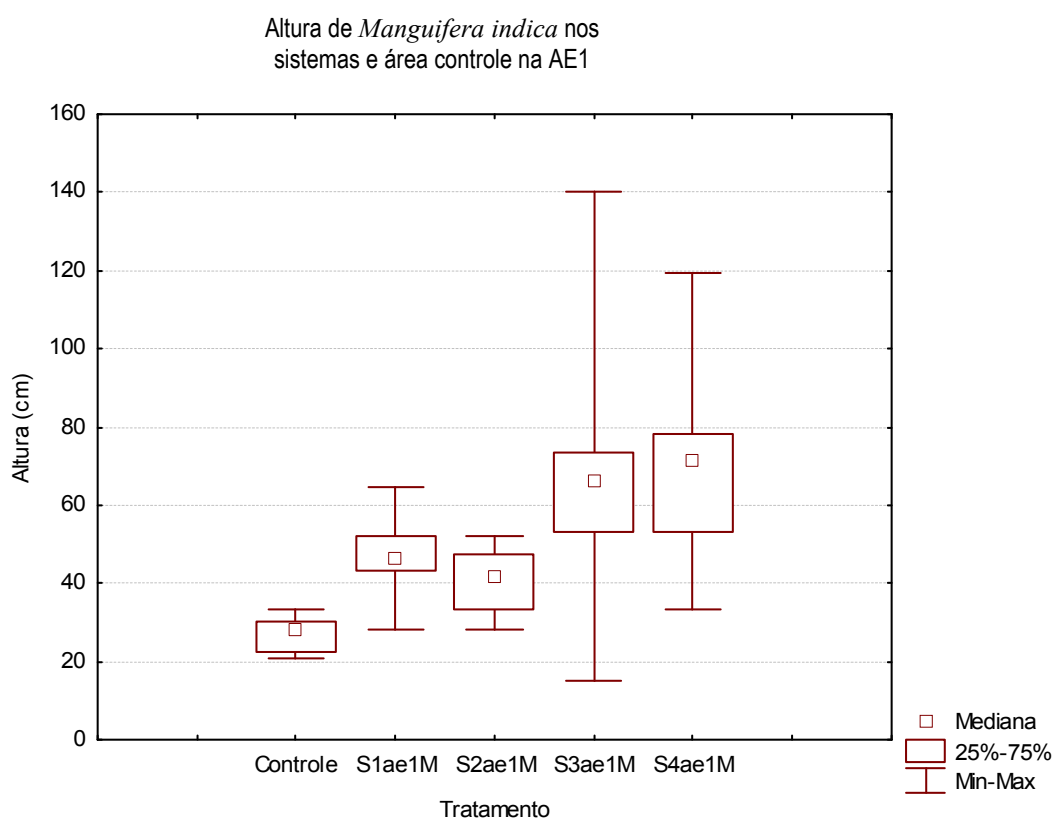


Figura 65: Altura de *Mangifera indica* na AE1

O comportamento da altura média das árvores de manga na AE1 pode ser observado no gráfico da figura 66. Observa-se que as alturas médias das árvores nos tratamentos S₃ e S₄ atingiram valores superiores aos dos outros sistemas (S₁ e S₂), indicando que esses tratamentos permitem o armazenamento de água no perfil, disponibilizando a umidade ainda nos meses de menor precipitação de maneira mais eficiente do que nos outros sistemas.

Assim, os tratamentos S₃ e S₄, ao longo dos meses monitorados, permitiram o crescimento constante das árvores de manga devido à umidade retida no perfil do solo, ainda que menos evidente durante a estação seca. Os sistemas S₁ e S₂ tiveram um desempenho pobre no desenvolvimento da altura das árvores, mas, ainda assim, melhor do que aquele desenvolvimento das mudas de manga plantadas na área controle.

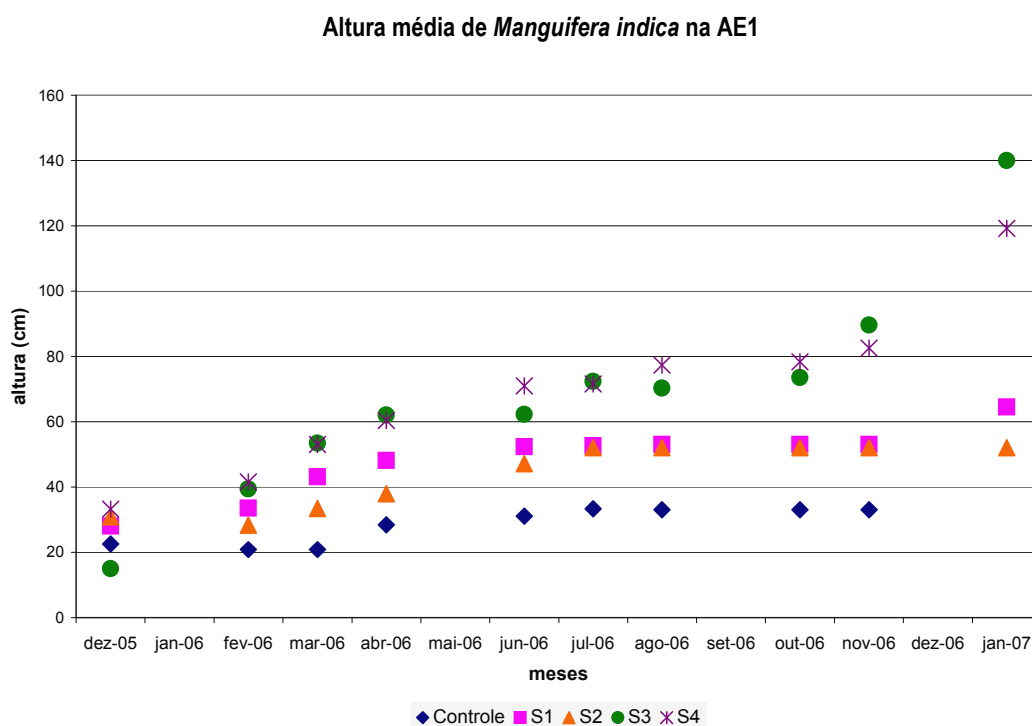


Figura 66: Altura média de *Manguifera indica* na AE1

Devido à perda total das árvores de manga na área controle, a amostra referente a essa área foi eliminada da análise de variância ANOVA para evitar um viés no resultado de comparação múltipla. Dessa maneira, foram comparados unicamente os quatro tratamentos testados. Verificou-se uma variância significativa entre as médias de altura que as árvores da espécie *Manguifera indica* atingiram durante o ano de monitoramento, como mostrado na tabela 16. O valor de F é muito elevado, o que faz rejeitar a hipótese de médias iguais ou similares entre tratamentos, o que foi possível verificar de maneira qualitativa no desenvolvimento da altura das plantas.

Tabela 16 – Análise de variância do fator altura das árvores de *Manguifera indica* na AE1

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	6385	3	2128	6,72	0,001
Dentro do tratamento	11280	9	1254		
Residual	5051	27	187,1		

A tabela 17 mostra o resultado do teste de Tukey e, como é possível observar, o desenvolvimento das árvores foi melhor nos tratamentos S₃ e S₄, visto que há diferenças significativas em relação aos tratamentos S₁ e S₂. Esses sistemas – S₁ e S₂ – manifestaram medianas similares, o que faz com que a variância entre eles seja não significativa. No entanto, esses dados podem ter um viés devido ao número de perdas em cada um dos tratamentos dessa área experimental.

Tabela 17 – Teste de Tukey para a altura das árvores de *Manguifera indica* na AE1

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ (AE1 - M) vs S ₂ (AE1 - M)	5,280	1,221	p > 0,05
S ₁ (AE1 - M) vs S ₃ (AE1 - M)	-21,82	5,045	p < 0,01
S ₁ (AE1 - M) vs S ₄ (AE1 - M)	-22,86	5,285	p < 0,01
S ₂ (AE1 - M) vs S ₃ (AE1 - M)	-27,10	6,265	p < 0,001
S ₂ (AE1 - M) vs S ₄ (AE1 - M)	-28,14	6,506	p < 0,001
S ₃ (AE1 - M) vs S ₄ (AE1 - M)	-1,040	0,2404	p > 0,05

b1) Desenvolvimento por produção de folhas

Área experimental 1 – *Manguifera indica*

No gráfico *Box plot* (Figura 67) se mostra o desenvolvimento das árvores de manga pelo número médio de folhas dos indivíduos plantados em cada sistema. Pode-se observar que nos sistemas S₃ e S₄ a produção de folhas foi significativamente maior do que nos outros sistemas ou tratamentos. Os tratamentos S₁ e S₂ e área controle apresentaram uma mediana similar, com uma produção de folhas baixa e significativamente menor do que nos sistemas S₃ e S₄.

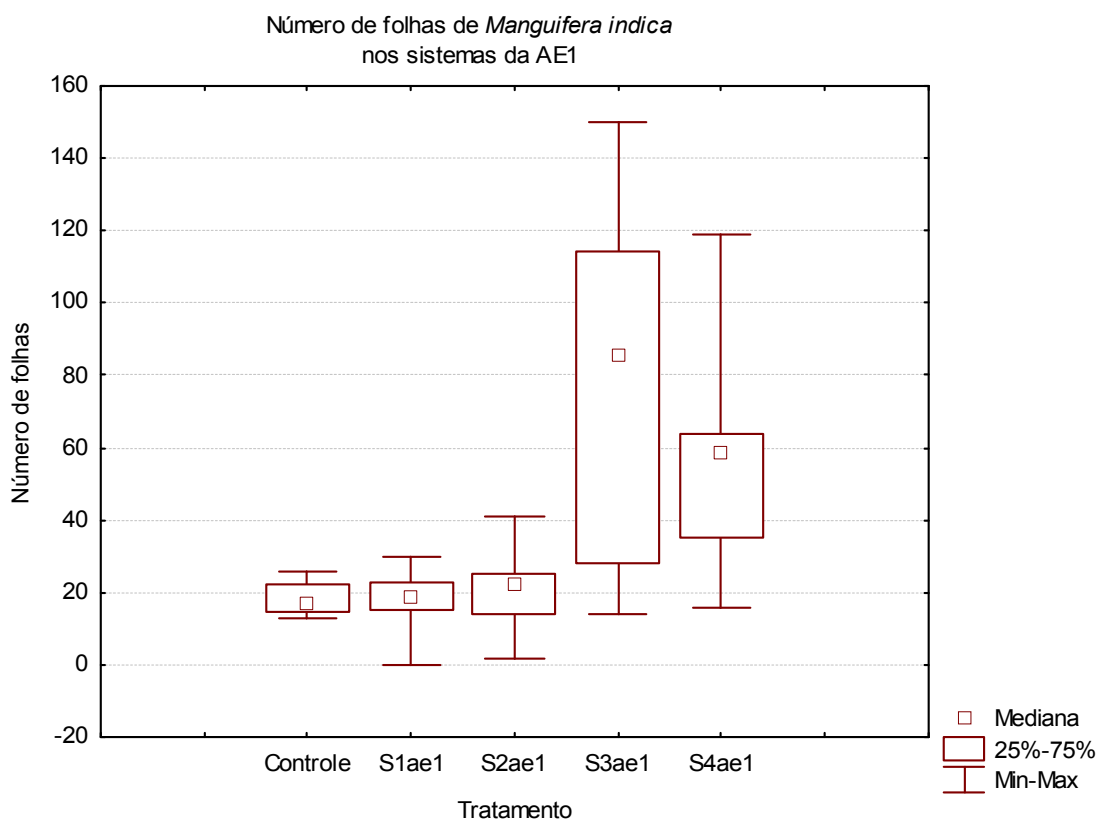


Figura 67: Número de folhas de *Manguifera indica* na AE1

No gráfico do número médio de folhas para essa espécie (Figura 68) mostra-se como, em todos os sistemas, as plantas tiveram uma queda importante na produção de folhas em resposta natural à falta de água no período seco. As árvores nos tratamentos S₃ e S₄ tiveram maior produção de folhas durante o ano de monitoramento, inclusive durante quase todo o período seco, tendo a perda maior de folhas no mês de agosto de 2006. Embora o S₃ tenha apresentado as maiores médias de folhas durante a maior parte do tempo de monitoramento, verificou-se uma queda drástica, enquanto que o sistema S₄ se manteve com médias mais uniformes ao longo do tempo, sem apresentar uma diminuição tão marcante quanto o sistema S₃ em agosto de 2006.

Média do número de folhas de *Mangifera indica* na AE1

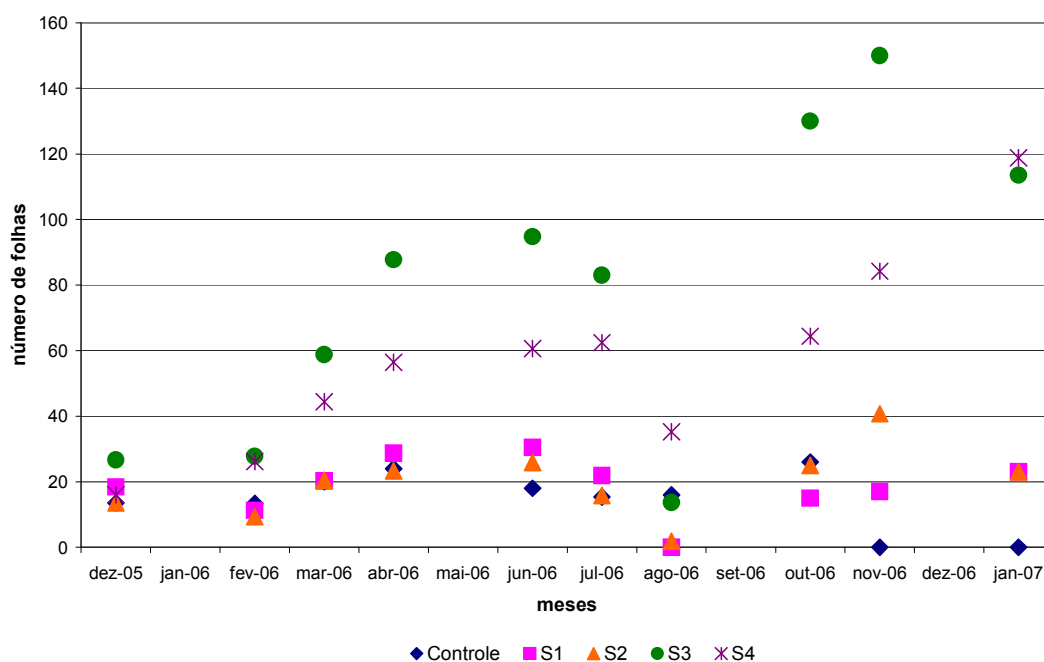


Figura 68: Média do número de folhas de *Mangifera indica* na AE1

Pela análise de variância pode-se observar que o valor de F é elevado, indicando que as diferenças entre as médias do número de folhas produzidas pelas árvores em todos os sistemas da AE1 são significativas (Tabela 18).

Tabela 18 – Análise de variância do fator número de folhas de *Mangifera indica* na AE1

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	2425	3	808,4	18,42	0,0001
Dentro dos tratamentos	1969	9	218,8		
Residual	1185	27	43,89		

O teste de Tukey, na Tabela 19, demonstra que o S₄ teve uma diferença significativamente alta na produção de folhas em relação aos tratamentos S₁ e S₂. Já em relação ao tratamento S₃, a diferença é relativamente menor. Ainda assim, o tratamento S₄ demonstra ser mais eficiente para esse indicador, o que é reforçado pelo fato de que, para esse tratamento, foram mantidas condições favoráveis ao longo do tempo para o desenvolvimento da copa das árvores.

Tabela 19 – Teste de Tukey para o número de folhas de *Manguifera indica* na AE1

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ (AE1 - M) vs S ₂ (AE1 - M)	-1,189	0,5677	p > 0,05
S ₁ (AE1 - M) vs S ₃ (AE1 - M)	-8,400	4,010	p < 0,05
S ₁ (AE1 - M) vs S ₄ (AE1 - M)	-19,58	9,344	p < 0,001
S ₂ (AE1 - M) vs S ₃ (AE1 - M)	-7,211	3,442	p > 0,05
S ₂ (AE1 - M) vs S ₄ (AE1 - M)	-18,39	8,776	p < 0,001
S ₃ (AE1 - M) vs S ₄ (AE1 - M)	-11,18	5,334	p < 0,01

c1) Taxa de sobrevivência e altura das árvoresÁrea experimental 1 – *Psidium guajava*

Para a espécie *Psidium guajava* as taxas de sobrevivência nos tratamentos S₃ e S₄, de 80%, foram superiores àquelas observadas no tratamento S₂ (67%), no tratamento S₁ (43%) e na área controle (25%), como pode ser observado na tabela 20.

Tabela 20 – Taxa de sobrevivência de *Psidium guajava* na AE1

Tratamento	No.	%									
		inicial	dez-05	fev-06	mar-06	abr-06	jun-06	jul-06	ago-06	oct-06	nov-06
Controle	6	100	67	50	50	50	50	50	25	25	25
Negarim - S ₁	7	100	86	71	71	71	57	57	57	57	43
Leirões em semi-círculo - S ₂	6	100	83	83	83	83	83	83	83	67	67
Leirões em curva de nível - S ₃	10	100	100	100	100	90	90	90	90	90	80
Camalhões em curva de nível - S ₄	10	100	90	80	80	80	80	80	80	80	80

Na figura 69 mostra-se o número de árvores vivas de *Psidium guajava* na AE1 ao longo do período monitorado. Nesse caso, se observa que há perdas de indivíduos tanto no período seco, quanto após o mês com maior volume de chuva (novembro, 2006), relacionadas à capacidade de absorção das raízes das plantas sob a falta ou o excesso de água no solo. Os processos morfológicos e fisiológicos das plantas, que são dependentes da turgescência dos tecidos, são particularmente sensíveis à redução da disponibilidade de água no solo, mas também são afetados pelo excesso de água, quando há maior suscetibilidade das plantas à hipoxia por excesso de umidade no solo no estágio reprodutivo. No entanto, reflete que a espécie *Psidium guajava* apresentou uma maior resistência à falta de umidade do que as árvores da espécie *Manguifera indica* na AE1.

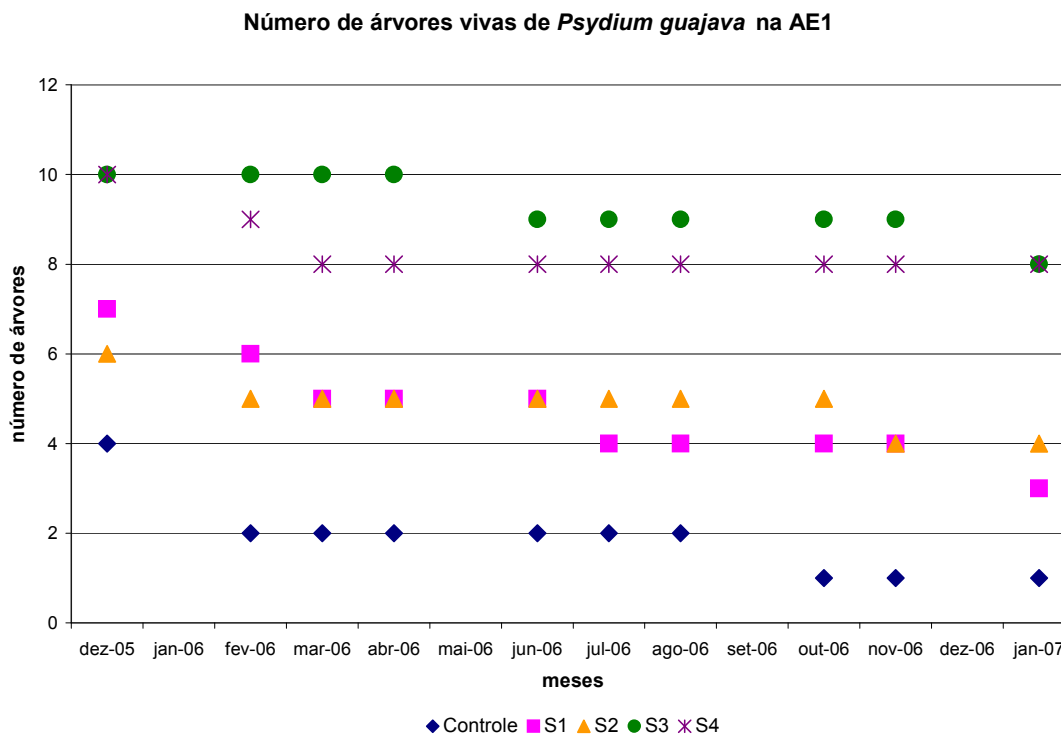


Figura 69: Número de árvores vivas de *Psidium guajava* na AE1

No gráfico da figura 70 são apresentadas as diferenças de desenvolvimento entre os sistemas avaliados e a área controle dentro da AE1. A área controle não favoreceu um bom desenvolvimento das árvores de goiaba, já que apenas uma das seis árvores aí plantadas sobreviveu até o final do período de monitoramento. Essa árvore atingiu a altura de 40cm, mas não conseguiu engrossar seu tronco.

O ritmo de crescimento ao longo do tempo das goiabeiras na área controle foi inferior se comparado com os diferentes tratamentos da AE1. Os valores das medianas de altura das árvores de goiaba nos sistemas S₃ e S₄, próximos de 50cm, indicam um desenvolvimento similar, embora melhor para o tratamento S₃, que concentrou a maioria dos valores entre 41cm e 69cm, enquanto que o tratamento S₄ teve alturas concentradas em torno dos 40cm e 55cm.

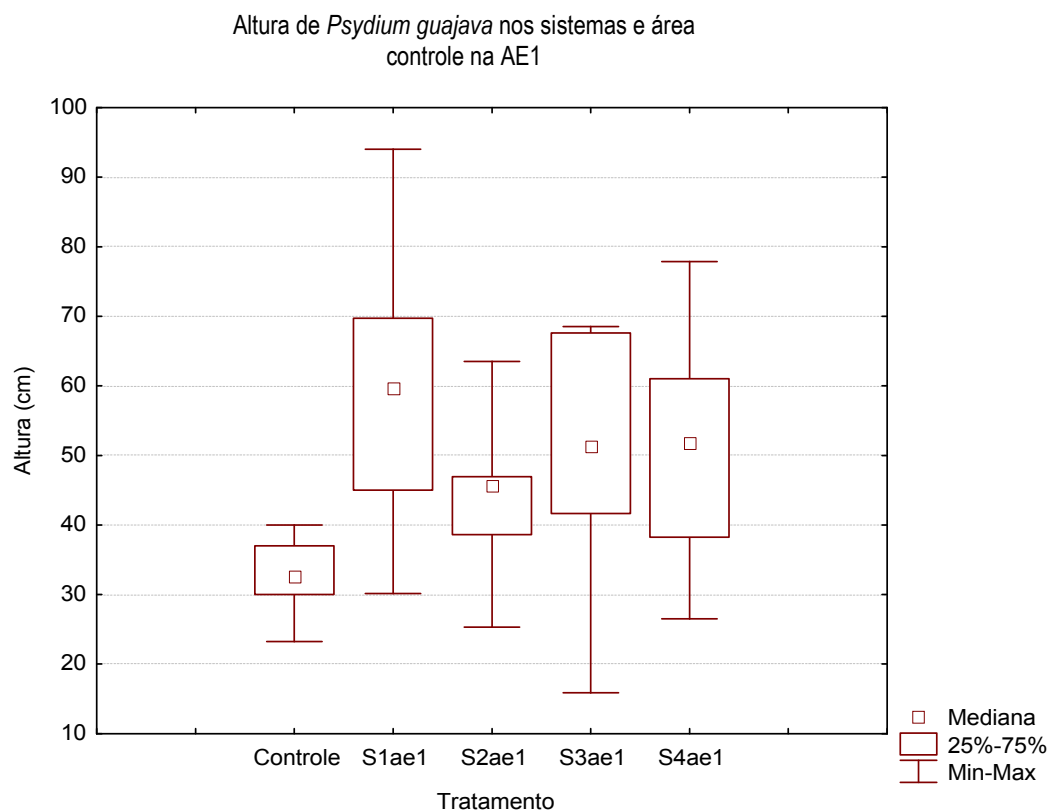


Figura 70: Altura de *Psidium guajava* na AE1

O gráfico da evolução do desenvolvimento da altura das mudas de goiaba (Figura 71) permite verificar que, exceto para as árvores da área controle, o desenvolvimento das mudas foi uniforme nos diferentes sistemas durante os meses chuvosos, apesar do veranico acontecido no mês de janeiro de 2006, e, inclusive, durante a primeira parte do período seco a partir de junho de 2006. O gráfico também permite observar que as árvores no sistema *Negarim* (S₁) obtiveram alturas maiores do que o resto dos tratamentos. No entanto, como mostra a tabela 20, a taxa de sobrevivência para esse sistema foi de 43%, ou seja, aí ocorreu o maior número de perdas entre os tratamentos. Relacionando de novo o desenvolvimento da planta com as perdas, pode se afirmar que os tratamentos S₃ e S₄ permitiram melhores condições para a sobrevivência das plantas, assim como para o desenvolvimento da altura das mesmas.

Altura média de *Psidium guajava* na AE1

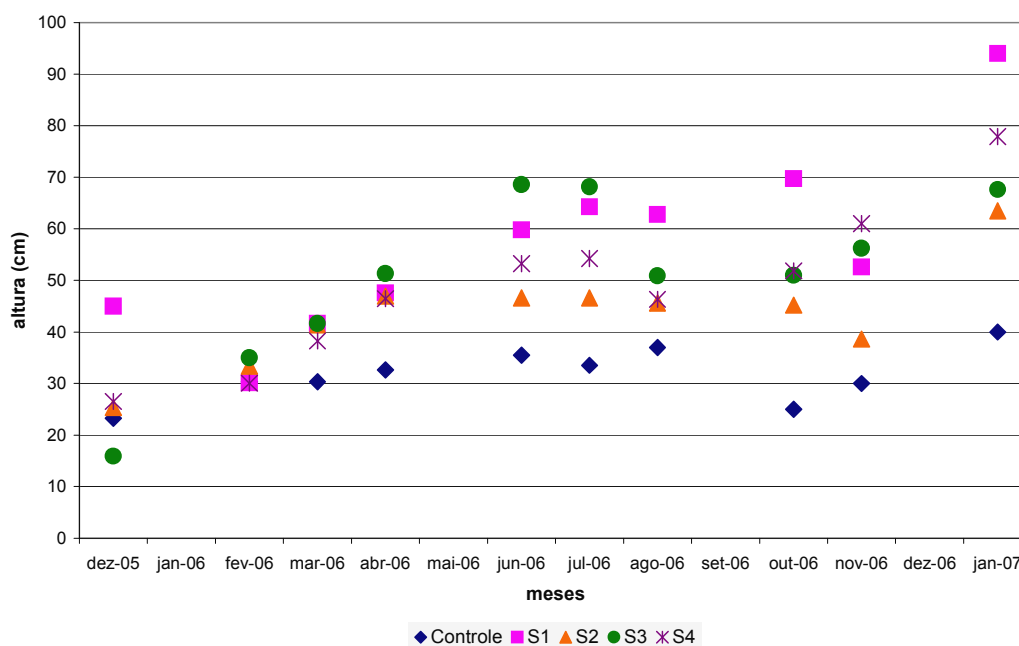


Figura 71: Altura média de *Psidium guajava* na AE1

Na análise de variância ANOVA foram excluídos de novo os dados da área controle, uma vez que sua perda de árvores foi quase total, não permitindo a comparação com os outros tratamentos. Os resultados da análise (Tabela 21) para a espécie *Psidium guajava* mostraram que existem diferenças significativas entre as médias dos tratamentos na AE1. O valor crítico de F indica um valor de p maior do que 0,001.

Tabela 21 – Análise de variância do fator altura das árvores de *Psidium guajava* na AE1

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	938,5	3	312,8	5,89	0,003
Dentro do tratamento	6843	9	760,3		
Residual	9214	39			

O teste de Tukey de comparação múltipla para o fator desenvolvimento da altura de *Psidium guajava* da tabela 22 permitiu observar que estatisticamente não existe diferença significativa entre as médias dos tratamentos avaliados na AE1, excetuando a relação entre os tratamentos S_1 e S_2 , em congruência com os gráficos das figuras 70 e 71.

Tabela 22 – Teste de Tukey para a altura das árvores de *Psidium guajava* na AE1

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ (AE1 - G) vs S ₂ (AE1 - G)	13,50	5,859	p < 0,01
S ₁ (AE1 - G) vs S ₃ (AE1 - G)	6,200	2,691	p > 0,05
S ₁ (AE1 - G) vs S ₄ (AE1 - G)	8,400	3,646	p > 0,05
S ₂ (AE1 - G) vs S ₃ (AE1 - G)	-7,300	3,168	p > 0,05
S ₂ (AE1 - G) vs S ₄ (AE1 - G)	-5,100	2,214	p > 0,05
S ₃ (AE1 - G) vs S ₄ (AE1 - G)	2,200	0,9549	p > 0,05

d1) Desenvolvimento por produção de folhas

Área experimental 1 – *Psidium guajava*

Para a espécie *Psidium guajava* da AE1, como se pode observar no gráfico da Figura 72, as melhores condições para o desenvolvimento do maior número de folhas das goiabeiras se apresentou dentro do sistema S₄ (Camalhões em curva de nível). As produções de folhas nos sistemas S₁ e S₃ apresentaram comportamentos similares, sendo mais altas do que na área controle e no S₂.

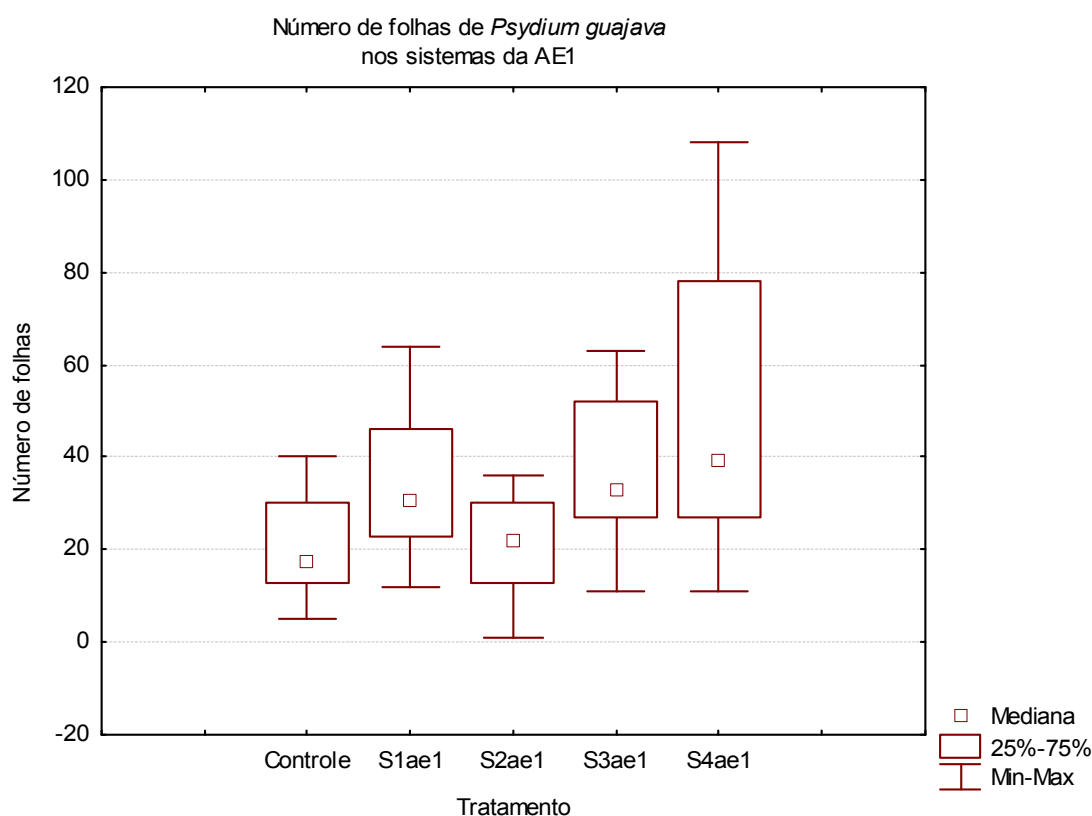


Figura 72: Número de folhas de *Psidium guajava* na AE1

A área controle apresentou um desenvolvimento pobre durante os 14 meses de monitoramento. As árvores nos tratamentos S₁ (*Negarim*) e S₂ (leirões em semi-círculo) tiveram um desenvolvimento melhor do que aquelas na área controle, ainda que os valores das medianas tenham se mantido em torno de 20 a 25 folhas por árvore. É importante destacar que

na área onde foram construídos esses sistemas a vegetação invasiva teve um crescimento muito acelerado, o que pode ter inibido o desenvolvimento das árvores plantadas.

O gráfico do número médio de folhas para as árvores de goiaba da AE1 (Figura 73) mostra que essa espécie também teve como mecanismo de sobrevivência a queda de folhas desde o início do período seco, para depois começar a produção de folhas com a chegada das chuvas. O sistema S₄ forneceu as melhores condições para a produção de folhas para as árvores da espécie *Psidium guajava*.

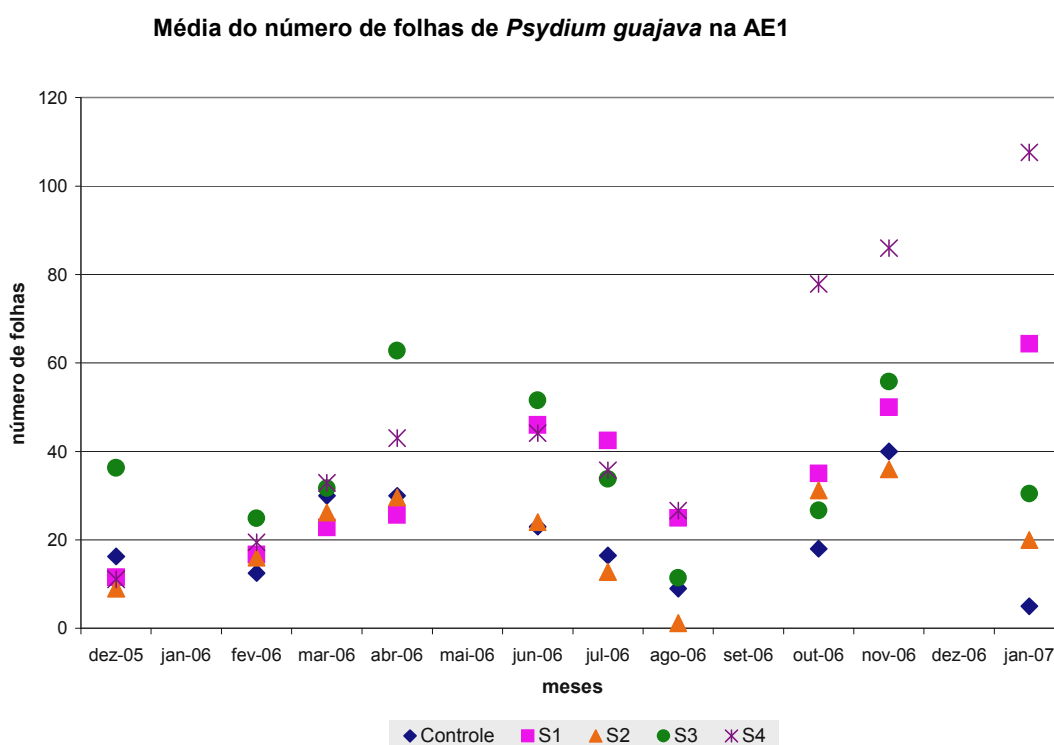


Figura 73: Média do número de folhas de *Psidium guajava* na AE1

A análise de variância para o fator de número de folhas das árvores *Psidium guajava* na AE1 (Tabela 23) mostrou que existe uma diferença significativa das médias de produção de folhas entre os sistemas avaliados e as árvores na área controle. De novo, pelo pobre desenvolvimento das árvores na área controle e pela baixa taxa de sobrevivência, os valores da área controle foram desconsiderados, pois apenas um indivíduo arbóreo sobreviveu.

Tabela 23 – Análise de variância do fator número de folhas de *Psidium guajava* na AE1

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	3481	3	1160	6,65	0,001
Dentro dos tratamentos	3913	9	434,7		
Residual	4706	27	174,3		

O teste de Tukey não mostrou diferenças significativas entre os sistemas, mas permitiu determinar o tratamento mais eficiente em relação ao desenvolvimento da copa das árvores da espécie *Psidium guajava*. O tratamento S₄ apresenta um valor de *p* que mostra uma diferença significativa na eficiência de produção de folhas em relação aos outros tratamentos, principalmente quando comparado com o S₂ (Tabela 24).

Tabela 24 – Teste de Tukey para o número de folhas de *Psidium guajava* na AE1

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	<i>q</i>	<i>p</i>
S ₁ (AE1 - G) vs S ₂ (AE1 - G)	4,417	1,058	<i>p</i> > 0,05
S ₁ (AE1 - G) vs S ₃ (AE1 - G)	-13,64	3,267	<i>p</i> > 0,05
S ₁ (AE1 - G) vs S ₄ (AE1 - G)	-18,17	4,352	<i>p</i> < 0,05
S ₂ (AE1 - G) vs S ₃ (AE1 - G)	-18,06	4,325	<i>p</i> < 0,05
S ₂ (AE1 - G) vs S ₄ (AE1 - G)	-22,59	5,410	<i>p</i> < 0,01
S ₃ (AE1 - G) vs S ₄ (AE1 - G)	-4,530	1,085	<i>p</i> > 0,05

a2) Taxa de sobrevivência e altura das árvores

Área experimental 2 – *Manguifera indica*

As taxas de sobrevivência das árvores de *Manguifera indica* na AE2 foram superiores àquelas da AE1, sendo em todos os sistemas de 100%, exceto para o tratamento S₁ (*Negarim*), onde morreu apenas uma muda, durante o veranico de janeiro de 2006, como se mostra na tabela 25 e na figura 74.

Tabela 25 – Taxa de sobrevivência de *Manguifera indica* na AE2

Estrutura	No. %										
	Inicial	Dez-05	Fev-06	Mar-06	Abr-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Oct-06	Nov-06	Jan-07
<i>Negarim</i> - S ₁	9	100	89	89	89	89	89	89	89	89	89
Leirões em semi-círculo - S ₂	9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Leirões em curva de nível - S ₃	11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Camalhões em curva de nível - S ₄	11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Apesar das condições de fertilidade na AE2 serem inferiores àquelas na AE1, as plantas tiveram um bom desenvolvimento ao longo do ano, mesmo durante o período seco. Isso mostra que as condições de compactação e as características granulométricas do solo são determinantes na infiltração e para permitir a passagem do ar, provendo oxigênio necessário para respiração e crescimento das raízes, evitando a hipoxia na planta ou alta sensibilidade ao encharcamento por excesso de água.

Número de árvores vivas de *Mangifera indica* na AE2

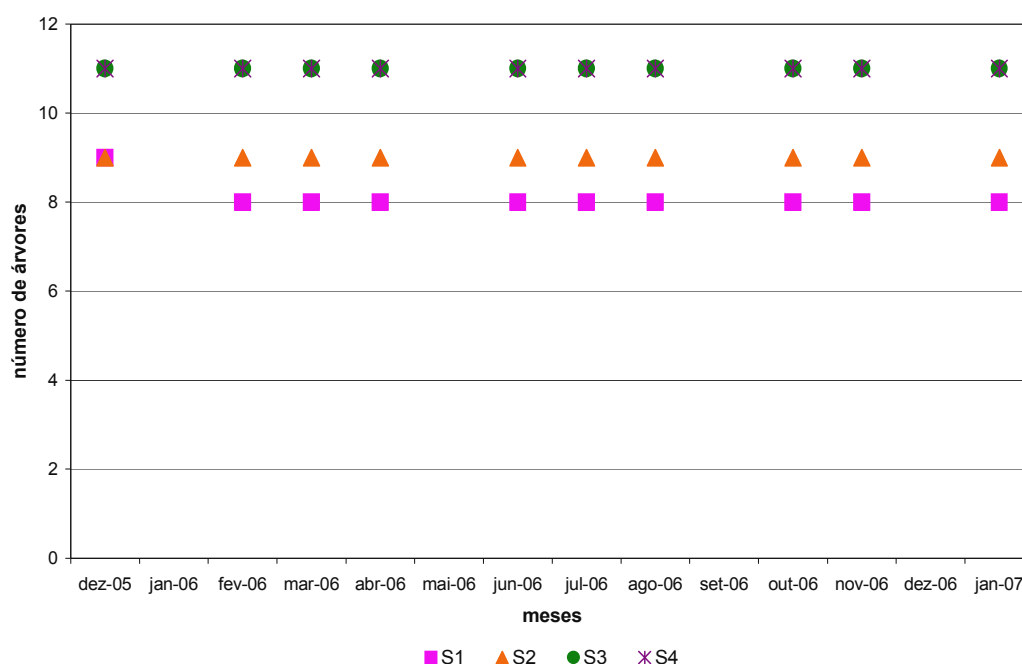


Figura 74: Número de árvores vivas de *Mangifera indica* na AE2

Como se observa no gráfico da figura 75, não existem diferenças na concentração dos valores e as medianas estão em posições similares para os tratamentos S₁ e S₂, e a concentração dos dados indica que as árvores se desenvolveram de maneira relativamente similar. No tratamento S₃ as árvores atingiram as maiores alturas, chegando a ter, na média para o último mês, mais de 135cm, e os valores estão concentrados entre as alturas de 50cm e 90cm. O tratamento S₄ apresentou valores máximos acima de 140cm durante o período chuvoso de 2006/2007, mas ao longo do ano de 2006, 50% dos valores se concentraram abaixo de 70cm. Na AE2 os tratamentos S₃ e S₄ permitiram o desenvolvimento da altura das árvores de uma maneira mais eficiente. Embora as alturas das árvores tenham sido menores nos tratamentos S₁ e S₂, nesses tratamentos foi mantido um padrão de crescimento constante e similar àquele apresentado pelas árvores nos tratamentos S₃ e S₄.

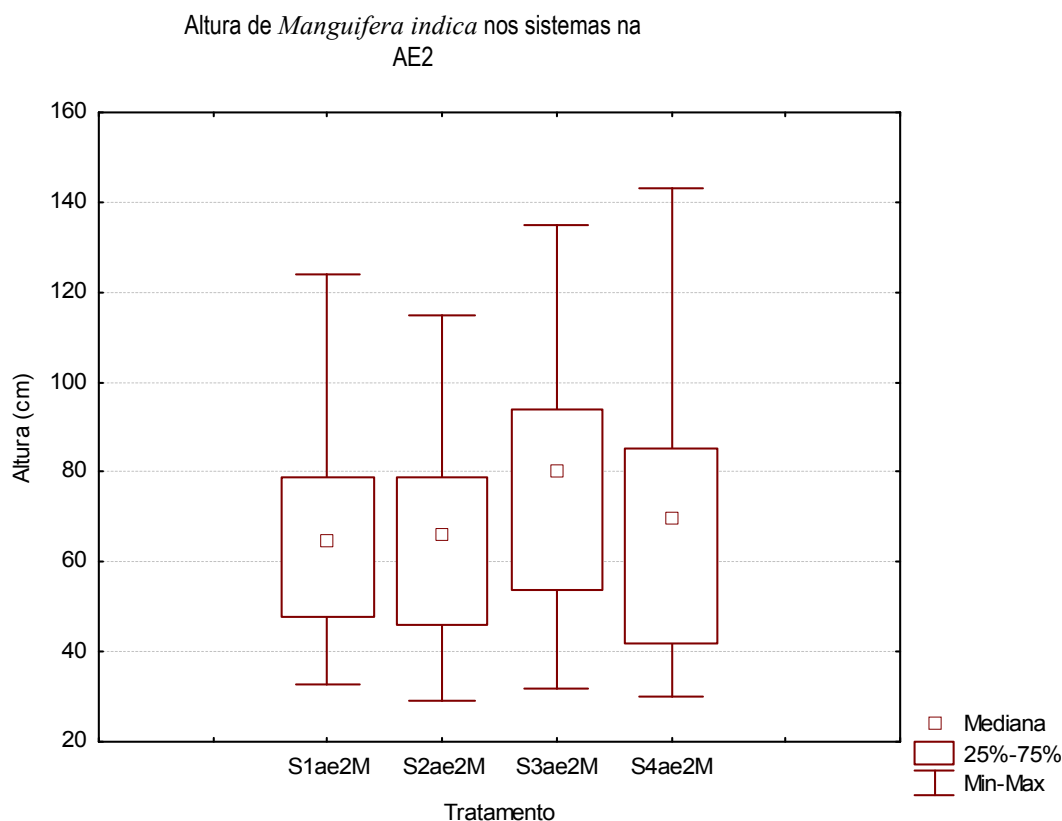


Figura 75: Altura de *Manguifera indica* na AE2

A figura 76 permite observar a evolução do desenvolvimento das árvores de manga nos diferentes sistemas na AE2. O desenvolvimento da altura das plantas foi diferente e melhor do que o padrão apresentado pela mesma espécie na AE1. Ainda que o crescimento tenha sido mais lento durante o período seco, se manteve constante para todos os sistemas, tendo um incremento mais evidente no início do período chuvoso de 2006. No final do período chuvoso 2005-2006 e ao longo do período seco as árvores no tratamento S₃ atingiram alturas maiores do que aquelas no resto dos tratamentos. Os tratamentos S₁, S₂ e S₄ permitiram um nível semelhante de desenvolvimento da altura das árvores desde o início do monitoramento – dezembro de 2005 – até o início do período chuvoso – outubro 2006. O tratamento S₃ proporcionou melhores condições para o desenvolvimento das árvores ao longo dos meses monitorados. No tratamento S₄ o desenvolvimento foi similar, com a média no mês de janeiro de 2007 tendo superado àquela para o tratamento S₃.

Altura média de *Mangifera indica* na AE2

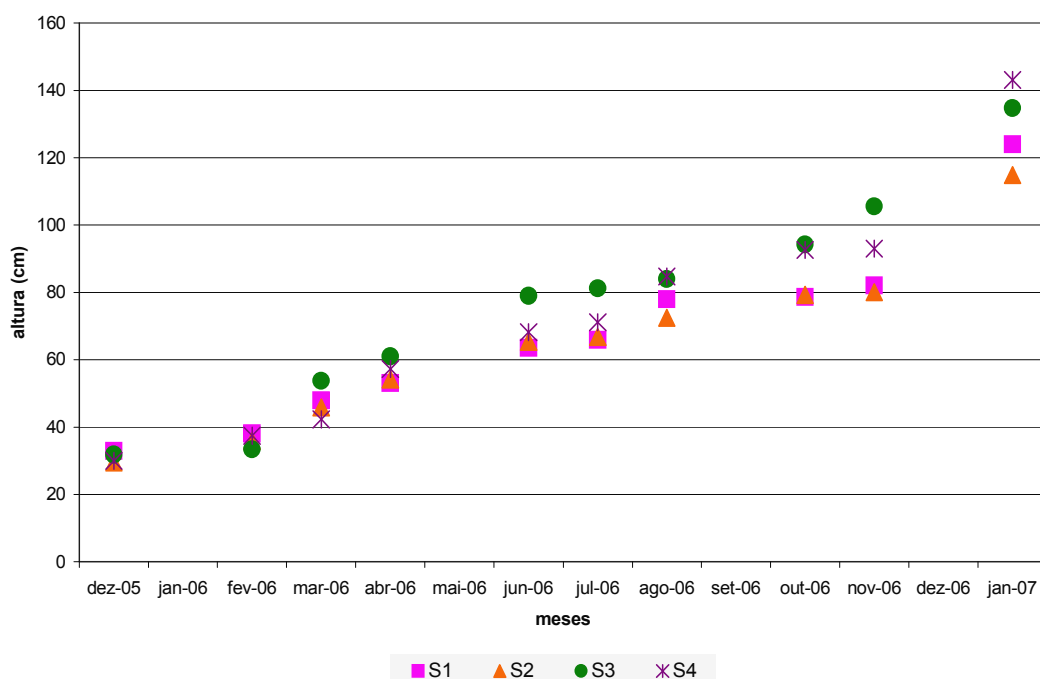


Figura 76: Altura média de *Mangifera indica* na AE2

Os valores apresentados na tabela 26 de análise de variância confirmam que existe diferença significativa entre a média dos dados de altura entre os quatro tratamentos analisados na AE2, embora todos os sistemas tenham apresentado um bom desenvolvimento. Apesar de não contar com uma área controle e comparando apenas os quatro sistemas testados, observa-se que existem diferenças na qualidade do desenvolvimento das árvores plantadas nos mesmos. Coincidindo com a AE1, são as árvores nos tratamentos S₃ e S₄ as que atingiram alturas maiores ao longo do tempo. Já nos sistemas S₁ e S₂, ainda que o desenvolvimento tenha sido constante, as árvores mantiveram alturas menores. Isso pode ser um indício de que, durante o ano monitorado, a posição relativa do sistema ao longo da vertente (acima ou abaixo de outro sistema) não influenciou no desempenho dos sistemas para reter umidade e permitir um bom desenvolvimento das plantas.

Tabela 26 – Análise de variância do fator altura das árvores de *Mangifera indica* na AE2

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	798,2	3	266,1	8,49	0,001
Dentro do tratamento	30260	9	3362		
Residual	845,3	27	31,31		

O teste de Tukey (Tabela 27) indica que a diferença é significativa na relação entre os tratamentos S₃ e os tratamentos S₁ e S₂. A diferença é nula para as diversas comparações feitas entre S₁, S₂ e S₄. No entanto, são os dados do S₃ os que permitem afirmar que, para a AE2 e

no caso da espécie *Manguifera indica*, é esse tratamento o que permitiu o melhor desenvolvimento de altura das árvores.

Tabela 27 – Teste de Tukey para a altura das árvores de *Manguifera indica* na AE2

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ (AE2 - M) vs S ₂ (AE2 - M)	2,100	1,187	p > 0,05
S ₁ (AE2 - M) vs S ₃ (AE2 - M)	-9,500	5,369	p < 0,01
S ₁ (AE2 - M) vs S ₄ (AE2 - M)	-4,600	2,600	p > 0,05
S ₂ (AE2 - M) vs S ₃ (AE2 - M)	-11,60	6,556	p < 0,001
S ₂ (AE2 - M) vs S ₄ (AE2 - M)	-6,700	3,787	p > 0,05
S ₃ (AE2 - M) vs S ₄ (AE2 - M)	4,900	2,769	p > 0,05

b2) Desenvolvimento por produção de folhas

Área experimental 2 – *Manguifera indica*

O desenvolvimento do número de folhas das árvores da espécie *Manguifera indica* na AE2 teve variações significativas entre os diferentes tratamentos. No gráfico da figura 77 mostra-se que o S₂, leirões em semi-círculo, permitiu um melhor desenvolvimento da copa para essas árvores. O S₁ apresentou o desenvolvimento da copa menos significativo dentre os quatro sistemas avaliados, apesar do desenvolvimento uniforme de suas árvores ao longo dos 14 meses de monitoramento.

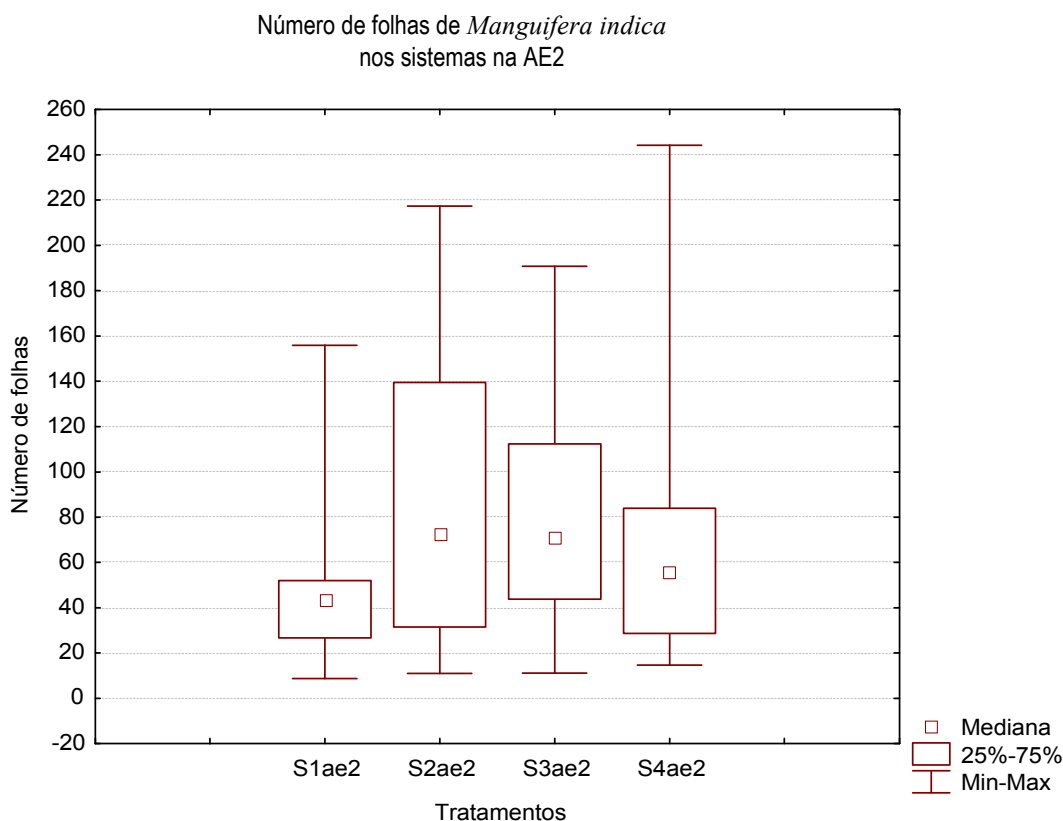


Figura 77: Número de folhas de *Manguifera indica* na AE2

O gráfico da figura 78 permite visualizar o número médio de folhas nas árvores de manga nos sistemas da AE2. Nota-se que a produção de folhas foi constante e progressiva até o final do

período seco para todos os sistemas. Após o início do período chuvoso, são observados dois comportamentos diferentes entre os sistemas até a medição realizada em outubro de 2006: o tratamento S₁ apresentou um pequeno decréscimo na produção de folhas enquanto que nos demais houve um acréscimo, com destaque para o S₂. O tratamento S₄ permitiu uma produção constante de folhas, tendo um incremento significativo no último mês de monitoramento. Para os quatro sistemas verificou-se um significativo aumento na produção de folhas de novembro de 2006 a janeiro de 2007, provavelmente em função do grande volume de chuvas no final de 2006.

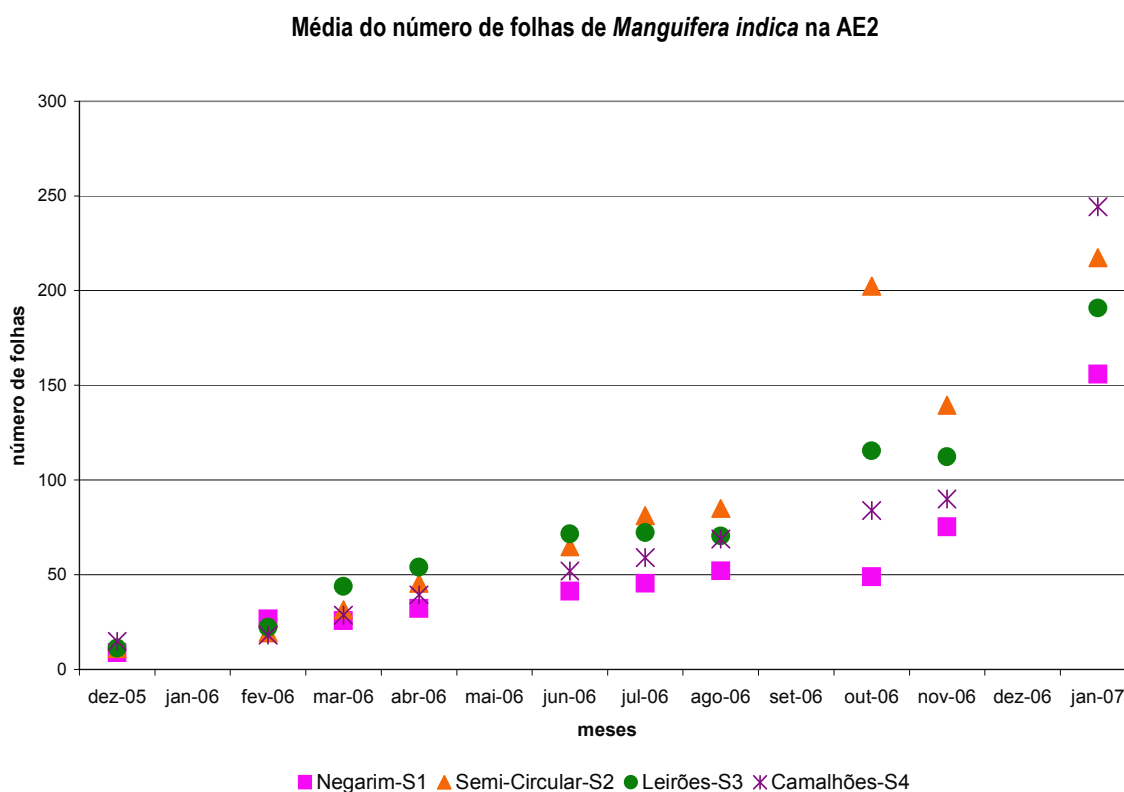


Figura 78: Média do número de folhas de *Manguifera indica* na AE2

A análise de variância para o fator número de folhas das mangueiras na AE2 (Tabela 28) mostrou que existem diferenças significativas entre as médias para os quatro sistemas avaliados nessa área experimental.

Tabela 28 – Análise de variância do fator número de folhas de *Manguifera indica* na AE2

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	7686	3	2562	4,905	0,0001
Dentro dos tratamentos	113800	9	12640		
Residual	14100	27	522,3		

Na tabela 29 são apresentados os resultados do teste de Tukey para determinar qual dos tratamentos teve maior eficiência na produção de folhas em árvores da espécie *Manguifera indica* na AE2. Como se observa, o S₂, leirões em semi-círculo, teve uma diferença significativa em relação ao tratamento S₁, Negarim, mas não apresenta diferenças significativas se comparado com os tratamentos S₃ e S₄. Já entre estes e o tratamento S₁ não se apresentam diferenças significativas entre as médias.

Tabela 29 – Teste de Tukey para o número de folhas de *Manguifera indica* na AE2

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ (AE2 - M) vs S ₂ (AE2 - M)	-38,50	5,327	p < 0,01
S ₁ (AE2 - M) vs S ₃ (AE2 - M)	-25,10	3,473	p > 0,05
S ₁ (AE2 - M) vs S ₄ (AE2 - M)	-18,70	2,588	p > 0,05
S ₂ (AE2 - M) vs S ₃ (AE2 - M)	13,40	1,854	p > 0,05
S ₂ (AE2 - M) vs S ₄ (AE2 - M)	19,80	2,740	p > 0,05
S ₃ (AE2 - M) vs S ₄ (AE2 - M)	6,400	0,8856	p > 0,05

c2) Taxa de sobrevivência e altura das árvores

Área experimental 2 – *Psidium guajava*

A taxa de sobrevivência para *Psidium guajava* na AE2 foi de 100% para três (S₁, S₂ e S₃) dos sistemas avaliados (Tabela 30). Nessa área, a perda de árvores de goiaba foi menor, tendo morrido, no mês de dezembro de 2006, duas mudas do tratamento S₄.

Tabela 30 – Taxa de sobrevivência de *Psidium guajava* na AE2

Estrutura	No.										
	inicial	Dez-05	Fev-06	Mar-06	Abr-06	Jun-06	Jul-06	Ago-06	Oct-06	Nov-06	Jan-07
Negarim - S ₁	11	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Leirões em semi-círculo - S ₂	7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Leirões em curva de nível - S ₃	9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Camalhões em curva de nível - S ₄	10	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80

O número de árvores vivas de goiaba na AE2 ao longo do período de monitoramento está ilustrado no gráfico da figura 79. É evidente que a taxa de sobrevivência na AE2 está relacionada à estrutura dos solos, já que inicialmente a mesma não apresentava o relativamente elevado grau de compactação da AE1. Essas características permitiram um desenvolvimento inicial das raízes que favoreceu a capacidade da planta de absorver a umidade disponível no início da experiência, evitando a morte das mudas transplantadas.

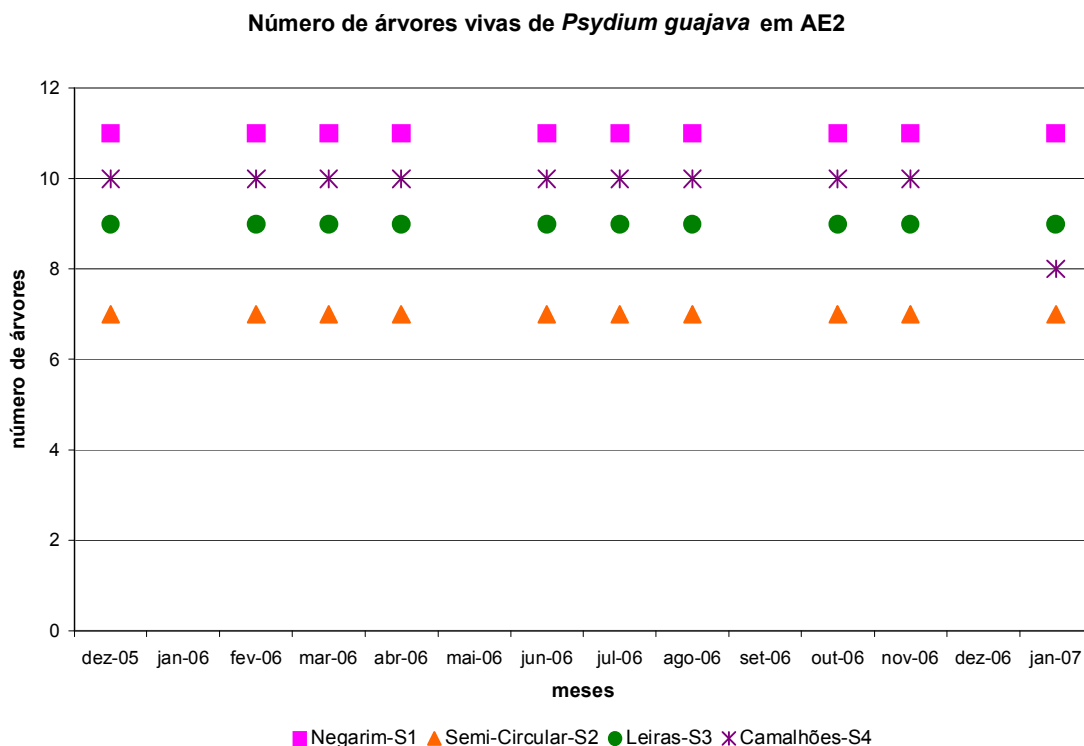


Figura 79: Número de árvores vivas de *Psidium guajava* na AE2

No gráfico seguinte (Figura 80), pode-se observar que existem diferenças da altura. Na AE2 observou-se, em geral, um melhor desenvolvimento das plantas e houve indivíduos que atingiram um tamanho próximo de 140 cm. Nos tratamentos S₁, S₂ e S₃, 50% dos valores se localizaram entre as alturas de 45cm até 70cm. Por outro lado, no S₄ houve uma concentração de valores entre 50cm e 90cm, com a mediana próxima a 100cm, mas com a maior parte dos valores concentrados abaixo dos 100cm, denotando melhores condições para o crescimento das árvores de goiaba.

Altura de *Psidium guajava* nos sistemas na AE2

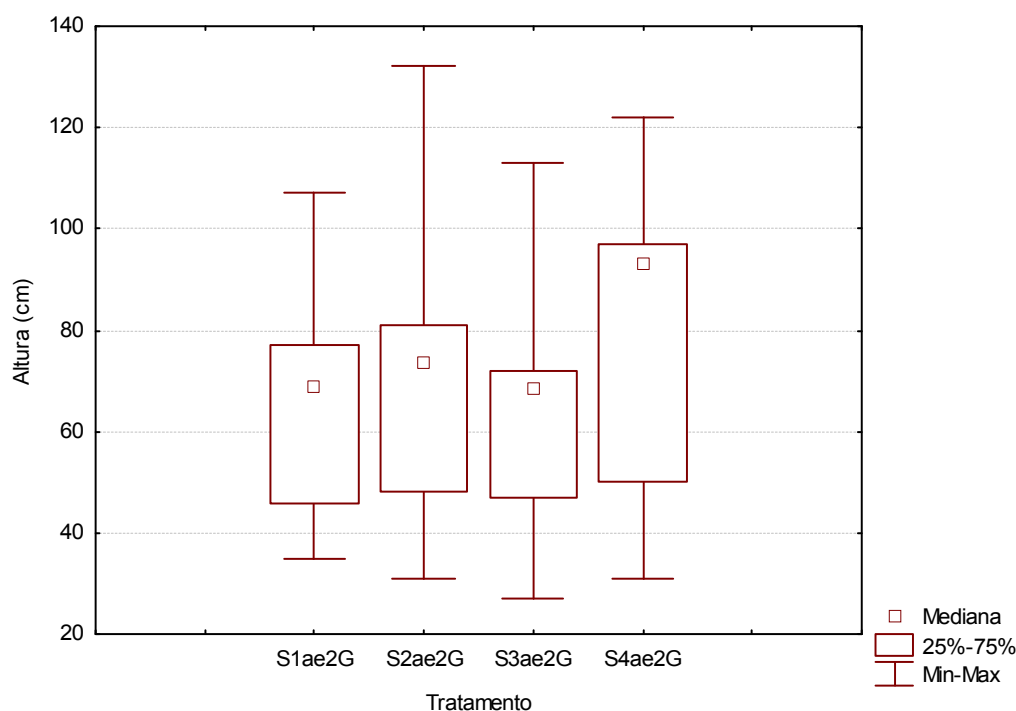


Figura 80: Altura de *Psidium guajava* na AE2

O gráfico das alturas médias das árvores da espécie *Psidium guajava* na AE2 (Figura 81), permite ver as diferenças entre os tratamentos. O desenvolvimento das árvores no sistema S₄, desde o mês de abril de 2006 e durante todo o período seco de 2006, foi superior àqueles das árvores nos outros três sistemas. Para estes sistemas, os valores médios das alturas das árvores foram similares entre si, com exceção da última medição, cujo valor para o S₂ foi o mais alto (superando, inclusive, o valor referente ao S₄). No sistema S₃, durante as medições do mês de novembro de 2006, verificou-se que a parte superior de algumas árvores estava com aparência murcha e em outras a parte superior estava seca ou morta. Isso pode ter sido ocasionado pelo alto volume de precipitação, criando uma situação de estresse na absorção da umidade da planta. Assim, se por um lado o grande volume de chuva nos meses finais de 2006 foi, de forma geral, benéfico para as plantas, por outro, embora em poucos casos, pode ter sido o fator determinante para a morte de indivíduos cujo plantio havia sido feito 12 meses antes.

Altura média de *Psidium guajava* na AE2

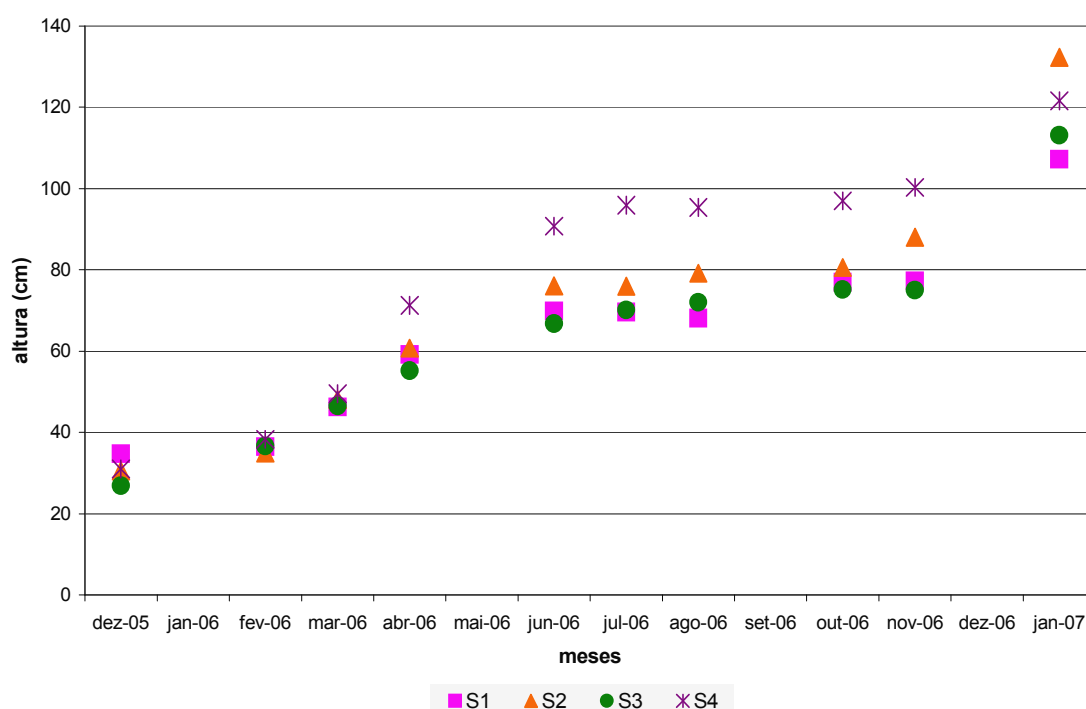


Figura 81: Altura média de *Psidium guajava* na AE2

Na tabela 31 apresenta-se a análise de variância entre tratamentos para a altura das árvores de *Psidium guajava* da AE2. São verificadas diferenças significativas entre as médias das amostras, o que foi perceptível desde um ponto de vista qualitativo. A principal diferença pode ser reconhecida na tabela 32, na qual são apresentados os resultados da comparação elaborada com o uso do teste de Tukey.

Tabela 31 – Análise de variância do fator altura das árvores de *Psidium guajava* na AE2

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	1535	3	511,8	13,39	0,001
Dentro dos tratamentos	24290	9	2698		
Residual	1032	27	38,22		

Para o desenvolvimento da altura de *Psidium guajava* na AE2 pode-se observar que o S₄, aplicando o teste de Tukey de comparação com os outros tratamentos, apresenta diferenças significativas, indicando que esse sistema apresentou melhores condições, o que permitiu um desenvolvimento constante das árvores ao longo do tempo (Tabela 32).

Tabela 32 – Teste de Tukey para a altura das árvores de *Psidium guajava* na AE1

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ (AE2 - G) vs S ₂ (AE2 - G)	-5,700	2,916	p > 0,05
S ₁ (AE2 - G) vs S ₃ (AE2 - G)	1,000	0,5115	p > 0,05
S ₁ (AE2 - G) vs S ₄ (AE2 - G)	-14,60	7,468	p < 0,001
S ₂ (AE2 - G) vs S ₃ (AE2 - G)	6,700	3,427	p > 0,05
S ₂ (AE2 - G) vs S ₄ (AE2 - G)	-8,900	4,552	p < 0,05
S ₃ (AE2 - G) vs S ₄ (AE2 - G)	-15,60	7,979	p < 0,001

d2) Desenvolvimento por produção de folhas

Área experimental 2 – *Psidium guajava*

Com base no gráfico da figura 82, observa-se o desenvolvimento da copa das árvores de goiaba na AE2. Não existe muita diferença da produção de folhas entre os primeiros dois sistemas. Pode-se observar que o S₃ teve a menor produção enquanto o S₄ conseguiu produzir maior quantidade de folhas.

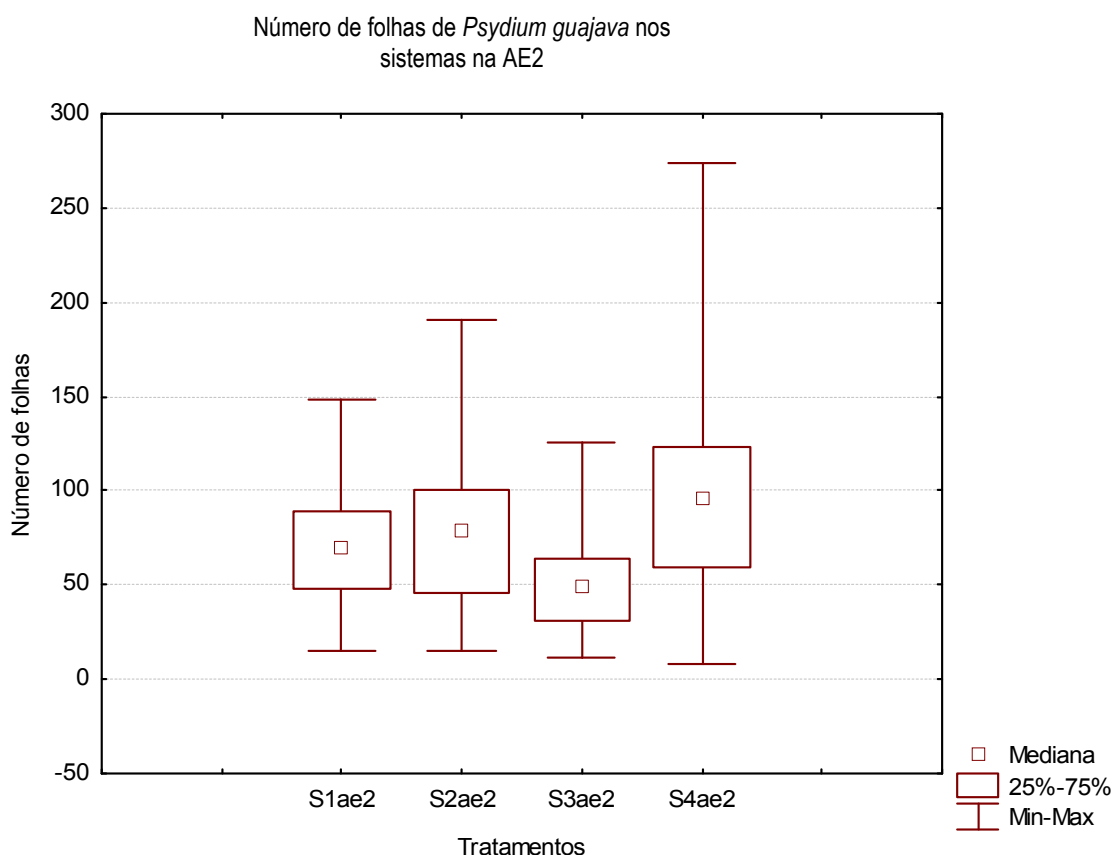


Figura 82: Número de folhas de *Psidium guajava* na AE2

O registro do número médio de folhas na AE2 para as árvores de goiaba mostrou a mesma tendência evolutiva em todos os sistemas, com taxa relativamente pequena de aumento do número de folhas até junho/2006, pequena redução desse número até agosto/2006 (refletindo

os mecanismos de sobrevivência das próprias plantas) e posterior, com taxa relativamente alta, até janeiro/2007 (Figura 83). A partir de abril/2006, o tratamento S₄ manteve, de maneira ininterrupta, a maior produção de folhas para a espécie *Psidium guajava* de maneira permanente, enquanto o S₃ apresentou a menor média do número de folhas ao longo dos meses registrados.

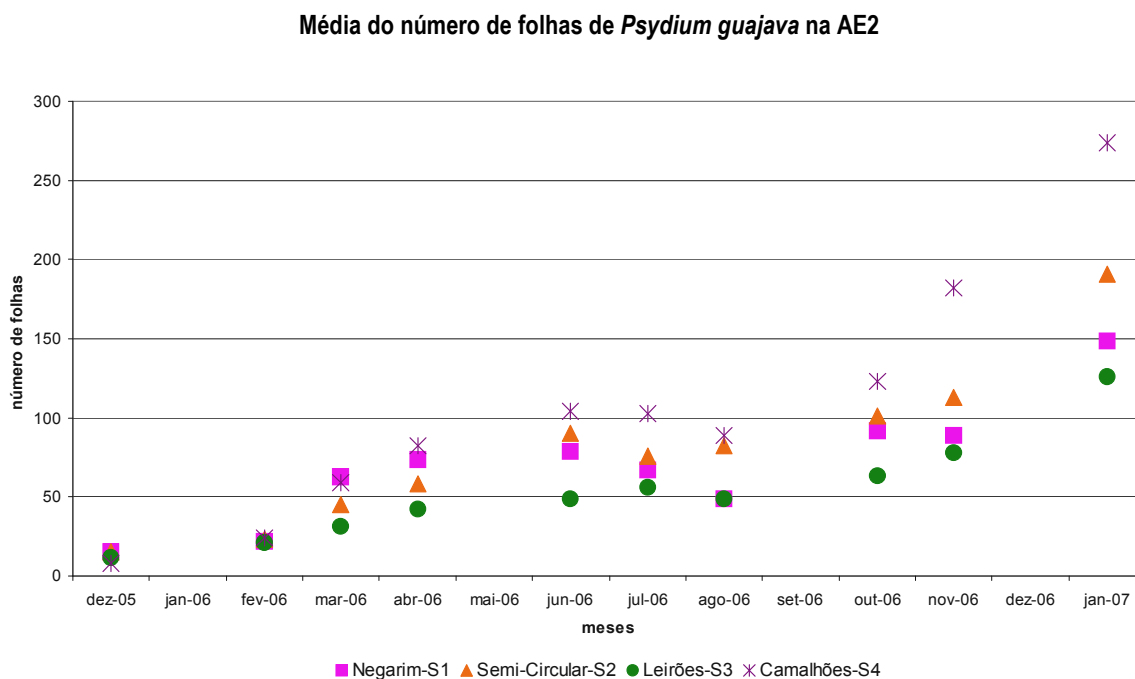


Figura 83: Média do número de folhas de *Psidium guajava* na AE2

A análise de variância do número de folhas para essa espécie (Tabela 33) forneceu um valor de *F* alto, indicando diferenças significativas da produção de folhas entre os sistemas testados na AE2.

Tabela 33 – Análise de variância do fator número de folhas de *Psidium guajava* na AE2

Fonte de variância	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	<i>F</i>	<i>p</i>
Entre tratamentos	14250	3	4749	10,12	0,0001
Dentro dos tratamentos	86440	9	9605		
Residual	12670	27	469,3		

A tabela de comparação entre sistemas pelo teste de Tukey (Tabela 34) mostra que, para o fator número de folhas produzidas pelas árvores nos diferentes sistemas da AE2, o tratamento S₄ teve uma eficiência mais notável em relação aos outros sistemas.

Tabela 34 – Teste de Tukey para o número de folhas de *Psidium guajava* na AE2

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ (AE2 - G) vs S ₂ (AE2 - G)	-9,805	1,431	p > 0,05
S ₁ (AE2 - G) vs S ₃ (AE2 - G)	17,00	2,481	p > 0,05
S ₁ (AE2 - G) vs S ₄ (AE2 - G)	-35,14	5,129	p < 0,01
S ₂ (AE2 - G) vs S ₃ (AE2 - G)	26,80	3,912	p < 0,05
S ₂ (AE2 - G) vs S ₄ (AE2 - G)	-25,34	3,698	p > 0,05
S ₃ (AE2 - G) vs S ₄ (AE2 - G)	-52,14	7,611	p < 0,001

Cabe destacar que o desenvolvimento das mudas de ambas as espécies teve um comportamento diferente em cada área experimental ao longo dos 14 meses de monitoramento. Embora nas duas áreas tenha sido verificada uma redução no crescimento e desenvolvimento da copa das árvores durante os meses de seca, essa redução foi mais discreta na AE2, ainda que a mesma possua solos distróficos, com teores de fertilidade mais baixos do que os solos da AE1.

Isso ressalta a importância da composição granulométrica do solo, a qual favorece ou limita a possibilidade de infiltração e retenção de umidade no solo. Outro fator importante é a compactação dos solos, que no caso em questão impediu a infiltração de água no perfil e a movimentação do ar entre os poros do solo na AE1. A combinação porcentagem de argila – solos compactados e nus da AE1 facilitou, durante os eventos chuvosos, a rápida saturação da camada superficial e favoreceu o encharcamento. Tanto no período de seca, por insuficiência de água, quanto no período de grandes volumes de chuva, provavelmente pela dificuldade das plantas em absorver a umidade em excesso, foram perdidos vários indivíduos arbóreos nessa área.

6.4.3 Estabilidade dos agregados do solo

O indicador estabilidade dos agregados do solo está intimamente relacionado ao desenvolvimento da planta e à produção de material vegetal, a qual, ao cair e cobrir a superfície do solo, se transforma em matéria orgânica e é incorporada às camadas superficiais do solo. Em conjunto, umidade, produção vegetal, temperatura e outros elementos presentes – como a atividade biológica – permitem que seja aumentada a quantidade de matéria orgânica em decomposição, a qual, ao longo do tempo, vai ser incorporada às camadas superficiais do solo, permitindo um aprimoramento nas funções hidrológicas do solo e apresentando uma maior coesão e resistência à erosão.

O monitoramento mensal da estabilidade dos agregados do solo permitiu observar progressos, nos lotes das duas áreas onde foram implantados os sistemas de captação de água de chuva, na qualidade do solo, segundo a classificação do USDA de estabilidade dos agregados do solo (ver Tabela 7). Observou-se um incremento na atividade biológica nesses lotes, o qual facilitou a integração das partículas do solo que decompôs a matéria orgânica acumulada em sua superfície. Assim, áreas da superfície do solo que no início estavam sem cobertura vegetal, posteriormente, e devido a mudanças na estrutura e conteúdo de matéria orgânica, foram cobertas pela própria vegetação rasteira que aproveitou a umidade disponível nas camadas superficiais do perfil.

Os níveis de estabilidade dos agregados do solo para os sistemas S₁, S₂ e S₃ são similares, em torno do valor 3, que é um nível intermediário. O tratamento S₄ apresentou melhores valores para a estabilidade subsuperficial. Provavelmente, se aplicados outros tipos de técnicas de manejo de solos de maneira paralela aos tratamentos avaliados, o solo pode criar melhores condições no seu funcionamento hidrológico e gerar os elementos necessários para se tornar mais resistente aos processos erosivos presentes no local. Mas, pode-se afirmar que por si só os tratamentos proporcionaram um aprimoramento relativo à estabilidade do solo se comparados com a área controle.

No gráfico (Figura 84) são ilustradas as médias que tiveram os diferentes tratamentos durante o período de monitoramento. Embora todos os sistemas no início terem registrado valores muito similares entre si, no S₄ se apresentaram mudanças que permitem supor que houve aprimoramento na estabilidade dos agregados do solo, melhorando também a capacidade de infiltração do solo superficial podendo-se relacionar com o melhor desempenho na retenção de umidade do mesmo sistema. A média final do sistema S₄, camalhões em curva de nível, para esse indicador foi quase de nível 4 da tabela de classificação da estabilidade dos agregados do solo, o que indica que são solos que podem se reabilitar e que, por meio de técnicas de manejo, como foi o caso, podem gerar resistência à erosão e aprimorar as suas funções hidrológicas.

Estabilidade média dos agregados do solo superficial na AE1

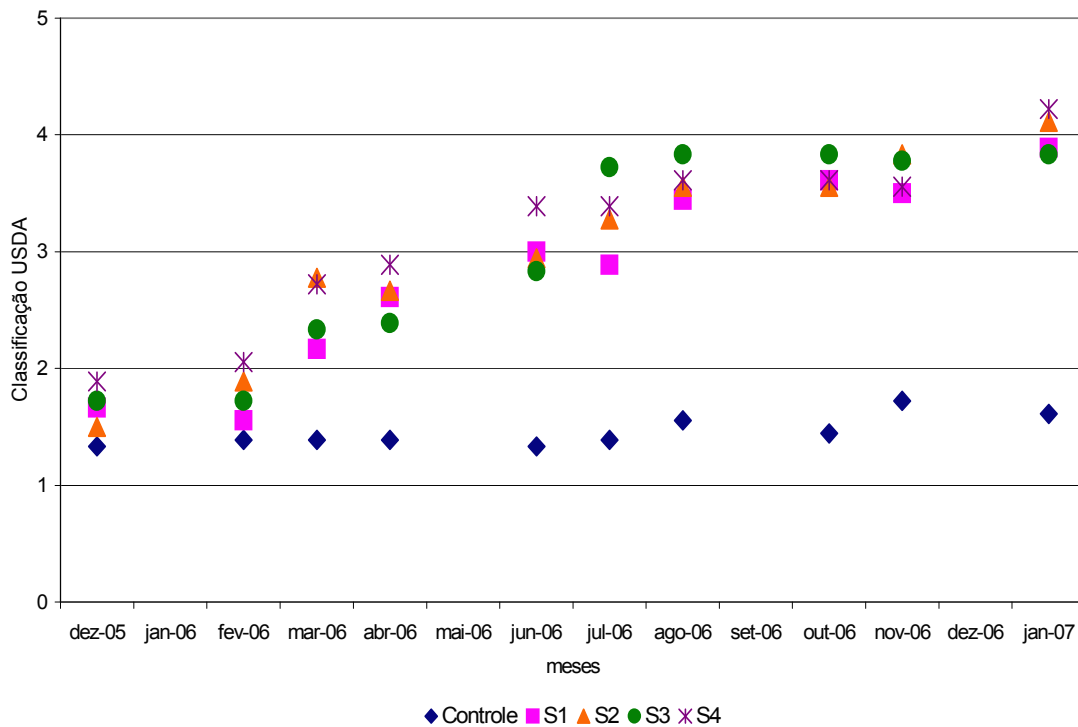


Figura 84: Estabilidade média dos agregados do solo superficial na AE1

Segundo a análise de variância (Tabela 35) e teste de Tukey (Tabela 36), na AE1 existem diferenças muito significativas de todos os tratamentos em relação à área controle, já que a maioria dos tratamentos – S₁, S₂ e S₃ – apresentou valores médios de 3 e o S₄ de 4, enquanto que a área controle permaneceu com valores abaixo de 2 da classificação do USDA de estabilidade dos agregados na camada superficial do solo.

Tabela 35 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo superficial na AE1

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	19,42	4	4,854	36,74	0,0001
Dentro dos tratamentos	19,89	9	2,210		
Residual	4,756	36	0,1321		

Ao aplicar o teste de Tukey (Tabela 36), observou-se que as diferenças significativas são as que existem entre a estabilidade dos agregados do solo em cada um dos sistemas avaliados e a estabilidade dos agregados das amostras da área controle. Esse indicador apresentou aprimoramento nas áreas onde foram implementados os diferentes sistemas de captação de água ao longo do tempo de monitoramento.

Tabela 36 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo superficial na AE1

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
Controle vs S ₁	-1,379	12,00	<i>p</i> < 0,001
Controle vs S ₂	-1,557	13,55	<i>p</i> < 0,001
Controle vs S ₃	-1,543	13,42	<i>p</i> < 0,001
Controle vs S ₄	-1,679	14,61	<i>p</i> < 0,001
S ₁ vs S ₂	-0,1780	1,549	<i>p</i> > 0,05
S ₁ vs S ₃	-0,1640	1,427	<i>p</i> > 0,05
S ₁ vs S ₄	-0,3000	2,610	<i>p</i> > 0,05
S ₂ vs S ₃	0,01400	0,1218	<i>p</i> > 0,05
S ₂ vs S ₄	-0,1220	1,061	<i>p</i> > 0,05
S ₃ vs S ₄	-0,1360	1,183	<i>p</i> > 0,05

O gráfico da figura 85 apresenta o aprimoramento que teve a estabilidade dos agregados do solo subsuperficial ao longo do tempo. Inicialmente a estabilidade dos agregados do solo em subsuperfície apresentou-se no mesmo nível para todos os sistemas, inclusive para a área controle. A presença das árvores, a ação das raízes e a incorporação de matéria orgânica na superfície do solo permitiram, nos pontos onde se concentraram a umidade e o aumento de material vegetal, que as características do solo apresentassem mudanças. Os agregados do solo em subsuperfície da área controle não apresentaram mudanças. Já os tratamentos S₁, S₂, S₃ e S₄ tiveram uma evolução diferente. Os sistemas S₁, S₂ e S₃ mantiveram uma média similar ao longo do tempo, o sistema S₄ melhorou a qualidade dos agregados do solo de maneira muito mais rápida no final do período chuvoso 2005-2006. Os tratamentos S₂, S₃ e S₄ alcançaram níveis acima da qualificação 4. O nível de aprimoramento foi maior no solo subsuperficial do que na camada superficial. Como a qualidade das partículas agregadas do solo melhorou, houve uma diminuição da compactação do solo, o que permitiu a infiltração da água com maior facilidade.

Estabilidade média dos agregados do solo subsuperficial na AE1

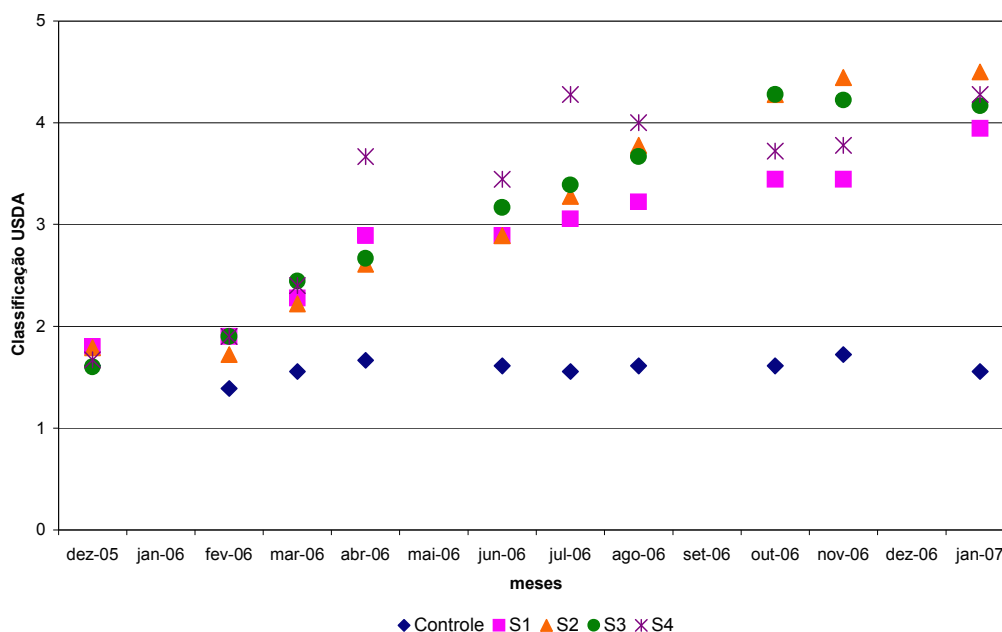


Figura 85: Estabilidade média dos agregados do solo subsuperficial na AE1

A análise ANOVA (Tabela 37) para as amostras sub-superficiais indicou diferenças significativas entre os tratamentos para os valores adquiridos na estabilidade dos agregados do solo subsuperficial.

Tabela 37 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE1

Fonte de variância	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	19,42	4	4,854	36,74	0,0001
Dentro dos tratamentos	19,89	9	2,210		
Residual	4,756	36	0,1321		

O teste de Tukey (Tabela 38), que compara os tratamentos entre si, indica melhores condições do solo subsuperficial dos tratamentos S₁, S₂, S₃ e S₄ se comparados com a área controle, a qual permaneceu com a mesma qualificação, o que faz supor que nessa área não se apresentaram mudanças na qualidade dos agregados do solo subsuperficial, refletido nos dados de umidade e de desenvolvimento das plantas.

Tabela 38 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE1

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
Controle vs S ₁	-1,379	12,00	p < 0,001
Controle vs S ₂	-1,557	13,55	p < 0,001
Controle vs S ₃	-1,543	13,42	p < 0,001
Controle vs S ₄	-1,679	14,61	p < 0,001
S ₁ vs S ₂	-0,1780	1,549	p > 0,05
S ₁ vs S ₃	-0,1640	1,427	p > 0,05
S ₁ vs S ₄	-0,3000	2,610	p > 0,05
S ₂ vs S ₃	0,01400	0,1218	p > 0,05
S ₂ vs S ₄	-0,1220	1,061	p > 0,05
S ₃ vs S ₄	-0,1120	1,023	p > 0,05

Na AE2, as médias dos tratamentos são similares, principalmente no que se refere à estabilidade dos agregados do solo superficial. As amostras, desde o início do monitoramento demonstraram uma boa qualidade. O fato de essa área estar com grau menor de compactação e com maior quantidade de matéria orgânica em superfície pode ter influenciado na estabilidade dos agregados. De fato, os solos em superfície e subsuperfície já apresentavam, inicialmente, uma qualificação média (entre 3 e 4), indicando que o solo é resistente à erosão e a outro tipo de impactos.

Existe semelhança entre os valores médios adquiridos por meio das amostragens, tanto para a estabilidade superficial quanto para a subsuperficial. As mudanças que se apresentaram ao longo do período de monitoramento foram melhores para a camada subsuperficial do que para a superfície do solo. Os valores médios para as amostras dos tratamentos S₃ e S₄ obtiveram uma qualificação em torno de 4 para a estabilidade subsuperficial, enquanto que para a estabilidade das amostras tomadas da superfície os valores médios são similares para todos os tratamentos (Figura: 86).

Pela análise de variância ANOVA, existem diferenças significativas na estabilidade dos agregados do solo superficial dentro dos sistemas da AE2 (Tabela 39).

Tabela 39 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo superficial na AE2

Fonte de variância	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	1,073	3	0,3577	9,73	0,0002
Dentro dos tratamentos	15,62	9	1,735		
Residual	0,9927	27	0,03677		

O teste de Tukey confere que os tratamentos S₃ e S₄ mantiveram mudanças melhores condições na estabilidade do solo superficial durante o período seco, em relação aos outros dois sistemas avaliados (Tabela 40) como pode ser observado graficamente na figura 88. Os tratamentos S₁ e S₂ apresentaram um aprimoramento logo iniciando o período chuvoso.

Tabela 40 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo superficial na AE2

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ vs S ₂	-0,2870	4,733	p < 0,05
S ₁ vs S ₃	-0,3690	6,086	p < 0,01
S ₁ vs S ₄	-0,4260	7,026	p < 0,001
S ₂ vs S ₃	-0,08200	1,352	p > 0,05
S ₂ vs S ₄	-0,1390	2,292	p > 0,05
S ₃ vs S ₄	-0,05700	0,9400	p > 0,05

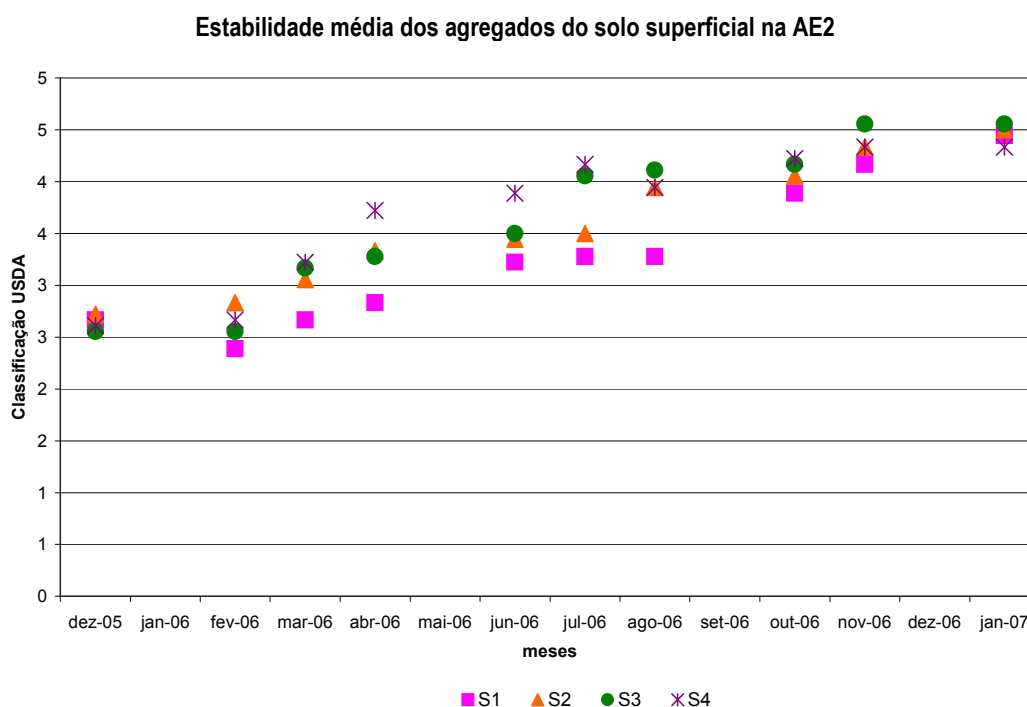


Figura 86: Estabilidade média dos agregados do solo superficial na AE2

Para o mesmo indicador, mas no solo subsuperficial, a análise de variância múltipla ANOVA mostrou que existem diferenças significativas na qualificação dada para a estabilidade dos agregados do solo entre os diferentes tratamentos (Tabela 41).

Tabela 41 – Análise de variância do fator estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE2

Fonte de variância	Soma dos Quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	p
Entre tratamentos	0,9772	3	0,3257	9,729	0,001
Dentro dos tratamentos	16,81	9	1,868		
Residual	0,9040	27	0,03348		

O teste de Tukey (Tabela 42) definiu o tratamento S₃ como o sistema onde as condições de estabilidade dos agregados do solo possuem melhor qualificação e, portanto, o solo do tratamento S₃ tem melhores condições físicas para permitir o desenvolvimento das plantas de maneira mais eficiente. O sistema S₄ também apresentou, no teste, melhor estabilidade no solo subsuperficial em relação aos sistemas S₁ e S₂. O gráfico da figura 89 permite visualizar as condições iniciais e finais dos agregados do solo para os tratamentos na AE2.

Tabela 42 – Teste de Tukey para a estabilidade dos agregados do solo subsuperficial na AE2

Teste de Tukey	Diferença entre as médias	q	p
S ₁ vs S ₂	-0,08200	1,417	p > 0,05
S ₁ vs S ₃	-0,3660	6,325	p < 0,001
S ₁ vs S ₄	-0,3280	5,669	p < 0,01
S ₂ vs S ₃	-0,2840	4,908	p < 0,01
S ₂ vs S ₄	-0,2460	4,251	p < 0,05
S ₃ vs S ₄	0,03800	0,6567	p > 0,05

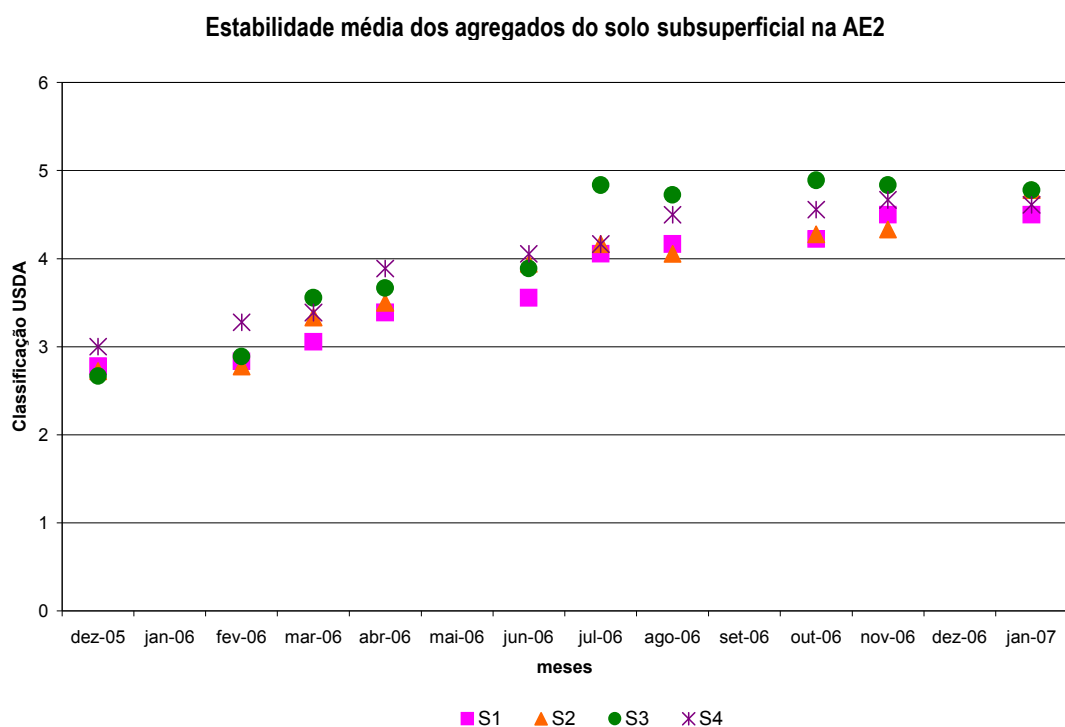


Figura 87 Altura média de *Manguifera indica* na AE

6.4.4 Infiltração superficial

Os ensaios de infiltração superficial, como se mencionou no capítulo 4, foram realizados para determinar o tempo necessário para a infiltração de 500ml de água nos primeiros 3cm na superfície do solo em cada um dos pontos selecionados para cada sistema. Essa informação foi relacionada à textura dos solos de cada uma das áreas experimentais.

Na AE1, os tempos de infiltração superficial foram similares para todos os tratamentos ao longo do tempo, excetuando o mês de março/2006, quando os tratamentos S₃ e S₄ apresentaram tempos de infiltração excessivamente mais altos do que todos os outros registrados, para qualquer dos outros sistemas e para todas as campanhas de monitoramento (Figura 88). Esse comportamento foi consequência da chuva observada no dia anterior ao monitoramento realizado nesse mês.

Os tempos de infiltração superficial diminuíram com a chegada do período seco, para aumentar após o início do período chuvoso, como indicado pelas medições realizadas em novembro/2006, mês com volume bastante alto de precipitação. Em geral, a área controle apresentou os maiores tempos de infiltração superficial durante os períodos chuvosos (início e fim do período de monitoramento) e os menores durante a estiagem, indicando que, em condições naturais, o solo não tem capacidade de reter umidade durante os períodos secos.

Média do tempo de infiltração superficial nos sistemas e área controle na AE1

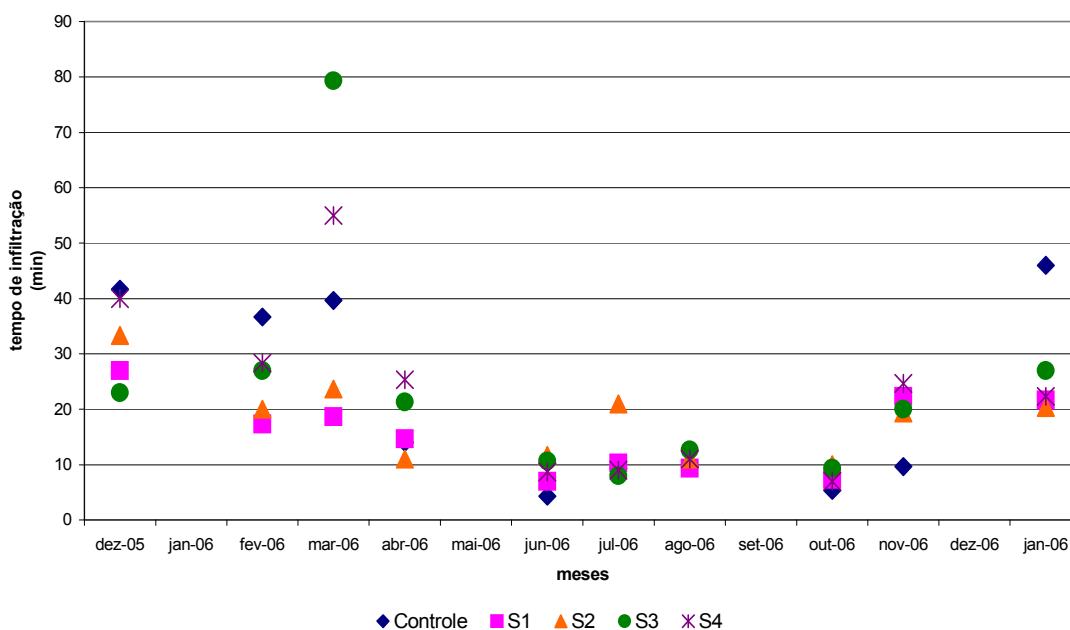


Figura 88: Média do tempo de infiltração superficial nos sistemas e área controle na AE1

Os tempos de infiltração para os tratamentos na AE2 foram relativamente baixos durante o primeiro período chuvoso. Assim como na AE1, os valores altos relativos aos sistemas S₁ e S₃ registrados em março/2006 referem-se a medições realizadas no dia posterior à ocorrência de um evento chuvoso de grande magnitude (Figura 89). Diferentemente do ocorrido para a AE1,

a média dos tempos de infiltração dos sistemas da AE2 sofre ligeiro aumento de junho/2006 a agosto/2006, em um comportamento, de certa forma, inesperado.

Desta vez, de maneira análoga à AE1, os valores do tempo de infiltração relativos a outubro/2006 são dos menores de todo o período de monitoramento e um aumento desses tempos é verificado nas medições de novembro/2006. Nota-se, porém, que, em média, os valores do tempo de infiltração dos sistemas da AE2 são superiores aos respectivos da AE1 (sem considerar os valores relativos à área controle) na fase final de monitoramento (novembro/2006 a janeiro/2007), o que pode ser indicativo de que, após um ano do plantio das mudas frutíferas nos lotes, as transformações nos solos tenham tido o efeito de aumentar a capacidade daqueles da AE2 reter umidade.

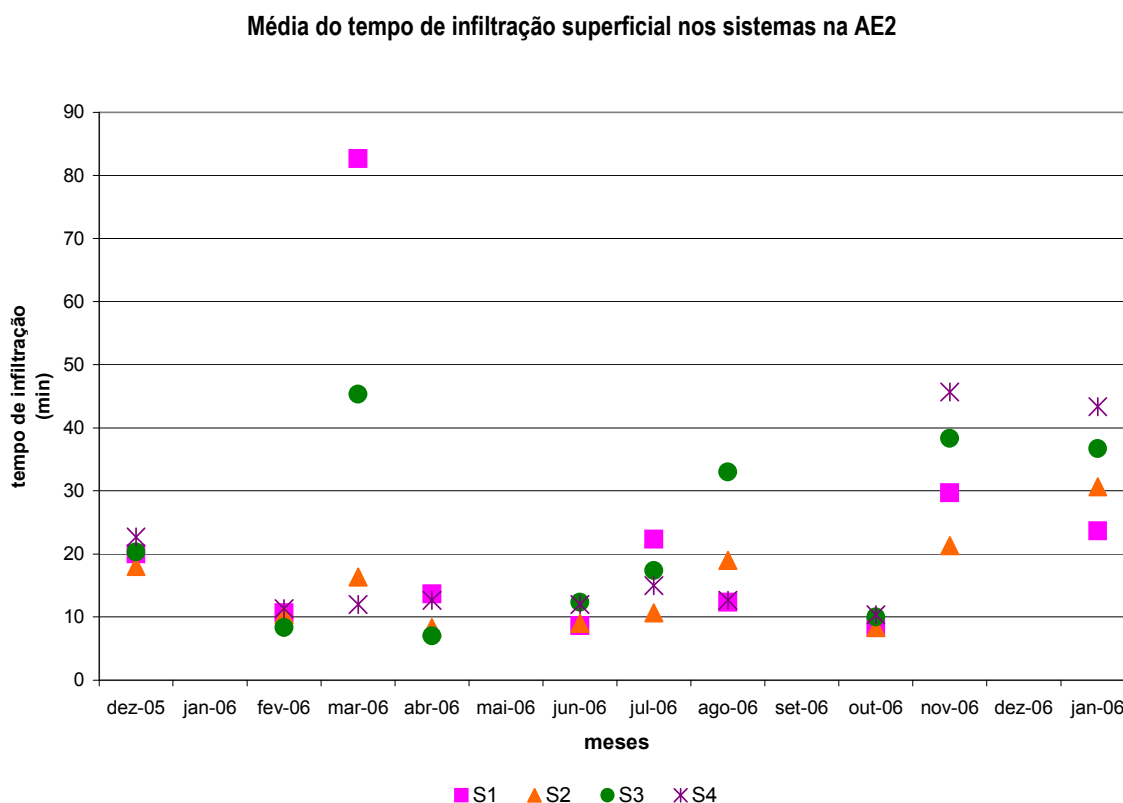


Figura 89: Média do tempo de infiltração superficial nos sistemas na AE2

Deve-se lembrar que o tempo de infiltração registrado por esse método é geralmente muito menor do que a infiltração natural. A infiltração lenta que pode estar acontecendo na AE1 gera a formação de poças ou água encharcada se a área for plana, e onde houver declividade suficiente, pode gerar processos de escoamento, facilitando a erosão em áreas sem cobertura vegetal, como inicialmente a mesma se encontrava.

O solo na AE1 tinha certo grau de compactação, além de possuir um maior teor de argila, o que dificultou a infiltração e permitiu que a camada superficial do solo ficasse saturada em um tempo relativamente menor.

Na AE2, a presença de areia fina e areia grossa permite uma infiltração muito mais rápida e nunca se observou encharcamento, nem imediatamente após de um evento chuvoso de intensidade significativa, como acontecia na AE1 (Figura 90). Junto a essa característica, no perfil de solo da AE2 o conteúdo mais elevado de argila está entre as profundidades de 56 e 100cm, que é onde se concentra o maior número de raízes das árvores. Isso também permitiu que o desenvolvimento das mudas, tanto das mangueiras quanto das goiabeiras, se manifestasse de maneira diferente.



Figura 90: Saturação da camada superficial de solo e encharcamento após chuva na AE1 (março/2006)

6.4.5 Custos de construção

Uma análise feita em relação aos custos de construção para os sistemas implementados neste projeto foi feita com base no número de horas de trabalho necessárias para que a mão-de-obra contratada pudesse escavar os sulcos e construir as leiras ou bordos em uma área de 400m² (considerando o tempo que foi gasto nas duas áreas experimentais) para cada sistema (Tabela 43). Não foram consideradas as horas de trabalho relativas à limpeza das áreas, à demarcação das curvas de nível, tampouco à manutenção dos sistemas durante o período de chuva. Na época da construção dos sistemas (junho de 2005 e novembro de 2005), o valor diário pago a cada trabalhador foi de R\$ 15,00.

A demarcação das curvas de nível, atividade que foi executada no início do projeto, foi a mais difícil de ser realizada, já que as pessoas que ajudaram nessa atividade não sabiam o que

deveria ser feito. Assim o processo teve que ser explicado, várias vezes, para a correta execução da tarefa.

Tabela 43 – Número de horas necessárias para a construção dos sistemas de captação de água de chuva na área de estudo

Sistema	Número de horas
<i>Negarim</i> - S ₁	30
Leirões em semi-círculo - S ₂	20
Leirões em curva de nível - S ₃	16
Camalhões em curva de nível - S ₄	12

As atividades relacionadas com a limpeza e manutenção dos sistemas nem sempre foram realizadas, visto que, para ambas as áreas, podiam representar até 15 horas de trabalho. A reconstrução dos sistemas foi feita em duas ocasiões, uma logo após o início do segundo período chuvoso e a outra – realizada somente na AE1, por um período de 5 horas – durante o segundo período chuvoso, face à elevada altura de precipitação de novembro/2006. O escoamento superficial de grande magnitude associado às chuvas desse mês ocasionou o transporte de uma grande quantidade de sedimentos de uma localizada logo acima da AE1. Boa parte desses sedimentos foi depositada nos sulcos construídos e, em alguns casos, os leirões e camalhões foram destruídos.

Notadamente, esse excessivo depósito de sedimentos tem o potencial de alterar uma das premissas básicas da experiência, qual seja, a de que as características do solo nos lotes só podem ser alteradas pela influência das estruturas de captação de água de chuva implantadas e crescimento das mudas. As atividades de manutenção foram realizadas de forma a, dentro do possível, resgatar as condições imediatamente anteriores à ocorrência de eventos chuvosos de grande magnitude. No caso particular desta pesquisa, o período de monitoramento encerrou-se logo após os eventos que culminaram com esse excessivo depósito de sedimentos nos lotes da AE1, razão pela qual não se pode inferir sua real influência na variação dos indicadores ambientais utilizados para inferir o desempenho das técnicas de captação de água de chuva.

6.5 Discussão dos resultados

Os resultados do presente trabalho permitiram constatar que as características gerais dos solos são fatores determinantes na eficiência das técnicas de captação de água de chuva utilizadas para a recuperação ambiental de áreas sem cobertura vegetal e com solos compactados e propensos à erosão, como é comum no médio do Vale do Jequitinhonha.

No entanto, chuvas torrenciais que acontecem freqüentemente nessa região acentuam a fragilidade do solo e afetam as estruturas dos sistemas de captação, aumentando os custos de construção e manutenção dos mesmos.

As técnicas implementadas e avaliadas neste projeto permitiram estabelecer uma comparação das funções biológicas, hidrológicas e de estabilidade do solo, e com os resultados pode-se estabelecer qual delas teve a maior eficiência na recuperação da estabilidade dos agregados do solo, na produção de matéria orgânica e no melhor aproveitamento da água de chuva disponível para o desenvolvimento das árvores que funcionaram como bio-indicadores.

Da descrição das condições da área de estudo, assim como das áreas experimentais e da análise realizada com dados obtidos através do monitoramento feito dos indicadores selecionados pode-se concluir que o Sistema 4, camalhões em curva de nível foi o mais eficiente na retenção de umidade em quantidade e em tempo, tanto para 20cm quanto 40cm em ambas as áreas experimentais. Isso foi refletido no desenvolvimento das duas espécies arbóreas. Na AE1 as alturas das árvores de manga e goiaba tiveram os melhores resultados no S₄; o S₃ teve também um bom desempenho nesse parâmetro para a espécie *Manguifera indica*, já para a *Psidium guajava* foi o S₂ que permitiu o melhor desenvolvimento em altura na mesma área experimental. Em ambas as áreas o desenvolvimento da copa foi melhor nas árvores que foram plantadas nos sistemas de camalhão em curva de nível, S₄. O sistema S₂ permitiu a maior produção de folhas para as mangueiras na AE2.

A estabilidade dos agregados do solo foi aprimorando nas duas áreas gradativamente e num ritmo diferente segundo o tipo de sistema. Essa mudança aconteceu devido ao aumento de matéria orgânica em decomposição que era integrada ao solo superficial e à presença cada vez maior de atividade biológica que desempenha um papel importante na decomposição de matéria vegetal e no intercâmbio de partículas do solo. Mas os dois sistemas que apresentaram dados de relativo aprimoramento, principalmente no solo subsuperficial, foram o S₃ e o S₄. Os tratamentos S₂ e S₃ na AE1 mostraram uma ligeira mudança positiva nas condições do solo se comparadas com a condição inicial, semelhante à da área controle, onde as mudanças foram insignificantes. Isso indica que tanto S₂ e S₃ têm também a capacidade de melhorar as condições das partículas superficiais do solo, mas é um processo que acontece de maneira mais lenta e que precisaria de estudos mais profundos e com maior tempo de duração para determinar se essa melhoria da estabilidade é real ou temporária.

A capacidade de retenção de água no solo está fortemente relacionada ao indicador de estabilidade dos agregados do solo. Por isso, é importante conhecer a relação solo – vegetação – infiltração superficial, já que essa, no caso apresentado, favoreceu o aumento da estabilidade dos agregados dos solos em todos os sistemas de captação de água testados. Em todos os tratamentos se restabeleceram condições de maior resistência aos processos erosivos, aumentando, ao mesmo tempo, a atividade biológica de diversos artrópodes e nematódeos.

Coincidentemente, os valores de tempo de infiltração foram mudando ao longo do tempo, da mesma maneira que a qualidade da estabilidade dos agregados do solo. A textura do solo e a agregação das partículas influem diretamente na circulação de ar e água, na resistência à erosão e na penetração das raízes. As diferentes características de textura das áreas experimentais condicionaram parcialmente a velocidade de infiltração, mas as mudanças na estabilidade dos agregados favoreceram a infiltração em ambas as áreas. A AE1 apresentou tempos mais lentos de infiltração durante os períodos chuvosos uma vez que nessa área a camada superficial do solo está compactada e tem tendência ao encrostamento pela presença de silte e areia fina, reduzindo a infiltração e favorecendo o escoamento superficial.

No período seco todos os tratamentos apresentaram tempos mais rápidos de infiltração, indicando a pouca ou nula umidade retida na camada superficial. Os valores médios mais rápidos de infiltração em ambas as áreas foram registrados para o S₄, indicando que esse sistema facilitou a movimentação da água na camada superficial do solo e evitando assim a perda de água por escoamento ou evaporação.

Os sistemas S₃ e S₄ tiveram vantagens sobre os outros sistemas avaliados, ainda que o S₂ tenha demonstrado que pode influir no bom desenvolvimento de árvores quando o solo permite condições de infiltração adequadas.

Outro elemento a ser considerado é que, de todos os sistemas, o S₄ precisou de menos trabalho de manutenção, já que a estrutura resistiu ao rompimento dos camalhões durante o período de chuva mais abundante e a quantidade de sedimentos ao longo do sulco foi menor do que nos outros sistemas. O desenho dos tratamentos S₁ e S₂ favoreceu o rompimento dos leirões devido ao aumento do escoamento, principalmente após o mês de novembro de 2006.

Um elemento a ser considerado é o alto volume de precipitação para o ano de 2006, o que influenciou no desenvolvimento das plantas e no desempenho dos sistemas de captação avaliados. Porém, as árvores sobreviveram ao período seco de 2006 aproveitando a umidade armazenada

durante o período chuvoso de 2005-2006, demonstrando que as técnicas testadas são viáveis ter sucesso na recuperação dos ambientes degradados do semi-árido mineiro.

De acordo com os parâmetros analisados, a tabela 46 sintetiza a efetividade dos sistemas de captação de água de chuva testados na recuperação de áreas degradadas.

Tabela 44 – Eficiência dos sistemas de captação de água de chuva testados

Indicador / Sistema	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄
Desenvolvimento da planta	Red	Yellow	Green	Green
1. Altura	Red	Green	Green	Green
Desenvolvimento da planta	Red	Green	Green	Green
2. Número de folhas	Yellow	Green	Green	Green
Umidade no solo	Yellow	Yellow	Yellow	Green
Infiltração superficial	Red	Red	Green	Green
Estabilidade dos agregados do solo	Yellow	Yellow	Green	Green
Taxa de sobrevivência	Red	Yellow	Red	Yellow
Custo de construção e manutenção	Red	Red	Yellow	Green

Pouco eficiente	Red
Eficiente	Yellow
Muito eficiente	Green

O estudo realizado mostra que os sistemas de captação de água de chuva por escoamento podem ser eficientes se aplicados em áreas degradadas de características semelhantes às da região semi-árida do Médio Jequitinhonha. Embora algumas das técnicas aplicadas tenham demonstrado um nível baixo de eficiência, provaram ter vantagens ao favorecer a infiltração no solo e a retenção da umidade na zona das raízes das plantas.

Essas técnicas favoreceram a produção de biomassa, ou seja, da cobertura vegetal permitindo a formação e preservação das camadas superficiais do solo, condição indispensável para garantir a recuperação das funções edáficas e biológicas do local.

Cabe destacar a importância de se conhecer bem as características físicas do local para definir qual deve ser o sistema a ser implantado já que disso dependerá o sucesso ou não da recuperação ambiental ou da produção agrícola, segundo seja o objetivo da intervenção.

Este estudo foi baseado no aporte de água de chuva unicamente e demonstrou que ao se utilizar e aproveitar a chuva, é possível ter uma alternativa de produção agrícola não antagônica com o funcionamento natural dos ecossistemas através de um manejo adequado dos recursos da região. Por tanto a captação de água de chuva é uma alternativa viável de ser aplicada no NE do estado de Minas Gerais para amenizar a vulnerabilidade ambiental e social da região.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

Feita a análise dos resultados obtidos por meio dos diferentes indicadores utilizados nesta pesquisa, foram feitas as seguintes considerações em relação à utilização de técnicas de captação de água de chuva por escoamento:

7.1.1 Implementação dos sistemas e metodologia proposta

A implantação de sistemas de captação de água de chuva por escoamento para recuperação das áreas degradadas selecionadas requereu de um diagnóstico prévio dos elementos físicos do entorno de forma a determinar a possibilidade de sucesso dessas técnicas. Durante a implantação do projeto ficou evidente que esse diagnóstico precisa estar acompanhado de análises de tipo socioeconômicas que permitam entender as inter-relações que determinam as atividades agrícolas e pecuárias e a maneira como os moradores do local percebem o seu próprio entorno ambiental.

A metodologia proposta considera métodos de monitoramento de diferentes indicadores em ambientes semi-áridos na recuperação de pastagens com fins de produção, tendo sido adaptada ao local de estudo, pois não foram encontradas referências de aplicações anteriores em estudos de recuperação ambiental no Brasil. Portanto, essa metodologia ainda deve ser testada, aprimorada e aplicada em locais semelhantes. Ainda assim, julga-se que a mesma sustenta as avaliações desta pesquisa.

7.1.2 As precipitações e o solo

O sucesso ou fracasso da implementação de técnicas de captação de água de chuva por escoamento, seja para recuperação ambiental, seja para produção agrícola, se vê afetado pela variabilidade climática e irregularidade das precipitações na região de estudo e a sua relação com o tipo e granulometria dos solos onde são aplicados esses tipos de técnicas.

A baixa capacidade de retenção de umidade da área controle está relacionada à pobre estrutura do solo, a qual foi demonstrada por meio da análise da estabilidade dos agregados dos solos. O indicador dos agregados dos solos permitiu verificar que a presença de matéria orgânica viva e em decomposição ajuda na restauração das propriedades hidrológicas do solo.

Na região de estudo foram observadas diferenças importantes nas características dos solos, em espaços relativamente pequenos, relacionadas com a dinâmica geomorfológica que acontece dentro da bacia hidrológica nas diferentes unidades de paisagem existentes na área de estudo. Essas diferenças interferiram no nível de eficiência das técnicas de captação de água de chuva avaliadas.

7.1.3 Espécies de árvores selecionadas

A ação mais adequada para estabelecer um processo de restauração ecológica, conforme a literatura referenciada, é a utilização de espécies nativas para permitir a permanência e conservação da biodiversidade da região. Porém, a utilização de um número relativamente alto de espécies nativas dificultaria as comparações entre os sistemas de captação de água de chuva, visto que eventuais diferenças em suas eficiências poderiam ser creditadas às diferentes capacidades de adaptação das espécies escolhidas para plantio. Problemas diversos impediram o plantio de espécies nativas. No entanto, as árvores selecionadas foram de espécies que precisam de um período seco para se desenvolver adequadamente e que possuem capacidade de resistir ao excesso de água no perfil. Ambas as espécies foram adotadas como bio-indicadores do processo de resiliência da cobertura vegetal.

7.1.4 Recuperação de ambientes degradados do semi-árido mineiro

Os sistemas avaliados demonstraram que podem ser utilizados como alternativa para minorar a vulnerabilidade climática e a fragilidade ecológica da região, podendo reverter, em alguns casos, os processos de erosão e perda da qualidade hidrológica dos Latossolos Vermelho-Amarelos que existem na região do médio Vale do Jequitinhonha.

As técnicas de captação de água de chuva, ao favorecer a infiltração da água e manter a capacidade de retenção de umidade no solo, em combinação com outras técnicas de manejo do solo, podem contribuir para minimizar os efeitos dos períodos secos recorrentes no ambiente semi-árido de Minas Gerais.

A experiência levada a cabo demonstrou que o aproveitamento da água de chuva por meio de sistemas de microcaptação favoreceu a infiltração e retenção da água de chuva no perfil do solo, incrementando em até quase 20 pontos percentuais a umidade disponível para as plantas. Isso permitiu – além do desenvolvimento adequado das árvores plantadas – a regeneração da vegetação rasteira nativa e/ou secundária, aprimorando as condições físicas dos solos, especificamente a estabilidade dos agregados do solo, favorecendo as condições para a

presença de elementos bióticos e aumentando as possibilidades de manutenção de um ambiente propício para a preservação e sustentação da biodiversidade dos ecossistemas do local de estudo. Em conjunto, tudo aponta para a efetividade da técnica de captação de água de chuva na recuperação das propriedades hidrológicas do solo e o aprimoramento da estrutura do solo, diminuindo a intensidade dos processos erosivos.

O presente trabalho constitui a primeira experiência completamente documentada no Brasil relativa ao uso e monitoramento de sistemas de microcaptação de água de chuva. Acredita-se que, para essa região semi-árida, a recuperação dos solos degradados é possível com o desenvolvimento de projetos similares, viáveis de serem aplicados a baixo custo e com grandes benefícios ecológicos e, certamente, sociais.

Na etapa de construção e durante a fase experimental foi possível comprovar a eficiência dos sistemas testados para facilitar o processo de recuperação ambiental de áreas degradadas se comparados com a tentativa de reflorestamento sem a utilização de estruturas que permita reter e conservar a água de chuva.

As técnicas exploradas neste trabalho, se aplicadas corretamente, podem atuar efetivamente na conservação de solo e água, com impacto duradouro na produtividade vegetal, seja para conservação ambiental ou produção agrícola. O fato é que essas técnicas ainda não estão sendo aplicadas em grande escala na região semi-árida do Brasil por diversos motivos, sendo o principal, provavelmente, o desconhecimento das mesmas. Outro fator importante é que o benefício para os usuários deve ser importante – sejam econômicos ou ambientais – para incentivar seu uso e provocar mudanças nas práticas tradicionais. Porém, os custos da aplicação dessas alternativas devem estar dentro das possibilidades dos usuários.

Ao mesmo tempo, a introdução dessas novas técnicas deve ser monitorada e a manutenção das estruturas garantida durante um período de tempo suficiente para determinar a real eficiência das mesmas. Notadamente, esse período de tempo é superior ao considerado no presente trabalho experimental.

Em alguns lugares a baixa fertilidade do solo pode ser o fator limitante para a produção vegetal, embora no caso estudado esses fatores sejam a escassez de água e a compactação dos solos. Portanto, conclui-se que, de uma forma geral, os solos da região semi-árida do estado de Minas Gerais sejam aptos para a utilização dessas técnicas de conservação de água para aprimorar as condições ambientais.

Esses sistemas podem ser considerados como técnicas que oferecem uma variedade múltipla de serviços integrados, se aplicados em locais com as características adequadas, visto que:

- proporcionam uma maior resistência das árvores às condições de períodos secos, embora durante esses o ritmo de crescimento das mesmas seja limitado;
- facilitam o desenvolvimento de vegetação rasteira, a qual, em conjunto com as raízes das árvores, aprimora a estrutura do solo e aumenta a capacidade de retenção da água em diferentes níveis do perfil; e
- aumentam a fertilidade do solo por meio da produção de matéria orgânica que se integra ao solo superficial e aos sedimentos acumulados nas áreas de captação (esse material é processado por organismos biológicos aportando nutrientes para as plantas).

Conclui-se que as quatro técnicas de captação de água de chuva por escoamento avaliadas no presente trabalho possibilitam uma alternativa para diminuir tanto a vulnerabilidade ecológica quanto a social da região do Médio Jequitinhonha, facilitando um processo de incorporação de técnicas de manejo sustentável do solo e da água de chuva aos processos produtivos da região. Embora o sistema S₄ (camalhões em curva de nível) tenha apresentado o melhor desempenho no presente estudo, a determinação de qual dos sistemas avaliados deve ser utilizado dependerá das características do local onde será aplicado e dos objetivos estabelecidos.

O estudo só proporciona informações sob uma perspectiva experimental e, provavelmente, até que as técnicas de captação aqui utilizadas sejam aplicadas de maneira extensiva, poderá se determinar se as desvantagens derivadas da variabilidade climática constituem uma limitante na implantação dessas técnicas alternativas. Porém, pode-se afirmar que as vantagens verificadas nesse estudo são importantes para a recuperação ambiental da região semi-árida de Minas Gerais.

Dessa maneira, a presente pesquisa constitui um subsídio para trabalhos práticos a serem aplicados nas áreas rurais do Vale do Jequitinhonha, já que fornece elementos para a aplicação e condução de projetos que visem aprimorar a qualidade ambiental de recursos renováveis do ambiente semi-árido, com vistas à sua preservação.

7.2 RECOMENDAÇÕES

É fundamental que a implantação desse tipo de estruturas seja feita em campos experimentais em larga escala para que sejam obtidas respostas relacionadas aos processos de recuperação do funcionamento hidro-bio-edáfico de determinados locais no Brasil. Ainda que essas estruturas já tenham sido testadas em outros países, os objetivos e as condições geográficas são sempre diferentes entre dois locais.

Apesar da experiência brasileira em recuperação ambiental, as técnicas de microcaptação por escoamento apresentadas neste estudo não haviam sido testadas no país, tornando ainda mais significativa a iniciativa de se estimar sua eficiência a partir de dados de campo, apesar das limitações aqui enfrentadas, face à pequena escala e tempo de monitoramento relativamente curto. Ao longo da pesquisa, e após o início dos trabalhos de campo, foram constatados problemas com a metodologia. Os que contemplavam ações relativamente simples e rápidas para sua solução foram corrigidos. Todavia, alguns dos problemas derivados da concepção do arranjo experimental não puderam ser corrigidos ao longo do processo de elaboração do projeto, como se menciona a seguir, como forma de recomendação para novos estudos experimentais.

Um dos problemas de concepção foi a ausência de uma área controle para acompanhar a evolução dos diferentes parâmetros na AE2. As condições do solo da AE1, e, portanto, também de sua área controle, não refletiam as mesmas características granulométricas nem de compactação ao longo perfil do solo da AE2. E essas diferenças tiveram influência nas características qualitativas de desenvolvimento das árvores. Assim, não foi possível comparar a evolução dos parâmetros entre a área controle da AE1 e as áreas com tratamento da AE2.

Desde o início da pesquisa sabia-se que um maior número de árvores e áreas experimentais sustentaria análises comparativas ainda mais robustas das eficiências das técnicas de captação de água de chuva. Os limites da pesquisa foram definidos por dificuldades de ordem logística, financeira e de tempo associadas, por exemplo, à cessão de áreas experimentais, à obtenção e ao transporte de mudas, à aquisição de equipamentos de monitoramento, à análise de amostras de solo em laboratório, aos longos e demorados deslocamentos de Belo Horizonte ao campo e à necessidade da presença da pesquisadora no campo para executar a maior das medições dos indicadores ambientais. Adicionalmente ao número relativamente restrito de árvores em cada sistema, não se tinha a idéia de qual seria a taxa de perdas de indivíduos, por exemplo, durante veranicos e períodos de seca ou, pela não resistência ao encharcamento, durante

períodos de grandes volumes de chuva. De fato, quase todas as árvores plantadas na área controle não sobreviveram até o final do período de monitoramento e foram muito significativas as perdas em alguns dos sistemas da AE1. Portanto, recomenda-se, dentro do possível, que novos estudos sejam realizados com um número maior de indivíduos.

No caso do fator umidade, percebeu-se a necessidade de se colocar um número maior de blocos de gesso em cada uma das estruturas. De certa forma, o equipamento utilizado apenas forneceu uma estimativa da variação qualitativa da umidade do solo ao longo do tempo. Face aos problemas enfrentados, principalmente com valores de umidade medidos em época de seca, os resultados obtidos devem ser interpretados com reservas. De maneira ideal, deveria ter sido utilizado outro tipo de equipamento para se obter medições mais confiáveis, e em um número maior de pontos e profundidades.

A quantificação de matéria orgânica, tanto no início quanto no final do período experimental, foi um parâmetro que não foi considerado e que, com certeza, poderia ter proporcionado informação valiosa para se determinar, de maneira mais fidedigna, os níveis de recuperação da estrutura superficial e sub-superficial dos solos.

A realização da experiência em direto contato com a sociedade local tem seus benefícios, principalmente porque é possível avaliar as percepções dos potenciais beneficiários com o desenvolvimento do projeto. Por outro lado, a realização de pesquisas semelhantes em campos agropecuários de instituições de pesquisa talvez evitasse alguns dos problemas ligados aos diferentes interesses dos atores presentes no local – pequenos proprietários, ONG's e autoridades municipais –, como aconteceu na elaboração do presente estudo. Adicionalmente, eliminaria a interferência de elementos sobre os quais não se teve controle como a passagem de crianças entre as estruturas da AE1 e a destruição de alguns blocos (substituídos posteriormente) de monitoramento de umidade. Espera-se que essa interferência não tenha alterado significativamente os valores dos indicadores utilizados, o que ocorreria, por exemplo, caso tivessem sido retiradas folhas das árvores, mas não há indícios quanto a isso.

De maneira geral, para poder implementar em pequena ou grande escala um projeto similar devem ser considerados aspectos importantes em relação aos elementos físicos do local. Portanto, além das condições climáticas e das características do solo, é fundamental um conhecimento das características geomorfológicas e da dinâmica dos processos erosivos atuantes no local a fim de se evitar a geração de problemas ambientais mais complexos. A

seguir são abordadas apenas algumas das precauções que podem facilitar a implementação de técnicas de captação por escoamento em regiões semi-áridas degradadas:

- deve ser realizado um estudo prévio das características climáticas, geográficas e geomorfológicas da área onde serão implantadas essas técnicas;
- devem ser realizadas análises de laboratório das características físicas e químicas dos solos a fim de garantir a efetividade do funcionamento dessas técnicas e evitar problemas que favoreçam processos de erosão ou de salinização;
- deve-se considerar a fragilidade do solo para avaliar os custos de construção e manutenção dessas técnicas;
- são necessários estudos sobre requerimentos hídricos das espécies vegetais nativas do Cerrado e Caatinga para poder implementar projetos de recuperação ambiental que proporcionem a conservação e preservação da biodiversidade desses ecossistemas endêmicos do Brasil; e
- se essas técnicas forem utilizadas para a produção agrícola, devem ser acompanhadas de outras técnicas de manejo e conservação do solo, como a adubação orgânica, o plantio direto e o uso de matéria vegetal para cobrir o solo (*mulching*) de forma a evitar a perda de umidade da camada superficial do solo por evaporação.

Como foi mencionado, o desenho experimental é o ponto fundamental neste tipo de pesquisa. Seria ideal contar com áreas maiores para poder implementar várias réplicas dos diferentes sistemas de captação para agricultura por escoamento. Em cada lote, a área controle e as áreas com sistemas deveriam estar dispostas de forma que não influenciassem as demais no que se refere ao escoamento superficial, ou seja, não deveriam estar posicionadas ao longo de uma vertente. Isso eliminaria possíveis diferenças em suas eficiências que pudessem ser atribuídas a variações no tipo de solo e de relevo. Adicionalmente, permitiria, por exemplo, a aplicação da ANOVA de dois fatores em grupos aleatórios, permitindo obter resultados mais significativos sobre o processo de recuperação do local.

Por certo, o número mínimo de árvores plantadas em cada sistema e na área controle para que sejam realizadas comparações estatisticamente robustas é muito superior àquele utilizado neste estudo. De qualquer maneira, acredita-se que o número médio considerado (um pouco inferior a 20 por sistema) subsidia as conclusões obtidas nesta pesquisa.

São poucas as pesquisas relacionadas aos tipos de indicadores e sua frequência de monitoramento para avaliar a eficiência de sistemas de captação por escoamento em ambientes semi-áridos. Os indicadores utilizados neste estudo refletem as mudanças que ocorrem em processos ecológicos que são básicos para um bom funcionamento dos ecossistemas. A umidade no solo, a estabilidade dos agregados do solo, a infiltração superficial e o desenvolvimento da planta proporcionaram dados suficientes para reconhecer as condições da estabilidade do solo, a função hidrológica do local e a sua relação com a vegetação. No entanto, a informação mais valiosa foi proporcionada pelos indicadores de desenvolvimento da planta, de umidade e de estabilidade dos agregados do solo. O indicador de infiltração superficial não proporcionou dados suficientemente claros que ressaltassem um aprimoramento no funcionamento hidrológico do solo. Provavelmente, é preciso usar outro indicador que considere a capacidade de infiltração no solo em profundidade maior, mas isso requer outro tipo de equipamento e tempos prolongados de observação.

De maneira ideal, as espécies plantadas deveriam ser nativas, com características fenológicas que permitissem um melhor desenvolvimento frente às espécies competidoras, como os pastos, mas possibilitando a diversidade de espécies locais. Da mesma maneira, o tempo de monitoramento, para subsidiar análises mais robustas de dados, deveria ser maior que o tempo disponível para esta pesquisa, já que, pela fragilidade das regiões semi-áridas, as alterações ambientais podem ser alteradas de maneira importante em pouco tempo por diversos fatores, tanto naturais como antrópicos.

A gestão de recursos na região semi-árida do Brasil precisa de pesquisas permanentes que envolvam a captação de água de chuva com aspectos de recuperação, conservação e dinâmica ambiental, estabelecendo um programa sistemático de implantação de áreas demonstrativas e de monitoramento de diferentes indicadores para os diferentes ecossistemas nela presentes. Esses estudos devem ter continuidade e metas a curto, médio e longo prazos para se determinar os reais benefícios, considerando tempos de resposta e custos de instalação e manutenção, da utilização das técnicas de captação de água de chuva na recuperação ambiental.

É importante fomentar a participação da população por meio de programas permanentes de educação ambiental e de treinamento na utilização das técnicas de manejo dos recursos água e solo, para que essa possa, também, participar na tomada de decisões relacionadas a atividades de recuperação ambiental.

Apesar dos problemas enfrentados e das fontes de incerteza das medições realizadas, acredita-se que os resultados desta pesquisa sustentam a idéia de que o processo de recuperação com a utilização de técnicas de captação de água por escoamento é viável. De maneira ideal, deveria se avaliar a efetividade dessas técnicas em diferentes locais do Brasil cujas características geográficas permitam a utilização das técnicas aqui expostas para reverter processos de degradação de solos e vegetação. Ainda assim, existe a necessidade de se desenvolver uma metodologia e parâmetros específicos relacionados aos solos, vegetação e intensidade das chuvas para viabilizar a utilização dessas técnicas de maneira eficiente e segura.

8 REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Paleoclimas* (Instituto de Geografia, Universidade de São Paulo), v.3, p.1-19, 1977.
- AB'SABER, A. *O suporte geoecológico das florestas beiradeiras (ciliares)*; RIBEIRO, R e LEITAO, H. (editores). Matas ciliares, conservação e recuperação. São Paulo: EDUSP, pp.15-25, 2000.
- AGNEW, C. & ANDERSON, E. *Water resources in the arid realm*. Routledge, New York, 1992.
- AGRONOMISTS and Foresters Without Frontier, 2007. Disponível em www.agrfor.org, acesso em fevereiro, 2007.
- ALLAN, J. & FLECKER, A. Biodiversity conservation in running waters, *BioScience* 43:32-43, 1993. *apud* REIMOLD, R. *Watershed Management. Practice, Policies and Coordination*. McGraw Hill. New York, 1998.
- ALLEN, M R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). *Irrigation and drainage paper No. 56*, FAO Water Resources, Development and Management Service. Rome, Italy, 1998.
- AMORIM, I; SAMPAIO, E.; ARAÚJO, E. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Acta botânica brasileira*, v. 19, no. 3 pp. 615-23, 2005.
- ANDRADE, L.A. de; PEREIRA, I.; LEITE, U.; BARBOSA, M.R. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. *CERNE*, Lavras, v.11, n.3, pp. 253-262, 2005.
- ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. *Revista Brasileira de Botânica* 4: 149-153. 1981.
- ASSOCIATION Papyrus, Disponível em http://www.association-papyrus.com/iam_kouch.php acesso em março, 2007.
- AYOADE, J.O. Introdução à climatologia para os trópicos. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.
- BAER, W. *A economia brasileira*. São Paulo: Nobel, 1996 *apud* MORAES e TUROLLA, Visão geral dos problemas e da política ambiental no Brasil, *Informações Econômicas SP*, v.34, n.4 abril, 2004.
- BALEK, J. 1983. Hydrology and water resources in tropical regions. *Developments in Water Science*, No. 18, Elsevier, Amsterdam. *apud* PONCE, V.M. Management of droughts and floods in the semiarid Brazilian Northeast - the case for conservation. (*Special Issue: Water Research and Management in Semiarid Environments*). *Journal of soil and water conservation*. v.50, n5, pp. 422 Sept-Oct 1995.
- BEAUMONT, P. Water resources and their management in the Middle East. in: CLARKE, J. & BOWEN-JONES (eds.) *Change and development in the Middle East*. Methuen, London. 1981 *apud* AGNEW, C. & ANDERSON, E. *Water resources in the arid realm*. Routledge, New York, 1992.
- BISWAS, A & TORTAJADA, C. editors. *Integrated River Basin Management. The Latin American experience*. New Delhi, India, Oxford India Paperbacks, 241p. 2001.
- BOERS, T. M. and BEN-ASHER, J. 1982, A review of rainwater harvesting. *Agric. Water Managem.* 5:145-158 *apud* PRINZ, D. & MALIK, A. Runoff farming WCA infoNET, 2002
- BOERS, T.; GRAAF, M.; FEDDES, R.; BEN-ASHER, J. A linear regression model combined with a soil water balance model to design Micro-catchments for water harvesting in arid zones. *Agricultural Water Management*, Elsevier Science Publishers n.11, pp 187-206. 1986.
- BOT, A. & BENITES, J. The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food and production. FAO, Rome, 2005.

- BOYER, J. & WESTGATE, Grain yields with limited water. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 55, No. 407, Water-Saving Agriculture Special Issue, pp. 2385–2394, November 2004.
- BRAGAGNOLO, Nestor & PAN, Waldir. A experiência de programas de manejo e conservação dos recursos naturais em microbacias hidrográficas. Uma contribuição para o gerenciamento dos recursos hídricos, 2000, *apud MUÑOZ, H. R. (org.), Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas de 1997. 2a Ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos*, Brasília, 2000.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Cartilha da nova delimitação do semi-árido brasileiro. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional, Brasília, MI, 2005.
- BRIGGS, M. Developing recovery plans for riparian ecosystems. *Southwest Hydrology*. March – April 2003.
- BROWN, K. *Insetos indicadores da história, composição, diversidade e integridade de matas ciliares*. in: RIBEIRO, R. et al. Matas conservação e recuperação. Edusp, FAPESP. 2001.
- BROWN, L. The agricultural link: how environmental deterioration could disrupt economic progress. *World Watch Institute*, 1997.
- BROWN, L., GARDNER, G., HALWEIL, B., Beyond Malthus. *Nineteen Dimensions of the Population Challenge* The Worldwatch Environmental Alert Series Linda Starke, Series Editor W.W. NORTON & COMPANY, New York London. 2003
- BRUINS, H. J. Drought risk and water management in Israel: Planning for the future. In *Drought assessment, management and planning: Theory and case studies*, ed. D. A. Wilhite, 133-155. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1993, *apud* BRUINS, H.; AKONG'A, J. RUTTEN, M.; KRESSEL, G. Drought planning and rainwater harvesting for arid-zone pastoralists: the Turkana, the Maasai, and the Negev Bedouin, ALN, 2005.
- BRUINS, H. J.; EVENARI, M. and NESSLER, U. Rainwater-harvesting for Food Production in Arid Zones. *Applied Geography* 6, 13-32, 1986.
- CADA, G.F. & HUNSAKER, C.T. Cumulative impacts of hydropower development: Reaching a watershed in impact assessment in: REIMOLD, R. (editor) *Watershed Management. Practice, Policies and Coordination*. McGraw-Hill, USA, 1990.
- CALBO, A. & SILVA, W. Sistema gasoso de controle de irrigação. EMBRAPA, 2005.
- CALDAS PINTO, Maria do Socorro; BORGES Cavalcante, Maria Andréa; MEIRA de Andrade, Maria Verônica. Potencial forrageiro da caatinga, fenologia, métodos de avaliação da área foliar e o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de plantas. *Revista Eletrônica de Veterinária* Vol. VII, nº 04, Abril/2006.
- CAMPBELL-CLAUSE, J. Using gypsum blocks to measure soil moisture in vineyards. *FarmNote*. Department of Agriculture and Food. Government of Australia. 2005.
- CASTELLETTI, C. H. M.; SILVA, J.; TABARELLI, M.; SANTOS, A. Quanto ainda resta da Caatinga? Uma estimativa preliminar, pp. 91-100 in SILVA, J; TABARELLI, M; FONSECA, M.; LINS, L. editores. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004.
- CAVALCANTI, I.F.A, C. A SOUZA, V.E. KOUSKY, 2002. The low level jet east of Andes in the NCEP/NCAR reanalysis and CPTEC/COLA AGCM simulation. AMOS/CLIVAR WCRP Conference on South American low level jet. Sta Cruz de La Sierra, Bolivia. http://www.cima.at.fcen.uba.ar/sallj_conf_extabs.html
- CAVALCANTE, Maria Andréa; MEIRA De Andrade, Maria Verônica. Potencial forrageiro da caatinga, fenologia, métodos de avaliação da área foliar e o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de plantas. *Revista Eletrônica de Veterinária REDVET*, Vol. VII, nº 04, Abril/2006.
- CECH, T. Principles of water resources. History, development, management and policy. John Wiley & sons. New York, 2003.
- CEDRAZ, M. Gerenciamento dos recursos hídricos. Um tema em discussão. *apud* (s.a.)

- Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos Desafios da Lei de Águas de 1997. Brasília, 2001.
- CPC – Centro de Previsão Climática. Previsão climática sazonal, INPE, 2003 *apud* PINTO, E. J. de Andrade. Estudo de indicadores climáticos para a previsão de longo termo de vazões na bacia do alto São Francisco. Tese de doutorado. Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, UFMG, 2005.
- CETEC – FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS. Projeto: Estudos integrados do Vale do Jequitinhonha. Vol. V. Recursos Vegetais. Relatório final, Belo Horizonte, 1980.
- CHEN, Z. “Runoff Farming for increased agriculture production”; GANSU RESEARCH INSTITUTE FOR WATER CONSERVANCY (2004) Rainwater Harvesting. Lecturing material for the International Course on Rainwater Harvesting, Ministry of Water Resources of People’s Republic of China, FAO, Gansu, China, pp. 80-149, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia fluvial. Fundação de amparo à pesquisa do estado de São Paulo, 1981.
- CLEWELL, A., RIEGER, J., MUNRO, J. Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects. Society for Ecological Restoration Publications, 2000.
- COIMBRA-Filho, A. F. & CAMARA I. de G.. Os limites originais do bioma Mata Atlântica na região Nordeste do Brasil. Fundação Brasileira para Conservação da Natureza, Rio de Janeiro 1996.
- CONAF-JICA. CORPORACIÓN NACIONAL FORESTAL – JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. Manual de control de erosiones. Proyecto Cuencas CONAF-JICA Control de Erosión y Forestación en Cuencas Hidrográficas de la Zona Semi-árida de Chile, Santiago de Chile, 73p., 1998.
- CONTI, J. B. Clima e Meio Ambiente. 1a ed. São Paulo: Atual, 1998. *apud* VERÍSSIMO, M. Algumas considerações sobre o aquecimento global e suas repercussões. Departamento de Geografia, UFPR, 2002.
- COOKE, R. & WARREN, A. Geomorphology in deserts. Batsford, London. 1973 *apud* AGNEW, C. & ANDERSON, E. *Water resources in the arid realm*. Routledge, New York, 1992.
- CORDOVAL, L. *Barraginhas para captação de água de chuvas, recuperação de áreas degradadas e regeneração de mananciais* 4º simpósio de manejo e captação de água de chuva, Julio 2003a.
- CORDOVAL, L. Micro-dams for rainfall water retention in Central-West Brazil Pilot Project on water and soil conservation in the micro-basin of the Paiol stream. Land-Water linkages in Rural Watersheds Electronic Workshop. Case study 25. 18 september- 27 October, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 2005.
- CORDOVAL, L. *Barraginhas para captação de água de chuvas, recuperação de áreas degradadas e regeneração de mananciais – A, B, C, D – fases da mobilização*. Petrolina, PE, 09-11 de julho, 2003b.
- CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do Município de Itinga-MG. Ministério de Minas e Energia, 2005.
- CRITCHLEY, W. & SIEGERT, K. Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production, FAO, Rome, 1991.
- DA SILVA, J. A modernização dolorosa. RJ, Zahar Editores, 1981 *apud* GALIZIONI, F.; RIBEIRO, E. Notas sobre água de chuva: o Programa Um milhão de Cisternas do Semi-árido mineiro. XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu-MG, Brasil. Setembro 20-24, 2004.
- DAWSON, B & TRAPP, R (2002) Bioestadística Clínica básica. McGraw Hill, 10a Edición, 2002.
- DERRUAU, M. Geomorfologia. Editorial Ariel. Barcelona, 1983.
- DREGNE, H. Soils of arid regions. Elsevier, Oxford. 1976 *apud* LAL, R. *Managing tropical*

- soil resources for food security and environmental quality. in: FORMOSO e CERRI (orgs.) Workshop on tropical soils. Academia brasileira de ciências, Rio de Janeiro, 1999.*
- DROPPELMANN, K. & BERLINER, P. Runoff agroforestry technique to secure the livelihood of pastoralists in the Middle East *Journal of Arid Environments*. N. 54, pp. 571–577, 2003.
- DURAND B.; SERVAIN, J.; LAURENT, H.; MACHADO, L. Tropical Atlantic Moisture Flux, Convection over Northeastern Brazil, and Pertinence of the PIRATA Network. Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. *Agricultural and Forest Meteorology*. vol. 103, pp. 43–58 2005
- EGER, H. Runoff Agriculture. Reichert, Wiesbaden. 1988 *apud* PRINZ, D. Keynote Lecture The role of water harvesting in alleviating water scarcity in arid areas, 1988.
- EHRENFELD, Joan G. Defining the limits of restoration: the need for realistic goals. in: *Restoration Ecology*, vol.8, no.1 pp2-9. March, 2000.
- EMATER-PR – INSTITUTO PARANAENSE DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL. “Contribuição da assistência técnica e extensão rural para o desenvolvimento sócio-econômico das propriedades rurais da região de Pato Branco-PR”. 1994.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF THE UNITED STATES OF AMERICA. Stream Corridor Restoration. USA,1998.
- EVENARI, M. SHANAN, L., TADMOR, N. The Negev. The Challenge of a Desert, Harvard College. United States of America, 1982.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Efectos de los fenómenos climatológicos adversos en la producción y el comercio de los alimentos. 26ª Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Mérida, México, 10 -14 de abril, 2000.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. La collecte des eaux de surface en Afrique de l’Ouest et du Centre *Bureau Régional pour l’Afrique*, Accra Ghana, 2001.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Conservation agriculture. Case studies in Latin America and Africa FAO Soils Bulletin 78 Land and Plant Nutrition Management Service. Land and Water Development Division, Rome, 2001a.
- FAO- RAZZAGHI, M.; RABTI, M.; TALIB, H.; ABULKHAIR, S. Rain Water Harvesting is a way for Diminishing Drought Impact, ICID/FAO workshop, 2002.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The State of Food Insecurity in the World 2003. Monitoring progress towards the World Food Summit and Millennium Development Goals, Rome, 2003.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Drought resistant soils. Optimization of soil moisture for sustainable plant production. FAO E-conference, nov-dec, 2004.
- FENG, L. & TANG, J. Geological environment and causes for desertification in arid-semiarid regions in China, in: *Environmental Geology* 41, 806- 815, 2002.
- FERREIRA, A., FURTADO, J; MATOS, R. Vale do Jequitinhonha; história e geo-história, *Cadernos do Leste*, Belo Horizonte, v.1,n.2, pp.1-83, 2000
- FIGUEIRO, J.; PAREYNA, F.; ARAÚJO, E. DA SILVA, C. DOS SANTOS, F.; CUTLER, D.; BARACAT, A. GASSON, P. Effects of cutting regimes in the dry and wet season on survival and sprouting of woody species from the semi-arid caatinga of northeast Brazil. *Forest Ecology and management*. Vol. 299, pp. 294-303, 2006.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, Processos históricos de ocupação do espaço geográfico no

NE de Minas Gerais, 1983.

GALINKIN, M., LOPES, M., ARAUJO, D., JACCOUD, D., Oportunidades de renda para o Cerrado. Fundação Centro Brasileiro de Referência e Apoio Cultural (CEBRAC), Brasília, 1999.

GALIZIONI, F. & RIBEIRO, E. Notas sobre água de chuva: o Programa Um milhão de Cisternas do Semi-árido mineiro. XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu-MG, Brasil. Setembro 20-24, 2004.

GALIZIONI, F. RIBEIRO, E. DOS SANTOS, I.; CHIODI, R.; LIMA, V. Água e aglomeração espacial da população rural do alto Jequitinhonha, MG. ABEP, 2006.

GARCIA, L. Experiences in the Preparation of watershed Management Projects in Latin América. in: BISWAS, A & TORTAJADA, C. editors .Integrated River Basin Management. The Latin American experience. New Delhi, India, Oxford India Paperbacks, pp.95-106, 2001.

GOEL, A. & KUMAR, R. Economic analysis of water harvesting in a mountainous watershed in India. *Agricultural Water Management*. N. 71, pp. 257-266, 2005.

GOINS, L. An Introductory Guide to Water Harvesting in Ambos Nogales. Soil, Water and Environmental Science Bureau of Applied Research in Anthropology University of Arizona, 2002.

GOOD, R. The geography of flowering plants. J. Wiley, New York. 1970.

GOODWIN, Ian. Gypsum blocks for measuring the dryness of soil. Agriculture notes, September, Victoria, Australia, 2000.

GOULD, J. Contributions Relating to Rainwater Harvesting. Workshop Proceedings on Capacity Development in Agricultural Water Management, FAO, Moscow, 2004.

GREENPEACE, Mudanças de clima, mudanças de vida. Cartilha sobre as mudanças climáticas. São Paulo, 2007.

GUERRA, A. & CUNHA, Geomorfologia do Brasil. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1998.

GUERRA, P.B. 1981. A civilização da seca: O Nordeste e uma historia mal contada. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), Fortaleza, Ceará, Brasil *apud* PONCE, V.M. Management of droughts and floods in the semiarid Brazilian Northeast - the case for conservation. (*Special Issue: Water Research and Management in Semiarid Environments*). *Journal of soil and water conservation*. vol50, n5, pp. 422 Sept-Oct 1995.

GUIMARÃES, A. Estudo geográfico do Vale Médio Jequitinhonha. Imprensa Oficial, Belo Horizonte, 1960.

GUPTA, G. N. Rainwater management for tree planting in the Indian Desert. *Journal of Arid Environments*. N. 31, pp. 219-235, 1995.

GWIN, S.E., KENTULA, M.E., SHAFFER, P.W. Evaluating the Effects of Wetland Regulation through Hydrogeomorphic Classification and Landscape Profiles. *Wetlands* 19(3): 477-489. 1999.

HALPIN, G. SKELHORN, J. & ROW, C. So you have chosen an unequal cell size ANOVA option. Annual meeting of the Mid-south Educational Research Association. Kensington, Ky. 1991.

HERNANDEZ, F.B.T. Efeitos da supressão hídrica nos aspectos produtivos e qualitativos da cultura do melão. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ,1995. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo, 1995. *apud*, CALDAS PINTO, Maria do Socorro; BORGES Cavalcante, Maria Andréa; MEIRA de Andrade, Maria Verônica. Potencial forrageiro da caatinga, fenologia, métodos de avaliação da área foliar e o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de plantas. *Revista Eletrônica de Veterinária* Vol. VII, nº 04, Abril/2006.

HERRERA, E. & WHITE, J. Measuring soil moisture in pecan orchards. College of Agriculture and Home Economics, Las Cruces, New Mexico State University, 2002.

HERRICK, J; JUSTIN, W.; VAN ZEE, W.; HAVSTAD, K.; BURKETT, L. WHITHFORD.

- W. Monitoring Manual for Grassland, Shrubland and Savanna Ecosystems Volumes I e II . USDA-ARS Jornada Experimental Range, 2005.
- HINRICHSEN, D. A human thirst. World Watch Institute, 2003.
- HUGHES, O. & J.H. VENEMA (eds.). *Integrated soil, water and nutrient management in: Semi-arid Zimbabwe*. Farmer Field Schools Facilitators' Manual, vol. 1. Harare, Zimbabwe: FAO. 2005.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. Diagnóstico ambiental da bacia do Rio Jequitinhonha. Diretrizes gerais para a ordenação territorial. 1997.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. IBGE cidades. 2000. Disponível em www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php, acesso em junho 2005.
- JIE, T. & NIANFENF, L., Some problems of ecological environmental geological in arid-semiarid areas of China. in: *Journal of Environmental Geology* 26:64-67, 1995. *apud* FENG, L., TANG, J. Geological environment and causes for desertification in arid-semiarid regions in China, in: *Environmental Geology* 41, 806- 815, 2002.
- KAGEYAMA, P. & GANDARA, F. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES e LEITAO. *Matas ciliares. Conservação e recuperação*, Edusp, PAPESP, 2001.
- KARR & CHU, *Restoring life in running waters: better biological monitoring*, Island Press, Washington, D.C. 1991 *apud* RICHARD, H. NORRIS e MARTIN C. Thomas. What is river health. In: *Freshwater biology*, no.41, pp.197-209, 1999.
- KARR, James. Defining and measuring river health. *Freshwater biology*. Blackwell Science, Ltd. pp.221-234, 1999.
- KING, L. “A Geomorfologia do Brasil Oriental”, in: *Revista Brasileira de Geografia*, abril-junho, No.2, 1965.
- KLINK, C.A., Relatório. Entre o desenvolvimento agrícola e a biodiversidade. pp.25-27. in: VIII Simpósio sobre Cerrado, 1st International Symposium on Tropical Savannas. ed.: R.C. Pereira, L.C.B. Nasser. 1996. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 508 p. 1996. *apud* GALINKIN, M., LOPES, M., ARAUJO, D., JACCOUD, D., Oportunidades de renda para o Cerrado. Fundação Centro Brasileiro de Referência e Apoio Cultural (CEBRAC), Brasília, 1999.
- KLOSS, S. & McBRIDE, J. Geographic Patterns of Variation in Biomass Production of California Blue Oak Seedlings as a Response to Water Availability. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-184. 2002.
- KUDAKWASHE, M.; CHUMA, E.; MUKAMURI, B. Rainwater harvesting for sustainable agriculture in communal lands of Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol 29: 1069-1073, Elsevier, 2004.
- KULINSKAYA, E. & GAO, H. Power approximations in testing for unequal means in one-way anova. University of Hertfordshire, 2003.
- KVERY, J.; MARSHAL, J.K. Assessment of leaf area and other assimilating plant surfaces. In: CATZK, J.; JARVIS, P. G. (Ed.). *Plant photosynthetic production: manual of methods*. The Hague: Junk, 1971. p. 517-575. *apud*, CALDAS PINTO, Maria do Socorro; BORGES Cavalcante, Maria Andréa; MEIRA de Andrade, Maria Verônica. Potencial forrageiro da caatinga, fenologia, métodos de avaliação da área foliar e o efeito do déficit hídrico sobre o crescimento de plantas. *Revista Eletrônica de Veterinária* Vol. VII, nº 04, Abril/2006.
- LAENNEN, A. & DUNNETTE, D. River quality. Dynamics and Restoration. USA, Lewis Publishers, 463p., 1997.
- LAL, R. *Managing tropical soil resources for food security and environmental quality*. in: FORMOSO e CERRI (orgs.) Workshop on tropical soils. Academia brasileira de ciências, Rio de Janeiro, 1999.
- LAL, R. Managing world soils for food security and environmental quality. in: *AA*, vol 74, p 155-192, 2001.
- LAVEE, H.; POESEN, J.; YAIR, A. Evidence of high efficiency of water harvesting by ancient farmers in the Negev desert, Israel. *Journal of Arid Environments*, 35: 341-348, 1997.

- LE HOUÉROU, H.N.; POPOV, G.; SEE, L., 1993. Agro-bioclimatic classification of Africa. Agrometeorology Series Working Paper No. 6, FAO, Rome. 1993.
- LEFF, Enrique. Saber ambiental: Sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder. Siglo XXI Editores- Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, PNUMA. México. 1998.
- LELES, P; CARNEIRO, J; NOVAES, A.; BARROSO, D. Crescimento e arquitetura radical de plantas de eucalipto oriundas de mudas produzidas em blocos prensados e em tubetes, após o plantio. *CERNE*, V. 7, N.1 pp. 010-1019, 2001.
- LEMONS, M.C.; FINAN, T.; FOX, R.; NELSON, D.; TUCKER, J. The use of seasonal climate forecasting in policymaking: lessons from Northeast Brazil. *Climatic Change*, no 55, pp 479-507, 2002.
- LEWIS, R. Wetland restoration/creation/enhancement terminology: Suggestions for standardization. Wetland Creation and Restoration: The Status of the Science, Vol. II. EPA U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 1989.
- LI, X.; GONG, J.; GAO, Q.; LI, F. Incorporation of ridge and furrow method of rainfall harvesting with mulching for crop production under semiarid conditions. in: *Agricultural water management*. 50, 2001.
- LI, X., GAO, Q. Experimental study on rainfall harvesting and microcatchment model for ecosystem rehabilitation in the transitional zone between arid and semiarid regions. Excerpt of dissertation, Cold and Arid Regions Environmental and engineering Research Institute, Gansu, China, 2003.
- LI, X.; LIU, L.; GAO, S.; SHI, P.; ZOU, X.; ZHANG, C. Microcatchment water harvesting for growing *Tamarix ramosissima* in the semiarid region of China. *Forest Ecology and Management*. 214, pp. 111-117, 2005.
- LI, X.; SHI, P.; SUN, Y.; TANG, J. YANG, Z. Influence of various in situ rainwater harvesting methods on soil moisture and growth of *Tamarix ramosissima* in the semiarid loess region of China. *Forest Ecology and Management*, vol. 233, June 2006.
- LI, X; GAO, Q. Experimental study on rainfall harvesting and microcatchment model for ecosystem rehabilitation in the transitional zone between arid and semiarid regions. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, vol. 2, April, 2004.
- LI, Xiao-Yan, GAO, Qian-Zhao. Experimental Study on Rainfall Harvesting and Microcatchment Model for Ecosystem Rehabilitation in the Transitional Zone between Arid and Semiarid Regions. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute*, Chinese Academy of Sciences, China, september 2003.
- LI, Xiao-Yan, LIU, Lian-You, GAO, Shang-Yu, SHI, Pei-Jun, ZOU, Xue-Yong, ZHANG, Chun-Lai. Microcatchment water harvesting for growing *Tamarix ramosissima* in the semiarid loess region of China. *Forest Ecology and Management* 214 :111–117, 2005.
- LI, Xiao-Yan, SHI, Pei-Jun, SUN, Yong-Liang, TANG, Jia, YANG, Zhi-Peng. Influence of various in situ rainwater harvesting methods on soil moisture and growth of *Tamarix ramosissima* in the semiarid loess region of China. *Forest Ecology and Management* 233: 143–148. 2006.
- LIMA, Augusto de. A Capitania de Minas Gerais origens e formação. 3a Edição. Instituto de Historia, Letras e Arte, Belo Horizonte, Brasil. pp.231, 1965.
- LIMA, W., ZAKIA, M. J. *Hidrologia das matas ciliares*. in: RODRIGUES, R, LEITÃO, H. Matas ciliares. Conservação e recuperação, São Paulo, EDUSP, FAPESP, pp. 33-44. 2001.
- LINARES, R.; ROSELL, J., PALLÍ, R.; ROQUÉ, C. Afforestation by slope terracing accelerates erosion. A case study in the Barranco de Barcedana (Cuenca de Tresp, NE Spain). *Environmental Geology*, vol. 42, 11-18, 2002.
- LUCHIARI, Jr. et. al Manejo do solo e aproveitamento de água. In: GOEDERT, W.J. Solo dos cerrados. Planaltina: EMBRAPA-CPAC/São Paulo: Nobel, 1986. pp. 285-322
- MINUZZI, R., SEDIYAMA, G. RIBEIRO, A. COSTA, M. N. *El Niño*: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e

- Ambiental, v.9, n.3, p.364-371, 2005.
- LUGO, J. Diccionario geomorfológico, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1989.
- MACHADO & MATTUS, Avaliação do desempenho de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 193-197, 2000.
- MINUZZI, R.; SEDIYAMA, G.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. El Nino: ocorrência e duração dos veranicos do Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 3, p. 364-372, 2005.
- MOLLISON, B. SLAY, R. Introduction to Permaculture, Tagari Publicatons. Sydney, Australia 1991.
- MORAES & TUROLLA, Visão geral dos problemas e da política ambiental no Brasil, *Informações Econômicas SP*, v.34, n.4 abril, 2004.
- MOURA, A. & SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in Northeast Brazil: Observations, Theory and Numerical Experiments with a general circulation model. *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 38, pp. 2653-2675, 1981
- MYRADA – Mysore Resettlement and Development Agency. Rainwater harvesting. New Delhi, India. 2000.
- NARAIN, P.; KHAN, M. A.; SINGH, G. Potential for water conservation and harvesting against drought in Rajasthan, India. Working Paper 104 (Drought Series: Paper 7). Colombo, Sri Lanka; International Water Management Institute (IWMI), 2005.
- NETO, L.; BEZERRA, J.; COSTA, R. Competição de genótipos de goiabeira (*Psidium guajava* l.) na região do submédio São Francisco. *Revista Brasileira Frutic. Jaboticabal, SP*. v. 25, n. 3, pp. 480-482, dezembro 2003.
- NGIGI, S. What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin? *Physics and Chemistry of the Earth* 28: 943–956, 2003.
- NIMER, E. Climatologia do Brasil. IBGE, Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente, 1979.
- NORMATOV, I. & PETROV, J. Climate change and using water. Resources management in Arid and Semiarid zones of Central Asia. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 02308. 2006.
- OJAVASI, P.; GOYAL, R.; GUPTA, J. The micro-catchment water harvesting technique for the plantation of jujube (*Zizyphus Mauritania*) in an agroforestry system under arid conditions. *Agricultural Water Management*. No. 41, pp. 139-147. 1999
- OLIVEIRA, F. & COELHO, L. Produção de manga sob diferentes regimes de irrigação, em condições subúmidas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v. 6, n. 3, pp. 390-396, 2002.
- OLIVEIRA, F.; DUARTE, U.; MENEGASSE, L. Levantamento hidrogeológico da área de Araçuaí no médio Vale do Jequitinhonha-MG. *Revista de Águas Subterrâneas*, no.16, maio 2002a.
- OMETTO, J. C. Bioclimatologia vegetal. São Paulo, 1981.
- OTTONI, T& OTTONI, A. Atuações de combate às Secas e à Desertificação nas Bacias Carentes do Nordeste Brasileiro. Apostilha técnica. CREA-RJ, ABEA. Rio de Janeiro. 1998.
- OWEIS, T., DIETER, P., HACHUM, A. Water Harvesting. Indigenous knowledge for the future of the drier environments. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Síria, 2001.
- OWEIS, Theib. Rainwater Harvesting for Alleviating Water Scarcity in the Drier Environments of West Asia and North Africa. *International Workshop on Water Harvesting and Sustainable Agriculture, September 7th*, Moscou, Rússia. 2004.
- OYAMA, M. & NOBRE, C. Climatic Consequences of a Large-Scale Desertification in Northeast Brazil: A GCM Simulation Study. *Journal of Climate*, vol. 17, February, pp. 3203-3213, 2004.

- PALMER, M.; AMBROSE, R.; POFF, N. Ecological Theory and Community Restoration, *Restoration Ecology*. Vol 5.: 291-300. 1997.
- PAUW, E. de; GOBELA, W; ADAMB, H. Agrometeorological aspects of agriculture and forestry in the arid zones. *Agricultural and Forest Meteorology* Vol. 103, pp.43-58. 2000.
- PEARCY, R.; EHLER, J. MOONEY, H. RUNDEL, P. (editors) Plant Physiological Ecology. Fields Methods and instrumentation. Chapman e Hall, London UK, 1994.
- PEREIRA, L. O município de Araçuaí. Imprensa oficial, Belo Horizonte, 1969.
- PINTO, E. J. de Andrade. Estudo de indicadores climáticos para a previsão de longo termo de vazões na bacia do alto São Francisco. Tese de doutorado. Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, UFMG, 2005.
- PONCE, V.M. Management of droughts and floods in the semiarid Brazilian Northeast - the case for conservation. (*Special Issue: Water Research and Management in Semiarid Environments*). *Journal of soil and water conservation*. vol50, n5, pp. 422 Sept-Oct 1995.
- POSTEL, S. When the world's wells run dry. World Watch Institute, Washington D.C., 1999.
- PRINZ, D. Keynote Lecture The role of water harvesting in alleviating water scarcity in arid areas, 1988.
- PRINZ, D. & WOLFER, S. Opportunities to Ease Water Scarcity (Water Conservation Techniques and Approaches). Proceedings, International Conference on "World Water Resources at the Beginning of the 21st Century", Paris. UNESCO-IHP, Paris. 03 -06 June 1998.
- PRINZ, Dieter. Water Harvesting for Afforestation in Dry Areas. Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, 2001.
- PRINZ, D., MALIK, A. Runoff farming WCA infoNET, 2002.
- RAES, D. & PORTILLA, J. Regional yield estimates derived from soil water deficits Sustainable management of marginal drylands. UNESCO, Dryland series, 2003.
- RAJARAM, K. Limited effectiveness of *El Niño* in causing droughts in NE Brazil and the prominent role of Atlantic parameters. *Brazilian Journal of Geophysics*. Vol 19 (2), pp.231-236, 2001.
- REBOUÇAS, A., & MARINHO. M. Hidrologia das secas. Superintendencia de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), Recife, Brasil, 1972. *apud* PONCE, V.M. Management of droughts and floods in the semiarid Brazilian Northeast - the case for conservation. (*Special Issue: Water Research and Management in Semiarid Environments*). *Journal of soil and water conservation*. v.50, n5, pp. 422 Sept-Oct 1995.
- REIMOLD, R. Watershed Management. Practice, Policies and Coordination. McGraw Hill. New York, 1998.
- RESENDE, M., CURI, N., REZENDE. S., CORRÊA, G. Pedologia: base para distinção de ambientes. NEPUT, Viçosa, 1995.
- REZENDE, C; FONSECA, E. MOREIRA, M. A cultura da mangueira, UFLA-EMPAER-MT, 2003.
- RIBEIRO, E. M. "Os fazendeiros da cultura". Dissertação (mestrado). IFCH/UNICAMP, 1986 *apud* GALIZIONI, F. & RIBEIRO, E. Notas sobre água de chuva: o Programa Um milhão de Cisternas do Semi-árido mineiro. XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu-MG, Brasil. Setembro 20-24, 2004.
- RIBEIRO, R. & LEITÃO, H. (editores). Matas ciliares, conservação e recuperação. São Paulo, Brasil EDUSP, 320p., 2001.
- RICHARD, H. NORRIS & MARTIN C. Thomas. What is river health. in: *Freshwater biology*, no.41, pp.197-209, 1999.
- ROCKSRTOM, J. Resilience building and water demand management for drought mitigation. *Physics and Chemistry of the Earth*. Vol. 28, pp- 869-877, 2003.
- RODRIGUES, R.& GANDOLFI, S. *Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares*. in: RIBEIRO, R. *et al.* Matas conservação e recuperação. Edusp, FAPESP.

2001.

SANMUGANATHAN, K.; FRAUSTO, K.; HEUPERMAN, A.; HUSSAIN, K.; MALETTA, H.; PRINZ, D.; ANGUITA, P. THAKKER, H.; SHEVAH, Y.; SMITH, L. Assesment of Irrigation Options. Thematic Review Options Assessment IV.2 World Commission on Dams (WCD), 2002.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 4, n. 1. p. ixii, 1996.

SHARMA, B. & SMAKHLIN, V. Potential of water harvesting as a strategic tool for drought mitigation. International Water Management Institute. New Delhi India. 2004.

SHAXSON, F & BARBER, R. Optimizing soil moisture for plant production. The significance of soil porosity. FAO, Rome, 2003.

SHIKI, S. O futuro do cerrado: degradação versus sustentabilidade e controle social. R.J., FASE, 2000 *apud* GALIZIONI, F.; RIBEIRO, E. Notas sobre água de chuva: o Programa Um milhão de Cisternas do Semi-árido mineiro. XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, Caxambu-MG, Brasil. Setembro 20-24, 2004.

SIDIBÉ, A. Farm-level adoption of soil and water conservation techniques in Northern Burkina Faso. in: *Agricultural Water Management* 71: 211-224. 2005.

SIEGERT, K.; PRINZ, D.; WOLFER, S. Training course on water harvesting for improved agricultural production. FAO – Land and water digital series #26, 2003. Versão em português, tradução de GNADINGLER J.; PALMIER, L. e HERNANDEZ-BERNAL, N., FAO – ABCMAC. Brasil, 2006.

SILVA, J; TABERELLI, M.; FONSECA, M.; LINS, L. editores. Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2004.

SILVA, V. & GUEDES, M. Modelo de previsão de rendimento de culturas de sequeiro, no semi-árido do Nordeste do Brasil *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.6, n.1, p.83-87, 2002.

SINGH, H. P. Sustainable development of the Indian desert: the relevance of the farming systems approach. *Journal of Arid Environments*. No.39 pp.279–284. 1998.

SKINNER, A. HIGNETT, C., DEARDEN, J. Resurrecting the Gypsum Block for Soil Moisture Measurement. *Australian Viticulture*. October/November, 1997.

SMET, J. & MORIARTY, P. Rooftop rainwater harvesting. IRC, Delft. 2001.

SMITH, M. Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements. Rome : FAO. 1991.

SOSCIA, Mary L. “The Oregon Watershed Health Program: Local Empowerment to Restore Watersheds”; in: LAENNEN, A. & DUNNETTE, D. (1997) River quality. Dynamics and Restoration. USA, Lewis Publishers, pp.413-415, 1997.

TOSCANO, L. & HUCHIM, J. La región Puuc de Yucatán. in: *Arqueología Mexicana*. Vol.XII. No. 70. nov-dic, 2004.

TUCCI, C; HESPANHOL, I.; CORDEIRO, O. A gestão da água no Brasil. UNESCO, Brasília, 2001.

TUNDISI, José G. Água no século XXI. Enfrentando a escassez. São Carlos. RiMa, Instituto Internacional de Ecologia, 248p., 2003.

UN – UNITED NATIONS. Water Thematic Initiatives. Coping with water scarcity. A strategic issue and priority for system-wide action. August 2006. Disponível em <http://www.unwater.org/downloads/waterscarcity.pdf>, acesso em março, 2007.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME, WMO – World Meteorological Organization. 2007, Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers, february, 2007.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean-

International Environmental Technology Centre United Nations Environment Programme Unit of Sustainable Development and Environment General Secretariat, Organization of American States Washington, D.C., 1997.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATION AND SCIENCE ORGANIZATION. La educación ambiental: las grandes orientaciones de la Conferencia de Paris, 1997 *apud* LEFF, Enrique. Saber ambiental: Sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder. Siglo XXI Editores, 1998.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATION, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Sustainable Management of Marginal Drylands SUMAMAD Proceedings of the Fifth Project Workshop Aleppo (Syria) 2006a.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATION, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION Zonación de los regímenes hídricos de América Latina y el Caribe desde una perspectiva climática. Programa Hidrológico Internacional (PHI) – Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), 2006.

UNESCO – UNITED NATIONS EDUCATION, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. Water – A shared responsibility. World Water Development Report No. 2. pp.43, 2006. (Disponível em : www.unesco.org/water/wwap, acesso em fevereiro, 2007).

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Soil quality test kit guide. Agricultural Research Service Natural Resources Conservation Service. Soil Quality Institute, August. 1999.

VALLERANI System. Disponível em <http://www.vallerani.com/> acesso em fevereiro, 2007.

VANDELVELDE & FAUCHON, *Integrated management and water resources protection: the case of Paris*. in: REIMOLD, R. Watershed Management. Practice, Policies and Coordination. McGraw Hill. New York, 1998.

VILAGROSA, A.; CORTINA, J.; GIL-PELEGRIN, E.; BELLOT, J. Suitability of drought-preconditioning techniques in Mediterranean climate. *Restoration Ecology*, vol. 11, no. 2, pp.208-216, June, 2003.

VISHWANATH, S. Rooftop rainwater harvesting in rural areas of Karnataka. Some design issues, performance and understanding. Rainwaterclub, Bangalore, 2006.

VIVAN, J. L.; FLORIANI, G. S. Construção participativa de indicadores de sustentabilidade em sistemas agroflorestais em rede na Mata Atlântica. *Rede Brasileira Agroflorestal*, 2006.

WARD, P. *Qanats and Lifeworlds in Iranian Plateau Villages*. University of Texas, Austin, 2001

WHITAKER, V. A. A área alagada da represa do Lobo (Itirapina, S. P.); os processos ecológicos associados ao potencial de desnitrificação dos sedimentos 137, Tese (Doutorado em ciências da Engenharia Ambiental) *Escola de Engenharia de São Carlos*. Universidade de São Paulo, S. P. 1993; TUNDISI, José G. Água no século XXI. Enfrentando a escassez. São Carlos. RiMa, Instituto Internacional de Ecologia, 248p.,2003.

WILDENHAHN, E. Traditional Irrigation Systems in the Southwest of Saudi Arabia. In: *Traditional Irrigation Schemes and Potential for their Improvement. Irrigation Symposium*. DVWK Bulletin 9. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin. 1985 *apud* PRINZ, D. Keynote Lecture The role of water harvesting in alleviating water scarcity in arid areas, 1988

WRIGHT, S.R. Quantitative methods and statistics: A guide to social research. Sage Publications, Sta. Barbara, California. 1979. *apud* Hernández et al 1998.

WU, J.. Desertification. Department of Life Sciences, Arizona State University. 2001.

ZHU, Q. Rainwater harvesting and poverty alleviation: a case study in Gansu, China. *Water Resources Development*. Vol 19 No. 4, 2003.

ZOUGMOREA, S.; GUILLOBEZZ, N.F.; KAMBOUA, G. Runoff and sorghum performance as affected by the spacing of stone lines in the semiarid Sahelian zone. *Soil e Tillage Research* 56:175-183, 2000.

Cartografia e dados consultados

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Mapa topográfico com pontos de água folhas Araçuaí e Itinga, Escala 1: 100,000. 2004.

CPRM – Dados de precipitação do município de Itinga (arquivos excel) 1977-2006, 2006.

CPRM – Dados de precipitação da estação 00164101, município de Itinga, 2007.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Imagem de satélite da área de estudo. Carta: SE24-V-AIV-I-NE. Disponível em www.cdbrazil.cnpem.br/embrapa/mg/htm0/mg14_61.htm, acesso em junho, 2005.

EMATER – EMBRAPA. Mapa de Solos, Minas Gerais. Escala 1: 1.000.000, 1998.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA. Mapa do estado de Minas Gerais e seus municípios. Disponível em www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php, acesso em junho, 2005.

IEF – INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS. Carta de cobertura vegetal, Escala 1:100,000, folha Araçuaí. 1994.

IGA – INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS. Fotografias aéreas da área de Araçuaí–Itinga, Escala 1: 60,000. 1964.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Dados de evaporação e precipitação 1977-1990; 1992.