

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais

Cláudia Campos de Albuquerque

**ESTIMATIVA DO NÚMERO DA CURVA (CN) E SUA ADAPTAÇÃO AO
CONTEXTO DAS PAISAGENS MINEIRAS**

Belo Horizonte

2023

Cláudia Campos de Albuquerque

**ESTIMATIVA DO NÚMERO DA CURVA (CN) E SUA ADAPTAÇÃO AO
CONTEXTO DAS PAISAGENS MINEIRAS**

Versão Final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Sónia Maria Carvalho Ribeiro

Coorientador: Prof. Dr. Diego Rodrigues Macedo

Belo Horizonte

2023

A345e
2023

Albuquerque, Cláudia Campos de.

Estimativa do Número da Curva (CN) e sua adaptação ao contexto das paisagens mineiras [manuscrito] / Cláudia Campos de Albuquerque. – 2023.
66 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Sónia Maria Carvalho Ribeiro.

Coorientador: Diego Rodrigues Macedo.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2023.

Bibliografia: 49-53. Inclui
apêndice.

1. Modelagem de dados – Aspectos ambientais – Teses. 2. Recursos hídricos – Desenvolvimento – Minas Gerais – Teses. 3. Paisagens – Minas Gerais – Teses. 4. Planejamento regional – Minas Gerais – Teses. I. Carvalho-Ribeiro, Sónia Maria. II. Macedo, Diego Rodrigues. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDU: 911.2:519.6(815.1)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
COLEGIADO DE PÓS-GRADUAÇÃO DO PROGRAMA EM ANÁLISE E MODELAGEM DE SISTEMAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTIMATIVA DO NÚMERO DA CURVA (CN) E SUA ADAPTAÇÃO AO CONTEXTO DAS PAISAGENS MINEIRAS

CLÁUDIA CAMPOS DE ALBUQUERQUE

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia 25 de maio de 2023, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

Sônia Maria Carvalho Ribeiro - UFMG - (Doutora)

Diego Rodrigues Macedo - UFMG - (Doutor)

Talita Fernanda das Graças Silva - DEHRH/UFMG - (Doutora)

Adriana Monteiro da Costa - UFMG - (Doutora)

Belo Horizonte, 25 de maio de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Adriana Monteiro da Costa, Professora do Magistério Superior**, em 05/06/2023, às 23:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Sônia Maria Carvalho Ribeiro, Professora do Magistério Superior**, em 06/06/2023, às 11:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Diego Rodrigues Macedo, Professor do Magistério Superior**, em 12/07/2023, às 20:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Talita Fernanda das Gracas Silva, Professora do Magistério Superior**, em 28/07/2023, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2341866** e o código CRC **30527A67**.

Dedico esta Dissertação de Mestrado aos meus pais, à toda minha família, amigos e, em especial ao Pedro, meu companheiro da vida. Foi uma longa jornada, de desafios, imprevistos e mudanças, e se não fosse o apoio daqueles que me cercam jamais teria conseguido.

AGRADECIMENTOS

Chegar aqui não foi fácil, foram dúvidas e questionamentos, superações, vontade de fazer a ciência acontecer. Foi um aprendizado diário, um entendimento de como o mundo é dinâmico, de que cursar um mestrado em uma universidade de tanto renome é um grande desafio, mas também um orgulho sem igual.

Aos colegas de jornada desta pós-graduação, guerreiros, agradeço imensamente pelo cuidado, atenção e parceria! Apesar das dificuldades, desafios, lidar com um curso em adaptação devido a uma pandemia, nunca me senti sozinha no processo. Minhas luluzinhas Ana, Adri, Bruna e Érica, agradeço por criarem uma base forte de apoio não apenas nas disciplinas, mas também nos percalços, anseios, problemas pessoais e conflitos ao longo do caminho. Ao Nelson e à Maria Carolina, por serem apoio intelectual, companheiros de aflições e revisores. Aos demais colegas, por ensinarem e compartilharem tanto, por serem pesquisadores incríveis e versáteis. Agradeço à FUMP por todo o suporte durante a jornada.

Agradeço à minha família, que mais que nunca teve que ser base de apoio, me incentivar e me fazer crer que sou capaz. Minha mãe Patrícia, por reforçar diariamente o quanto me admira, meu pai Ivan, por me ensinar tanto, me dar lições de vida e até aprender sobre minha pesquisa para conseguir contribuir de alguma forma. Meus irmãos Lucas e Thiago por serem exemplos de estudantes e de pessoas, minhas irmãs Clara e Carol por mostrarem sempre o orgulho que sentem. E claro, agradeço ao Pedro pelo suporte, companheirismo sem limites, por estar lado a lado até nos meus piores momentos. À minha sogra Márcia agradeço por ser exemplo de força, por ser mãe e amiga. A todos que não citei, mas sabem que são família querida, agradeço por terem estado comigo, por entenderem as ausências, as distâncias e pelo amor incondicional.

Agradeço à minha orientadora Sônia por compartilhar tanto conhecimento, por me fazer crescer tanto e entender como o mundo funciona. Por criticar de forma construtiva e por aconselhar e me colocar na realidade sempre que necessário. Agradeço ao meu coorientador Diego por ser sempre tão pontual e assertivo, pelos questionamentos e reflexões que me fizeram enxergar meu trabalho com outros olhos.

Agradeço a todos os professores que tive durante este mestrado, que tanto ensinaram, compartilharam e estiveram totalmente abertos e disponíveis. Por isso,

agradeço à Universidade Federal de Minas Gerais por me permitir cursar este programa e ter acesso a estes mestres.

Agradeço aos meus colegas de trabalho, por entenderem esta jornada dupla e sempre me dar suporte quando necessário.

Aqui se encerra um ciclo, mas espero que não seja de fato um encerramento, e sim que o trabalho que desenvolvi tenha continuidade e sirva seu propósito de contribuir um milésimo que seja na construção de ciência de qualidade.

RESUMO

Os recursos hídricos são essenciais para a manutenção da vida e da dinâmica terrestre. Para entender as dinâmicas entre recursos hídricos e uso do solo em diferentes paisagens as análises espaciais são ferramentas valiosas. Uma das metodologias amplamente utilizadas é o Soil Conservation Service (SCS), que se baseia no coeficiente do Número da Curva (CN), dentre outros parâmetros. No entanto, o método e a estimativa do coeficiente CN foi desenvolvida para um contexto de paisagem específico nos Estados Unidos, e não é necessariamente adequada para outras áreas. Adaptar o coeficiente CN para o contexto do estado de Minas Gerais, pode auxiliar no estudo e caracterização da hidrologia nas paisagens do estado, contribuindo para representar recursos hídricos no contexto da paisagem. Este trabalho estimou o CN tabulado pelo SCS e usando álgebra de mapas refinou o coeficiente para o contexto específico de Minas Gerais, com base em dados espaciais que estão diretamente relacionados à hidrodinâmica da região. Como resultado, foi criado um mapa de CN tabulado e um mapa de CN refinado adaptado para o estado de Minas Gerais, cujos dados foram validados com informações hidrológicas da bacia do Rio Doce. A estimativa de CN para valores altos indica locais de escoamento superficial alto e baixa infiltração. O CN tabelado acima de 70 representa 84 % da área total do estado de Minas Gerais. Já as estimativas para o CN refinado mostram que 65% da área total do estado possui CN acima 80. Valores do CN tabulado e refinado foram comparadas e validadas. Este estudo destaca a importância de adaptar as metodologias existentes às condições das paisagens locais contribuindo para dar subsídios para atingir metas globais como Objetivos do Desenvolvimento Sustentável ODS 6 (Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos), ODS 11 (Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis) e ODS 15 (Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade).

Palavras-chave: número da curva; recursos hídricos; modelos hidrológicos; unidades de paisagem; álgebra de mapas.

ABSTRACT

Water resources are essential for maintaining life and earth dynamics. To understand the dynamics between water resources and land use in different landscapes, spatial analyzes are valuable tools. One of the widely used methodologies is the Soil Conservation Service (SCS), which is based on the Curve Number (CN) coefficient, among other parameters. However, the method and estimation of the CN coefficient was developed for a specific landscape context in the United States and is not necessarily suitable for other areas. Adapting the CN coefficient to the context of the state of Minas Gerais can help in the study and characterization of hydrology in the state's landscapes, helping to represent water resources in the context of the landscape. This work estimated the CN tabulated by the SCS and using map algebra refined the coefficient for the specific context of Minas Gerais, based on spatial data that are directly related to the hydrodynamics of the region. As a result, a tabulated NC map and a refined NC map adapted for the state of Minas Gerais were created, whose data were validated with hydrological information from the Rio Doce basin. The NC estimate for high values indicates locations of high surface runoff and low infiltration. The CN tabulated above 80 represents 84% of the total area of the state of Minas Gerais. Estimates for the refined CN show that 65% of the state's total area has a CN above 80. Tabulated and refined CN values were compared and validated. This study highlights the importance of adapting existing methodologies to the conditions of local landscapes, contributing to the achievement of global goals such as Sustainable Development Goals SDG 6 (Ensure availability and sustainable management of water and sanitation for all), SDG 11 (Make cities and inclusive, safe, resilient and sustainable human settlements) and SDG 15 (Protect, restore and promote the sustainable use of Earth's ecosystems, sustainably manage forests, combat desertification, halt and reverse land degradation and halt the loss of biodiversity).

Keywords: curve number; water resources; hydrologic models; landscape units; map algebra.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma metodológico.	27
Figura 2: Fluxograma metodológico do refinamento de CN.	33
Figura 3: Usos do solo na Bacia do Rio Doce.	36
Figura 4: Usos do solo na sub-bacia do Rio Piranga.	37
Figura 5: Precipitação da Bacia do Rio Doce.	38
Figura 6: Mapa de CN baseado no método de tabelas para o estado de Minas Gerais.	39
Figura 7: Mapa de CN refinado para o estado de Minas Gerais.	40
Figura 8: Mapa de CN refinado para a sub-bacia do Rio Piranga.	44
Figura 9: Localização da sub-bacia Santa Rita de Minas.	45
Figura 10: Mapa das estações de monitoramento pluviométrico da Bacia do Rio Doce.	54
Figura 11: Mapa das sub-bacias da Bacia do Rio Doce.	55
Figura 12: Características dos Grupos Hidrológicos do método do Número da Curva.	59
Figura 13: Valores de CN com relação aos usos do solo.	60
Figura 14: Equação do tempo de retardo do método do Número da Curva.	61
Figura 15: Exemplo de modelo utilizado no Dinamica EGO.	62
Figura 16: Captura de tela dos resultados de CN tabelado no HEC-HMS.	63
Figura 17: Captura de tela dos resultados gráficos de CN tabelado no HEC-HMS.	63
Figura 18: Captura de tela dos resultados de CN refinado no HEC-HMS.	64
Figura 19: Captura de tela dos resultados gráficos de CN refinado no HEC-HMS.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variáveis utilizadas na bibliografia para a definição de Unidades funcionais de Paisagem.	13
Tabela 2: Relações estabelecidas na determinação de CN.	29
Tabela 3: Variáveis e pesos utilizados no refinamento de CN.	32
Tabela 4: Representatividade dos valores de CN com relação à área total do estado com base no método tabelado.	40
Tabela 5: Representatividade dos valores de CN com relação à área total do estado após o refinamento dos dados.	41
Tabela 6: Dados de CN para o estado de Minas Gerais após o refinamento dos dados.	42
Tabela 7: Comparação entre áreas vulneráveis a eventos extremos de inundação e os valores de CN com refinamento para estas áreas.	42
Tabela 8: Frequência de valores de CN em intervalos para cada vulnerabilidade à eventos extremos.	43
Tabela 9: Comparação entre simulações hidrológicas com CN tabelado e CN refinado para a sub-bacia Santa Rita de Minas.	46
Tabela 10: Variáveis levantadas do IDE Sisema.	56
Tabela 11: Relação entre tipos de solo do ZEE e Grupos Hidrológicos do método do Número da Curva.	58
Tabela 12: Softwares e versões utilizadas.	65

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	11
2. PARTE 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1.1. CONCEITOS DE PAISAGEM	12
2.1.2. UNIDADES DE PAISAGEM	12
2.1.2.1. Aplicação	13
2.1.2.2. Projeto Paisagens Mineiras	16
2.2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	16
2.2.1. Método do Número da Curva.....	17
2.3. OBJETIVOS	19
2.4. REFERÊNCIAS - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
3. PARTE 2: ARTIGO.....	24
3.1. INTRODUÇÃO	24
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.2.1. Análise exploratória.....	27
3.2.2. Levantamento de dados.....	28
3.2.3. Caracterização da área de estudo	29
3.2.4. Mapeamento do Número da Curva (CN)	29
3.2.5. Refinamento do Número da Curva (CN)	30
3.2.6. Compilação, análise e validação dos resultados.....	34
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
3.4. CONCLUSÃO.....	47
3.5. REFERÊNCIAS	49
APÊNDICE – Material suplementar.....	54

1. INTRODUÇÃO GERAL

Este trabalho foi desenvolvido no formato de artigo científico visando publicação em periódico, cumprindo os requisitos para a obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Desta forma o trabalho se inicia com 1) a revisão bibliográfica e definição dos objetivos e posteriormente 2) apresentação do artigo científico que inclui: Introdução, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão.

2. PARTE 1: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ECOLOGIA DA PAISAGEM

2.1.1. CONCEITOS DE PAISAGEM

O conceito de paisagem de Bertrand (1971) ressalta que esta é um espaço delimitado, que resulta de dinâmicas de interação dos diferentes aspectos envolvidos, sejam físicos, biológicos ou antrópicos. Christofolletti (1999) adiciona que a paisagem resultante desta dinâmica é particular e única, com elementos interdependentes, podendo ser sistematizada nas diferentes esferas para a representação de seus elementos físicos, biogeográficos, sociais e econômicos.

Estas representações permitem o entendimento das dinâmicas locais, das relações entre os diferentes componentes e da distribuição espacial dos fenômenos que ocorrem no sistema. Segundo Dalbem et al. (2005), um importante resultado da análise de paisagens através da sistematização é a identificação de áreas relativamente homogêneas, as chamadas Unidades de Paisagem.

Cervantes-Borja & Alfaro-Sánchez (1998) apontam que existem duas formas de se caracterizar unidades de paisagem, pela homogeneidade e pela funcionalidade, porém a identificação e delimitação das unidades é em todo caso pela descontinuidade. A caracterização por homogeneidade está relacionada à uniformidade da morfologia enquanto por funcionalidade diz respeito à geocodinâmica que forma uma unidade.

Para Beroutchachvili & Bertrand (1978), Cestaro et al. (2007) e Brito & Ferreira (2011) trabalhar à escala de unidade de paisagem considerando que a delimitação das unidades se baseia na funcionalidade permite a aplicação de ferramentas de gestão da paisagem. Contudo, a identificação destas funcionalidades apenas é possível após a caracterização da composição e configuração da paisagem e entendimento da dinâmica existente.

2.1.2. UNIDADES DE PAISAGEM

O entendimento da dinâmica de uma paisagem é multidisciplinar, abrangendo os fenômenos antrópicos, aspectos naturais e as diferentes conexões e interações que acontecem ou podem acontecer nos sistemas ambientais. Os trabalhos que definem unidades de paisagem da mesma forma devem abordar as diferentes esferas

que influenciam a estrutura e composição da paisagem. A composição da paisagem se refere, por exemplo, a quanto existe naquela paisagem em termos de diferentes classes de uso do solo (ex. agricultura, urbano) enquanto configuração representa como esses usos e ocupações estão organizados espacialmente e influenciam a funcionalidade, isto é, por exemplo se as áreas de vegetação nativa estão fragmentadas dificultando movimentos e o fluxo genético. Assim, Unidades de Paisagem (UP) podem ser definidas como espaços do território cujas características biofísicas e dimensões sociais possibilitam a identificação de unidade e funcionalidade entre seus elementos e, ao mesmo tempo, esses elementos e funcionalidades são distintos das áreas que os rodeiam. Por isso, segundo Guerra e Marçal (2006), é importante trabalhar-se na escala de unidades de paisagem, mas, ao mesmo tempo, sua delimitação é complexa e envolve variáveis que se alteram tanto no espaço quanto no tempo. Um dos grandes desafios para o desenvolvimento das UP é a dificuldade de representar a complexidade inerente aos recursos hídricos e sistemas hidrológicos.

2.1.2.1. Aplicação

Dada a necessidade de definir as unidades de paisagem a partir de variáveis que possam ser incorporadas aos modelos de representação dos sistemas existentes, uma importante etapa para a definição destas unidades é a escolha das variáveis utilizadas para formar e caracterizar as unidades de paisagem na área de interesse. A Tabela 1 apresenta variáveis utilizadas por diferentes estudos para a delimitação de Unidades de Paisagem.

Tabela 1: Variáveis utilizadas na bibliografia para a definição de Unidades funcionais de Paisagem.

Autores	Variáveis
Amorim & Oliveira (2008)	Compartimentos geomorfológicos, Uso e ocupação do solo, Estado Ambiental, Geologia, Formações Superficiais, Pedologia, Topografia, Hipsometria, Cobertura Natural, Precipitação e Geomorfologia
Santos (2011)	Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação, Uso e ocupação do solo, Sensibilidade a impactos ambientais, Produtividade agropecuária, Áreas de Conservação, Histórico de ocupação urbana, Atividades econômicas, Demografia, Investimentos públicos e privados, Variação populacional ao longo do ano, Populações urbana e rural, Caracterização do comércio, Variação de renda, Taxas de desemprego

Diniz & Oliveira (2018)	Domínios morfoclimáticos e fitogeográficos, Vegetação, Precipitação, Geologia, Temperatura média, Topografia, Solos
Pimentel, Chapuis & Silva (2018)	Geomorfologia, Distância de estradas, Declividade, Desmatamento, Drenagem, Áreas de preservação, Solos, Tamanho de propriedades, Densidade de APPs
Montezuma et al. (2014)	Geomorfologia, Precipitação, Uso e ocupação do solo, Drenagem, Vegetação, Microclima, Ruído, Topografia, Vegetação, Área edificada, remanescentes de ecossistemas nativos, Solos, Rochas expostas, Vias de acesso, Estrutura urbana, Áreas de preservação, Zonas de cultivo por espécie, Atividades econômicas, Tamanho dos lotes, Renda, Espaço construído, Espaços livres
Queiroz e Queiroga (2016)	Morfologia, Altimetria, Hidrografia, Solos, Uso do solo, Vegetação, Agropecuária, Relevo
Oliveira et al. (2007)	Geologia, Clima, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso e cobertura do solo, Clima, Temperatura, Precipitação, Topografia, Drenagem, Declividade, Atrativos turístico
Zacharias (2006)	Relevo, Solos, Uso e ocupação do solo, Morfologia, Pedologia, Geomorfologia, Vegetação, Economia, Vegetação, Topografia, Uso de recursos naturais, Produtividade rural, Produtividade industrial, Nível de urbanização, Es colaridade, Renda, Acesso a serviços, Acesso às redes de circulação, Incidência de conflitos sociais e ambientais, Participação político-eleitoral, Áreas produtivas, Potencial produtivo, Áreas com alto grau de vulnerabilidade ambiental, Áreas em recuperação ambiental, Áreas de preservação, Precipitação, Áreas vulneráveis à inundações, Áreas vulneráveis à deslizamentos, Clima, Erosão, Hidrografia, Áreas de interesse histórico e cultural, Áreas antropizadas, Diversidade de fauna
Silva, Manetti & Tângari (2013)	Uso e ocupação do solo, Malha ferroviária, Relevo, Economia, Solos, Economia, Potencial produtivo, Área urbanizada, Acesso à habitação, Áreas livres, Hidrografia, Industrialização, Declividade, Patrimônio histórico
Ferreira (1997)	Geomorfologia, Pedologia, Clima, Contaminação de corpos hídricos, Biodiversidade, Matriz energética, Precipitação, Drenagem, Geologia, Vegetação, Precipitação, Radiação, Ocorrência de geadas, Evapotranspiração, Altitude, Relevo, Litologia
Pereira, Chávez & Silva (2012)	Uso e cobertura do solo, Hipsometria, Vulnerabilidade às inundações, Geomorfologia, Erosão, Precipitação, Clima, Temperatura, Tipo predominante de precipitação, Relevo, Solos, Declividade, Geologia, Aptidão ao uso agrícola, Morfometria,
Correia, Abreu & Oliveira (2001)	Litologia, Relevo, Hidrografia, Clima, Solos, Flora, Fauna, Estrutura ecológica, Uso e cobertura do solo, Relevo, Vegetação, Povoamento, Economia, Altitude, Urbanização,

	Conjuntos edificados, Estradas, Aldeias, Barragens, Morfologia, Hidrografia, Estrutura das propriedades, Clima, Proximidade do oceano, Demografia, Infraestrutura, Áreas recentemente florestadas, Áreas áridas, Áreas beneficiadas por medidas agroambientais, Ocupação urbana, Presença de água, Construções de grande interesse
Neto (2016)	Relevo, Altimetria, Vegetação, Pedologia, Clima, Uso e ocupação do solo, Declividade, Formação florestal Geologia, Solos, Influência antrópica, Topografia, Hipsometria, Comportamento geoquímico

Os estudos acima determinaram, a partir das variáveis mencionadas, unidades de paisagem com diferentes objetivos, mas geralmente visando subsidiar o planejamento e ordenamento do território, analisando componentes da área de estudo e apontando potencialidades para a gestão da paisagem (CORREIA, ABREU & OLIVEIRA (2001); NETO (2016); MONTEZUMA ET AL. (2014); QUEIROZ E QUEIROGA (2016); DINIZ & OLIVEIRA (2018); PEREIRA, CHÁVEZ & SILVA (2012); SANTOS (2011); AMORIM & OLIVEIRA (2008); SILVA, MANETTI & TÂNGARI (2013)).

Além disso, alguns estudos utilizam a UP para objetivos mais específicos, nos quais essa escala possibilita o entendimento de fenômenos. Oliveira et al. (2007) a utiliza para estabelecer uma relação entre os aspectos físicos do território e o ecoturismo. Pimentel, Chapuis & Siva (2018) analisam a partir das unidades quais elementos formam um bioma e como isto acontece enquanto Montezuma et al. (2014), para além de definições que subsidiem o planejamento, utilizam as UP para entender a relação entre os parâmetros urbanísticos e as vulnerabilidades do ambiente, especialmente com relação às mudanças climáticas.

Ferreira (1997) realizou uma revisão bibliográfica que aponta que toda pesquisa que utiliza UP como mecanismo de análise tem potencial de sucesso, desde que possua dados espaciais robustos, em escala apropriada e justificando a escolha das variáveis capazes de responder aos seus objetivos.

Observa-se nos dados da Tabela 1 que variáveis relacionadas aos recursos hídricos usualmente estão presentes nos estudos de Unidades de Paisagem, o que ressalta a importância da inserção da camada que represente o regime hídrico nas análises à nível de UP em Minas Gerais.

2.1.2.2. Projeto Paisagens Mineiras

O projeto Paisagens Mineiras, no qual o presente estudo está integrado, objetiva definir UP para do estado de Minas Gerais que possam servir de base para a gestão da paisagem e para o planejamento territorial no estado. O projeto se baseia na atualização numa tipologia de Unidades de Paisagem do EMATER e pretende contribuir para o seu desenvolvimento (EMATER, 2014).

Para isso serão utilizadas 5 camadas, socioeconômica, geomorfológica, vocação agroflorestal, vocação recreativa e fragilidades, que se associarão para compor as unidades paisagem a partir do estudo já realizado pelo EMATER incorporando a dimensão socioeconômica e cultural com a funcionalidade potencial dos serviços ecossistêmicos.

Visto que os recursos hídricos são fundamentais à vida, sua distribuição e disponibilidade se tornam pontos de interesse, pois entender o regime hídrico pode auxiliar na identificação de fragilidades do território.

Dada a disponibilidade de dados para o estado de Minas Gerais, especialmente os dados espaciais do IDE SISEMA, alinhado com o projeto e com as premissas das Unidades de Paisagem, pretende-se realizar um mapeamento do Número da Curva (CN).

Este mapeamento auxiliará na identificação de homogeneidades com relação ao regime hidrológico e possíveis territórios que possuem fragilidades no que tange aos recursos hídricos. Assim este trabalho pretende integrar a dimensão dos recursos hídricos e estudos hidrológicos no desenvolvimento de UP.

2.2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

De acordo com Tucci (1993), a hidrologia é uma ciência complexa, que trata das propriedades, distribuição e circulação dos recursos hídricos. Sendo os recursos hídricos físicos, existem estudos hidrológicos que buscam representar os processos hidrológicos por meio de equações de conservação de massa, através de entradas e saídas.

Dentro desta abordagem, os principais processos analisados são: precipitação, escoamento, infiltração, evapotranspiração e armazenamento de água (CANHOLI, 2014, TUCCI, 1993; CARDOSO NETO, 2014). A análise e representação destes

processos requer o entendimento da dinâmica local, e a utilização de variáveis que representem os sistemas é importante para estudos de cunho hidrológico (COLLISCHONN & TASSI, 2008).

Dada a relevância dos recursos hídricos e sua essencialidade, existem diversos métodos para representar e analisar os processos hidrológicos, tanto para entendimento dos sistemas hídricos, quanto para simulações e elaboração de estratégias para gestão hídrica. Um destes métodos é o do Número da Curva, que, conforme ressalta McCuen (1998), é consolidado na hidrologia por sua versatilidade e simplicidade, com potencial de gerar diversos tipos de resultados e ser amplamente aplicável para representar a dinâmica hidrológica à diferentes escalas.

2.2.1. Método do Número da Curva

O método do Número da Curva, desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), tem o objetivo de estimar o escoamento superficial visando principalmente a avaliação e planejamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica (SCS, 1986).

Este método é largamente utilizado devido à simplicidade, abrangência e bons resultados, e se baseia no conceito de que a lâmina de escoamento superficial, após um dado evento hidrológico, pode ser obtida a partir da lâmina total precipitada e das abstrações (TYAGI, 2008; CAO et al. 2011; TEDELA et al., 2005). Tais abstrações se referem principalmente à infiltração, interceptação da vegetação e retenção devido ao relevo do terreno.

Se trata de um método empírico baseado em tabelas de cálculo e é regido pelo coeficiente do Número da Curva, ou CN. As tabelas disponibilizadas pelo SCS expõem os valores de CN para diferentes usos e cobertura da terra, sendo que para cada um destes usos os valores de CN também variam de acordo com as condições do solo, desenvolvido com base nas análises e dados do território dos Estados Unidos.

Embora se trate de um método consolidado e difundido, inclusive no Brasil, sua metodologia baseada em tabelas é apontada como uma limitação, visto que, para usos do solo não descritos e grupos de solo com características heterogêneas, são necessárias estimativas e ponderações (KANG et al., 2001; CASERMEIRO et al., 2004; BARTLEY et al., 2006; GARCIA-RUIZ et al., 2008). Ainda assim, os resultados obtidos com a modelagem hidrológica baseada no método do Número da Curva têm apresentado bons resultados, permitindo a avaliação produção de água, planejamento

de medidas de conservação, gestão hídrica, prevenção de aporte de sólidos em cursos d'água, avaliação do risco às inundações e entendimento geral da dinâmica hídrica de bacias (ZHANG et al. 2003; JIN et al. 2003; ZHANG et al., 2004; GAO et al., 2006; WANG; HUANG, 2008).

Dadas as vantagens e as limitações do método, assim como qualquer outro, Christofletti (1999) aponta que uma característica de estudos com abordagem de análise focada em sistemas ambientais é a possibilidade de adaptar métodos e modelos a partir de ponderações baseadas em fatos científicos.

No contexto do método do Número da Curva, a base pode ser utilizada para adaptação em diferentes contextos, relacionando os dados do método original com aqueles que sejam aplicáveis no contexto desejado e refinando os valores tabelados para a obtenção de valores de CN condizentes com diferentes realidades. Porém essas abordagens carecem de uma validação com base em dados reais dos sistemas hidrológicos que ele pretende representar.

Além da adaptação, a construção de bases de dados espacialmente explícitas contendo valores de CN ainda não é aplicada, ainda que a associação de dados hidrológicos com Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) esteja sendo amplamente aplicada.

Autores como Gaspari et al. (2006) e Sartori (2004) realizaram adaptações no método. No entanto ainda que existam mais de 15.000 publicações (segundo a base de dados do Scopus) que citaram ou utilizaram o método mundialmente nos últimos 4 anos (2019 a 2022) esta abordagem ainda não é muito explorada, ainda que seja um método amplamente utilizado.

2.3. OBJETIVOS

O objetivo do presente estudo é calcular e adaptar o coeficiente do Número da Curva (CN) do método Soil Conservation Service (SCS), de forma espacialmente explícita para o contexto do estado de Minas Gerais, visando gerar uma base de dados concisa e representativa para caracterizar o regime de escoamento nas paisagens mineiras.

Os objetivos específicos são:

- 1) Obtenção de dados espaciais de CN para o estado de Minas Gerais a partir do método usual (CN tabulado), utilizando as tabelas disponíveis em bibliografia;
- 2) Obtenção de dados espaciais de CN (CN refinado) para o estado de Minas Gerais com o refinamento dos dados, calculado pelo método tabelado, inserindo variáveis que representem o território do estado;
- 3) Validação dos valores refinados de CN para o estado de Minas Gerais a partir de comparação com bases de dados hidrológicos oficiais e de construção de modelo hidrológico para uma sub-bacia.

2.4. REFERÊNCIAS - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AMORIM, R. R.; OLIVEIRA, R. C. de. As unidades de paisagem como uma categoria de análise geográfica: O exemplo do município de São Vicente – SP. Sociedade & Natureza, Ano 20, n. 2, Uberlândia - MG: 2008.

BARTLEY, R.; ROTH, C. H.; LUDWIG, J.; MACJANNET, D.; LIEDLOFF, A.; CORFIELD, J.; HAWDON, A.; ABBOTT, B. Runoff and erosion from Australian's tropical semi-arid rangelands: influence of ground cover for differing space and time scale. Hydrological Processes, v. 20, p. 3317–3333, 2006.

BEROUTCHACHVILI, N. L.; BERTRAND, G. Le geosysteme ou systeme territorial naturel. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest, Toulouse, v. 49, n. 2, p. 167-180, 1978.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia global. Esboço metodológico. São Paulo: Universidade de São Paulo, Instituto de geografia, Cadernos de Ciências da Terra, (13) p. 1-27. 1971.

BRITTO, M. C.; FERREIRA, C. C. M. Paisagem e as diferentes abordagens geográficas. Revista de Geografia, UFJF v. v.2, 2011, p.1-10.

CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384 p.

CAO, H., VERVOORT, R. W., DABNEY, S. M. Variation in curve numbers derived from plot runoff data for New South Wales (Australia). Hydrological Processes, v. 25, p. 3774- 3789, 2011.

CARDOSO NETO, Antonio. Sistemas Urbanos de Drenagem. 2014. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: 17 abr. 2022.

CASERMEIRO, M. A.; MOLINA, J. A.; CARAVACA, M. T. D. L.; COSTA, J. H.; MASSANET, M. I. H.; MORENO, P. S. Influence of scrubs on runoff and sediment loss in soils of Mediterranean climate. Catena, v. 57, p. 91–107, 2004.

CERVANTES-BORJA, J.; ALFARO-SÁNCHEZ, G. La ecología del paisaje en el contexto Del desarrollo sustentable. La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable em América Latina, 1998.

CESTARO, L. A. et al. Proposta de um sistema de unidades geoambientais para o Rio Grande do Norte. Anais do SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12., 2007, Natal-RN. p. 267.

CHRISTOFOLETTI, A. Modelagem de sistemas ambientais. São Paulo: Edgar Blücher, 1999.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. Introduzindo hidrologia. 6. ed. Porto Alegre, RS: IPH UFRGS, 2008. 274 p. Apostila. Disponível em:

http://www.ctec.ufal.br/professor/crfj/Pos/Hidrologia/apostila_Completa_2008.pdf.
Acesso em: 20 jun. 2019.

CORREIA, T. P., ABREU, A. C., & OLIVEIRA, R. (2001). Identificação de Unidades de Paisagem: metodologia aplicada a Portugal Continental. *Finisterra*, 36(72).
<https://doi.org/10.18055/Finis1634>

DALBEM et al. Delimitação de unidades de paisagem: conceito e método aplicados ao município de Paranaguá/PR/ Brasil. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada – 05 a 09 de setembro de 2005 – USP*.

DINIZ, T. M.; OLIVEIRA, V. L. C. Mapeamento das Unidades de paisagem do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Boletim Goiano de Geografia, Goiânia*, v. 38, n. 2, p. 342–364, 2018. DOI: 10.5216/bgg.v38i2.54613. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/54613>. Acesso em: 13 jan. 2023.

EMATER, 2014 Caracterização de Unidades paisagem em Minas Gerais. EMATER, Belo Horizonte. <file:///C:/Users/sonia/Downloads/MINASZGERAISZ-ZCARACTERISTICASZDEZUNIDADESZDEZPAISAGEM.pdf> Acesso 13 Maio 2023

Forested Watersheds of Georgia. Report submitted to Georgia Water Resources Institute. Available at <http://water.usgs.gov/wrri/07grants/progress/2007GA143B.pdf>. Accessed 23 January 2012. 2008.

FARIAS J. F.; SILVA, E. V. DA Geocologia das paisagens e planejamento ambiental: teoria e metodologia aplicadas na bacia hidrográfica do rio Palmeira/Ceará, Em: *Bacias hidrográficas - métodos e técnicas de estudo, usos, ocupação e conflitos no Espaço Geográfico*, XVI Simpósio de Geografia Física e Aplicada, Teresina, Piauí, 28 de junho a 04 de julho de 2015.

FERREIRA, M. C. Mapeamento de unidades de paisagem em sistemas de informação geográfica: Alguns pressupostos fundamentais. *GEOGRAFIA, Rio Claro*, v. 22, n. 1, p. 23-35, abril 1997.

GAO, Y.; ZHU, B.; MIAO, C. Y.; ZHANG, J. Z. Application of SCS model to estimate the volume of rainfall runoff in sloping field of purple soil. *Chin. Agr. Sci. Bull.*, v. 22, n. 11, p. 396–400, 2006.

GARCÍA, J. M. Aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integrada de los recursos hídricos. Aproximación al caso cubano, *Voluntad Hidráulica*, No. 99, Año XLV, 2007, p. 18-29.

GARCIA-RUIZ, J. M.; REGUES, D.; ALVERA, B.; LANA-RENAULT, N.; SERRANOMUELA, P.; NADL-ROMERO, E.; NAVAS, A.; LATRON, J.; MARTI-BONO, C. ARNAEZ, J. Flood generation and sediment transport in experimental catchments affected by land use changes in the central Pyrenees. *Journal of Hydrology*, v. 274, p. 30-46, 2006.

GASPARI, F. J. *et al.* Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza*, v. 49, n. 1, p. 21-28, jan. 2007.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. Geomorfologia ambiental. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUERRERO, E. El Enfoque Ecosistémico aplicado a la gestión del agua. Una perspectiva desde América Latina, En: ANDRADE, A. (Editora) Aplicación del Enfoque Ecosistémico en Latinoamérica, Bogota: CEM – UICN, 2007.

JIN, H.; SUN, X. H.; LI, Y. B. Application of SCS model in Lanhe watersheds. J. Taiyuan Univ. Technol., v. 34, n. 6, p. 735–736, 2003.

KANG, S.; ZHANG, L.; SONG, X.; ZHANG, S.; LIU, X.; LIANG, Y.; ZHENG, S. Runoff and sediment loss responses to rainfall and land use in two agricultural catchments on the Loess Plateau of China. Hydrological Processes, v. 15, p. 977–988, 2001.

MACHADO, G. Por uma territorialização da bacia hidrográfica, En: SAQUET, M.A. (Coordinador), Estudos territoriais na ciência geográfica, São Paulo: Outra expressões 2013, p.107 – 128.

MCCUEN, Richard H. Hydrologic Analysis and Design. 2. ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-hall Inc., 1998.

MONTEZUMA, Rita C.M.; TÂNGARI, Vera R.; ISIDORO, Inês O.; MAGALHÃES, Aline. Landscape units as territorial analysis procedure: integration of geo-biophysical and urbanistic-architectural dimensions. In OLIVEIRA, V.; PINHO, P.; BATISTA, L.

NETO, R. M. (2016). GEOMORFOLOGIA E GEOSISTEMAS: INFLUÊNCIAS DO RELEVO NA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM NO MACIÇO ALCALINO DO ITATIAIA (MG/RJ). Revista Brasileira De Geomorfologia, 17(4). <https://doi.org/10.20502/rbg.v17i4.907>

OLIVEIRA, S. N.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; MARTINS, E. S.; SILVA, T. M. GOMES, R. A. T. Identificação de unidades de paisagem e sua implicação para o ecoturismo no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 8, n. 1, p. 87-107. 2007.

PATATAS, T. (eds.). Our common Future in Urban Morphology (ISUF 2014). FEUPPorto/ISUF, 2014. ISBN-978-972-99101-5-9. p. 438-440.

PEREIRA, G.; CHÁVEZ, E. S.; SILVA, M. E. S. O estudo das unidades de paisagem do bioma Pantanal. Revista Ambiente & Água, v. 7, n. 1, p. 89-103, 2012.

PIMENTEL, G.M., POCCARD-CHAPUIS, R.J.M. e SILVA, C.N. 2018. DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM: DO CONCEITO GEOSISTÊMICO AO MÉTODO APLICADO AO MUNICÍPIO DE PARAGOMINAS/PA. Boletim de Geografia. 36, 1 (jun. 2018), 62-75. DOI:<https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v36i1.33933>.

QUEIROZ, A.N; QUEIROGA, E.F.,2016. Unidades de Paisagem: materiais e metodologia para uma avaliação paisagística e ambiental. Revista Paisagem e Ambiente v: 37. Disponível em: <http://quapa.fau.usp.br/wordpress/wpcontent/uploads/2016/03/Unidades-depaisagem-materiais-e-metodologia->

paraumaavalia%C3%A7%C3%A3opaisag%C3%ADstica-e-ambiental Limeira.pdf. Acesso: 15 nov. 2021.

SANTOS, M dos. Caracterização das Unidades de Paisagem com vistas ao planejamento e gestão do município Arroio do Sal - RS. 2011. 72 f. TCC (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rs, 2011.

SARTORI, A.. Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SCS. Urban hydrology for small watersheds. Washington, DC: Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS), 1986.

SILVA, J. M. P., MANETTI, C., & TÂNGARI, V. (2013). Compartilhamentos e Unidades de Paisagem: Método de Leitura da Paisagem Aplicado à Linha Férrea. *Paisagem E Ambiente*, (31), 61-80. <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i31p61-80>

TEDELA, N., MCCUTCHEON, S., RASMUSSEN, T., TOLLNER, W. Evaluation and TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. EDUSP: Editora da UFRGS, 1993. 952 p. ABRH.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de. *Drenagem Urbana*. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 428 p.

TYAGI, J. V.; MISHRA, S. K.; SINGH, R.; SINGH, V. P. SCS-CN based time-distributed sediment yield model. *Journal of Hydrology*, v. 352, p. 388–403, 2008.

WANG, Y.; HUANG, M. B. Optimizing parameters of SCS-CN method for application on the Loess Plateau. *Bull. Soil Water Conserv.*, v. 28, n.1, p. 54–58, 2008.

ZACHARIAS, A. A. A representação gráfica das unidades de paisagem no zoneamento ambiental: um estudo de caso no município de Ourinhos – SP. Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, UNESP. 2006. 209p.

ZHANG, M. H.; WANG, X. Y.; QIN, F. L. Application of SCS model to estimate the quantity of rainfall runoff of small watershed in Shixia, Miyun County. *J. Capital Norm. Univ. (Nat. Sci. Ed.)*, v. 25 (S1), p. 155–158, 2004.

ZHANG, X. Y.; MENG, F.; DING, N. Application of SCS model to estimating the quantity of runoff of small watershed in semi-arid or arid region. *Res. Soil Water Conserv.*, v. 10, n. 4, p. 172–174, 2003.

3. PARTE 2: ARTIGO

3.1. INTRODUÇÃO

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS's) são globais e incluem metas de envolvimento relacionadas a cinco eixos: pessoas, planeta, prosperidade, paz e parceria, com o prazo de 2030 para a conexão econômica, social e ambiental entre as partes interessadas (ONU 2015).

Para atingir estes objetivos é necessário promover desenvolvimento sustentável aliando conservação do ambiente e desenvolvimento socioeconômico. Por isso, gerir paisagens impactadas por ações antrópicas tem sido alvo de ações conjuntas, por exemplo no âmbito da década da restauração, fomentando a participação de diversos atores e alinhando as ações tanto do poder público quanto da sociedade em geral com as premissas do desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, a disciplina de Gestão Integrada da Paisagem, tem se tornado essencial para o entendimento e planejamento em diferentes escalas espaciais e temporais (Carvalho Ribeiro et al. 2021). Nesse contexto, se tratando de áreas já impactadas existe uma necessidade em não apenas mitigar os impactos e preservar os serviços ecossistêmicos remanescentes, como também entender a dinâmica do sistema e a extensão dos danos ambientais nos diversos componentes do sistema ambiental.

Estes sistemas ambientais, como definem Dalbem et al. (2005), podem ser entendidos como um espaço geográfico onde os aspectos físicos, químicos e biológicos, naturais e antrópicos, influenciam na construção de uma dinâmica que se manifesta territorialmente. Ou seja, as particularidades dos componentes devem ser avaliadas com relação ao potencial de impactar o sistema em sua totalidade.

Entender a dinâmica dos sistemas ambientais é desafiador, dadas as interações, múltiplas relações e camadas. Christofolletti (1999) reforça a complexidade e multidisciplinaridade que constitui a análise dos sistemas ambientais. Para lidar com isso, as ferramentas de análise espacial e modelagem surgem como facilitadores da representação destas dinâmicas, permitindo a representação dos sistemas a partir de simplificações e observações. Porém, torna-se necessário a inserção da percepção de especialistas de múltiplas disciplinas para fazer ponderações e construir modelos capazes de representar de forma consistente os processos em análise.

Segundo Dalbem et al. (2005), no âmbito da análise de paisagens por meio da

sistematização, a identificação de áreas relativamente homogêneas, as denominadas Unidades de Paisagem, tem sido um poderoso instrumento. As Unidades de Paisagem podem ser caracterizadas pela homogeneidade e pela funcionalidade, sendo a caracterização física a base de ambas (Cervantes-Borja and Alfaro-Sánchez 1998).

Trabalhar à escala de Unidade de Paisagem com abordagem funcional permite a aplicação de ferramentas de gestão da paisagem com eficiência, otimizando os resultados e os processos ecológicos. Contudo, a identificação destas funcionalidades depende da caracterização da estrutura, composição e entendimento da dinâmica existente (Beroutchachvili and Bertrand 1978; Cestaro et al. 2007; Britto and Ferreira 2011).

De acordo com o MMA (2017), gerir as paisagens brasileiras de forma integrada, com ações baseadas em dados e pesquisas, incorporando a participação de todos os atores sociais nos processos decisórios é o caminho a ser seguido, com o foco no desenvolvimento sustentável.

Por isso, gerir a paisagem contempla gerir todos os seus componentes e recursos, entendendo a relação e a dinâmica entre eles, o ambiente em sua completude e complexidade. Dentre os recursos essenciais presentes nas paisagens e de suma importância para as análises ambientais, estão os recursos hídricos. Autores dedicados ao estudo de paisagens como Dalbem et al. (2005) e Carvalho Ribeiro et al. (2021) corroboram com esta afirmativa, e reforçam a essencialidade dos recursos hídricos para o funcionamento dos sistemas ambientais e das paisagens.

Tucci (1997), aponta que entender os processos hidrológicos, que envolvem a disciplina de hidrologia, ou seja, a ocorrência, distribuição e movimentação de água no planeta, é fundamental para uma boa gestão ambiental, tanto pela importância dos recursos hídricos quanto por sua vulnerabilidade.

Dessa forma, os recursos hídricos são fundamentais nos processos decisórios, de gestão e na própria formação de unidades de paisagem, pois, conforme ressalta Canholi (2014), não apenas são um componente físico essencial como também influenciam de forma direta todo o ecossistema, sendo a dinâmica hídrica e disponibilidade de água essenciais para o desenvolvimento biológico e antrópico.

Tendo em vista a essencialidade destes recursos, o entendimento do regime hídrico se torna uma ferramenta para interpretação da composição da paisagem, além da oportunidade atual de mapear a distribuição das águas visando simulações e

identificação de regiões homogêneas.

No âmbito da modelagem hidrológica, o Número da Curva (Curve Number-CN, em inglês) se difundiu por representar de maneira simplificada e, segundo Jin et al. (2003) e Zhang et al. (2003), eficiente, os processos de fluxo hídrico. O CN tem sido usado para a avaliação produção de água (Jacobs and Srinivasan 2005; Cao et al. 2011), planejamento de medidas de conservação (Feitosa et al. 2010), gestão hídrica (Gao et al. 2006; Calzavara and Fernandez 2015), prevenção de aporte de sólidos em cursos d'água (Machado 2002; Azizah et al. 2022), avaliação do risco às inundações (Bussi et al. 2010; Herrera-Sánchez and Navarro-Bermúdez 2021) e entendimento geral da dinâmica hídrica de bacias.

Sendo um importante dado de entrada para os modelos, o CN deve representar de maneira realística os processos de cada área em estudo, o que, de acordo com Carvalho e Rodrigues (2021), pode ser alcançado a partir da adaptação dos métodos tabelados de CN a cada contexto com auxílio de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e estatística.

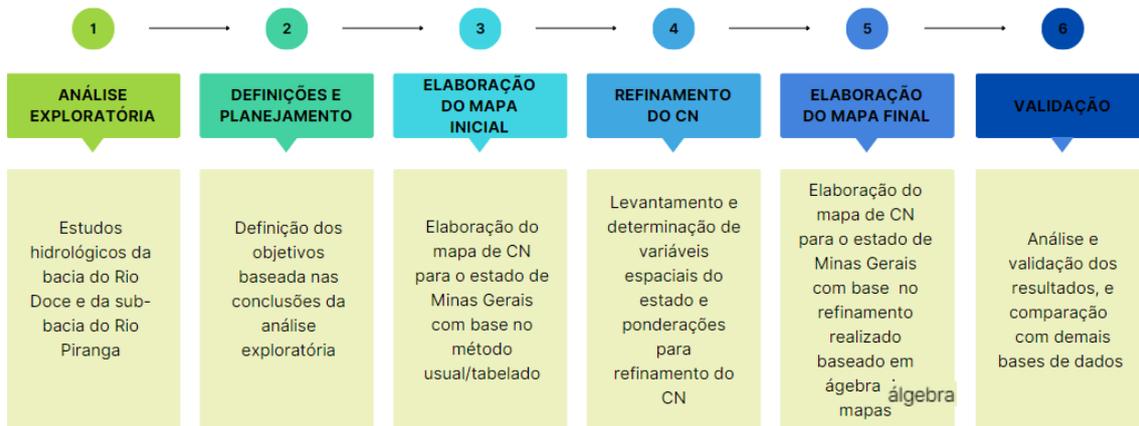
O IGAM (2020) indica que no estado de Minas Gerais têm sido realizados diagnósticos voltados ao entendimento dos sistemas hídricos de maneira holística para direcionar as ações públicas para as questões de maior criticidade, porém ainda não existem dados para o coeficiente CN refinados para o contexto do estado.

Desta forma, o presente estudo visa adaptar o coeficiente CN de forma espacialmente explícita para o contexto do estado de Minas Gerais, gerando uma base de dados concisa e representativa para caracterizar o regime de escoamento nas paisagens de Minas Gerais.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa é do tipo descritivo-exploratória e quantitativa, buscando a descrição de características dos fenômenos envolvidos com um conjunto de variáveis espaciais e sua validação em estudo de caso. A metodologia do trabalho foi realizada conforme as etapas apresentadas na Figura 1:

Figura 1: Fluxograma metodológico.



3.2.1. Análise exploratória

Buscando entender a viabilidade e as necessidades para a construção de uma camada hidrológica para incorporar no mapeamento de unidades de paisagem do Estado de Minas Gerais, o presente estudo se iniciou com uma análise exploratória de uma bacia do estado.

Nesta etapa, foram calculadas métricas da paisagem da Bacia do Rio Doce, tanto para caracterizar a composição (quantos tipos de usos e coberturas) mas também a sua configuração (como esses usos estão distribuídos no espaço) (Carvalho Ribeiro et al. 2021), com o auxílio do software Fragstats (McGarigal and Marks 1995).

Dada a extensão da bacia, com área de quase 87.000 km², optou-se por levar a análise também ao nível de sub-bacia, visto que a metodologia a ser explorada no entendimento do regime hidrológico, do SCS (1986), aponta melhor desempenho da metodologia para bacias com menores áreas. Por isso a segunda etapa de análise exploratória contemplou a sub-bacia do Rio Piranga, sendo um local de conhecimento prévio e com disponibilidade de dados.

Após o levantamento e análise dos dados, observou-se disponibilidade de dados espaciais para o estado de Minas Gerais, base de dados de precipitação e

acervo científico para diversas bacias, inclusive de construção e simulação a partir de modelos hidrológicos baseados no método do SCS com o coeficiente CN.

Contudo, análises hidrológicas baseadas em modelos que utilizam esta metodologia possuem a limitação do coeficiente CN, sendo este empírico e baseado em tabelas que consideram o contexto regional do Estados Unidos (SCS 1986; Gao et al. 2006; Cao et al. 2011).

Por isso, a metodologia do trabalho se direcionou a realizar análises e verificações empíricas para a obtenção de valores de CN condizentes com o contexto, não apenas da Bacia do Rio Doce, mas do estado de Minas Gerais como um todo, conforme descrito a seguir.

Para corroborar com este objetivo, foram realizados testes com diferentes valores de CN aplicados em equações hidrológicas de chuva-vazão utilizando os dados Bacia do Rio Doce, o que indicou que de fato se trata de uma variável sensível dentro da construção de modelos baseados nestas equações.

Ou seja, havendo variação no CN, há mudanças significativas nos resultados de vazões simuladas. Por isso trabalhar com valores de CN mais próximos do contexto regional resulta em modelos mais assertivos e que permitam simulações mais precisas, viabilizando o mapeamento do regime hidrológico para potencialmente ser incorporado na concepção de unidades de paisagem.

3.2.2. Levantamento de dados

Tendo em vista o objetivo de calcular e mapear valores de CN tabelados e adaptados para o estado de Minas Gerais (MG), inicialmente foi necessário o mapeamento a partir do CN pelo método usual de tabelas, tanto para servir como base do refinamento quanto para comparativo dos resultados obtidos.

O método tabelado se baseia no tipo de solo e no uso e cobertura da terra (para detalhes consultar material suplementar). Para o uso e cobertura da terra foram utilizados os dados do IBGE de 2018 (resolução 30 m e escala 1:1.000.000), e para os tipos de solo foi feito o enquadramento do tipos de solo da pedologia simplificada do estado nos quatro grupos hidrológicos de solo do método do SCS. Para isso, a descrição dos tipos de solo do mapa de solos de MG, elaborado pela UFLA, foi relacionada com estes grupos hidrológicos (Sartori 2004), gerando um mapa de solos dentro dos grupos requeridos pelo método.

Já para o refinamento dos valores de CN, foram utilizados os dados do IDE-Sisema que pudessem representar o contexto do estado e tivessem representatividade para serem incorporados na análise do regime hidrológico. Carvalho and Rodrigues (2021) recomendam que dados locais espacialmente explícitos sejam incorporados na composição de mapas de CN, sendo importante a relação dos dados incorporados com o regime de escoamento.

3.2.3. Caracterização da área de estudo

De acordo com Collischonn e Tucci (2001), para a realização de análises no campo da hidrologia se faz necessário o estudo da área analisada para caracterizar o meio em seu âmbito físico, químico, biológico e social. Isso porque a caracterização completa da área de estudo permite a interpretação dos resultados de forma mais compreensiva, e o entendimento da situação atual e do histórico que pode ser associado às condições atuais.

Para o estado de Minas Gerais foram coletados e analisados os dados espaciais do IDE-Sisema, sendo confrontados mapas ambientais, geológicos e sociais, com os dados de precipitação da ANA e do INMET e com a malha hídrica, visando entender o ciclo básico hidrológico das bacias.

Além disso, foram consultadas as cartas de inundação para a identificação de regiões vulneráveis, e foi feita a leitura de documentos e relatórios disponibilizados pelos órgãos ambientais do estado em que a pauta eram os recursos hídricos, assim como pesquisas de cunho hidrológico relevantes já realizadas no território.

Entender previamente a dinâmica hídrica do estado permitiu análise crítica dos resultados e interpretação de sua representatividade e potencial.

3.2.4. Mapeamento do Número da Curva (CN)

Para a composição do mapa contendo os valores iniciais de CN (método tabelado), foi estabelecida a relação entre os tipos de solo e as classes de uso do solo do método Soil Conservation Service - SCS, apresentado em Tucci et al. (1995), com os tipos de solo do mapa de solos do estado (SEMAD, 2010) e as classes de uso e cobertura apresentadas pelo IBGE (2018). A tabela 2 apresenta as relações consideradas:

Tabela 2: Relações estabelecidas na determinação de CN.

	Variável	Relação adotada para cálculo do Número da Curva	
Tipo de solo	Solos	Mapa de Solos de Minas Gerais + tabela do método + considerações de Satori (2004) = enquadramento da pedologia simplificada de MG nos grupos hidrológicos A, B, C ou D;	
Uso do solo	Uso e Cobertura do Solo - Adaptação das classes do IBGE (2018) para as classes de Tucci, Porto e Barros (1995)	<i>Uso do solo - IBGE</i>	<i>Uso do solo - Tabelado</i>
		Área Agrícola	média dos valores: zonas cultivadas com conservação do solo e sem conservação do solo;
		Área Artificial	média dos valores: zonas comerciais e de escritórios, zonas industriais, zonas residenciais e arruamentos e estradas. *Zonas residenciais: média entre todos os tamanhos de lotes, pela variabilidade (MINAS GERAIS, 2021) **Arruamentos e estradas: asfaltadas e com drenagem de águas pluviais, segundo IBGE (2018);
		Área Florestal	Floresta: cobertura boa;
		Área Úmida	Bosques ou zonas com cobertura ruim, por serem áreas com vegetação, porém baixa infiltração devido à saturação, conforme descrição do IBGE (2018);
		Ocupações em Área Campestre ou Área Florestal	Zonas residenciais: média dos valores de % média impermeável de 20 a 38, de acordo com o diagnóstico do Cadastro Ambiental Rural (CAR) (MINAS GERAIS, 2018);
		Pastagem com Manejo	Pastagens ou terrenos em más condições;
		Silvicultura	média dos valores: zonas cultivadas com conservação do solo e sem conservação do solo;
		Vegetação Campestre	Bosques ou zonas com cobertura ruim;
		Vegetação Florestal	Floresta: cobertura boa;

Tendo estas relações estabelecidas, foi possível encontrar os valores iniciais de CN para o estado e mapeá-los, com auxílios de ferramentas do QGIS.

3.2.5. Refinamento do Número da Curva (CN)

Para o refinamento dos valores iniciais, foram selecionados dados espaciais da área que influenciam diretamente da capacidade de escoamento, e, conseqüentemente em CN, conforme recomendam Carvalho e Rodrigues (2021). Estes dados foram selecionados a partir das bases de dados do estado de Minas Gerais, e das relações entre aspectos do meio físico e ambientais e a distribuição das águas precipitadas, conforme Stewart et al. (2012); Woodward et al. (2018); Carvalho

and Rodrigues (2021).

A seleção de variáveis buscou incorporar dados que possuem direta e inversamente proporcionais ao CN, dado que seria realizada uma álgebra de mapas e o intervalo do coeficiente deve, ao final, variar de 0 a 100.

Tendo-se o mapa inicial de CN e as variáveis a serem utilizadas no refinamento em formato *shapefile*, foi feita a avaliação de cada uma destas variáveis, verificando se são diretamente ou inversamente proporcionais ao coeficiente (ver detalhe no material suplementar).

Então foi estabelecido um fator de influência de 10% para as variáveis com relação ao CN. Ou seja, à medida que a variável aumenta ou diminui o CN aumenta ou diminui em 10%, de acordo com o conceito da variável e seu potencial em aumentar ou diminuir os índices de escoamento superficial.

A atribuição do fator de influência se deu a partir de álgebra de mapas, com base no mapeamento inicial do CN tabelado para o estado. Este percentual foi atribuído para posterior verificação de representatividade dentro da dinâmica local, e foi definido com base nas etapas de análise exploratória e caracterização da área de estudo.

Ou seja, dado que o coeficiente CN foi desenvolvido pelo SCS de maneira empírica, após análises e avaliações do sistema local (no caso o território dos Estados Unidos), este trabalho realizou atribuições de percentuais de influência de variáveis espaciais do estado de Minas Gerais para avaliar empiricamente o desempenho do refinamento de CN.

Conforme apontam Woodward et al. (2018), utilizar o método de tentativas e validações para a obtenção de valores de CN adaptados é uma das alternativas metodológicas, dada a possibilidade de validação com dados coletados em campo. Isso permite lidar com as limitações do método e encontrar valores mais concisos e representativos, principalmente ao utilizar a estatística para corroborar com os resultados encontrados.

A Tabela 2 mostra as variáveis utilizadas no refinamento e a álgebra realizada com os dados espaciais (considerando a influência de 10%) a partir dos valores iniciais de CN (método tabelado):

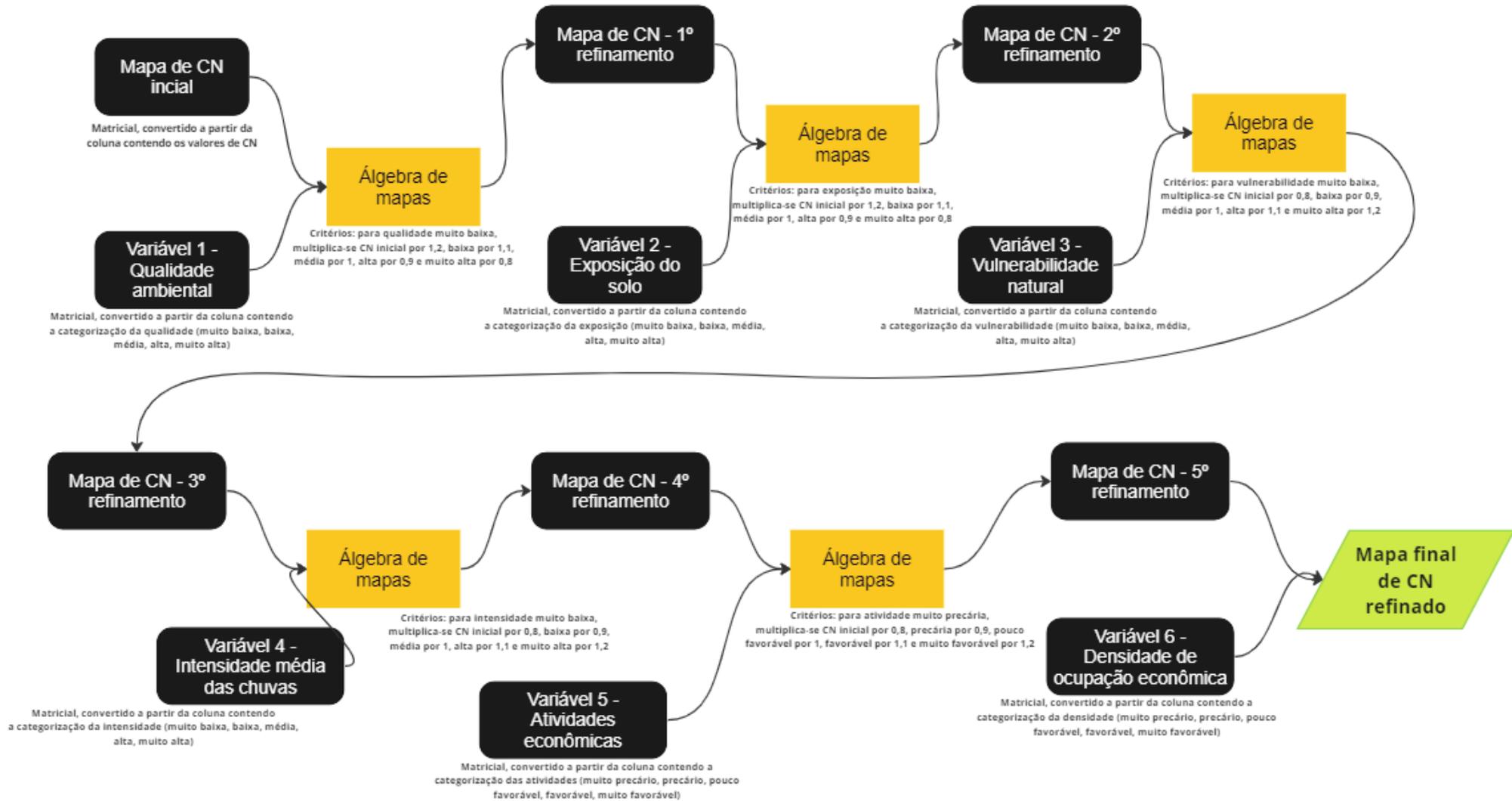
Tabela 3: Variáveis e pesos utilizados no refinamento de CN.

<p style="text-align: center;">Qualidade Ambiental E Exposição do Solo</p>	<p style="text-align: center;">Muito Baixa: multiplicação por 1,2 Baixa: multiplicação por 1,1 Média: valores mantidos Alta: multiplicação por 0,9 Muito Alta: multiplicação por 0,8</p>
<p style="text-align: center;">Vulnerabilidade Natural E Intensidade Média das Chuvas</p>	<p style="text-align: center;">Muito Baixa: multiplicação por 0,8 Baixa: multiplicação por 0,9 Média: valores mantidos Alta: multiplicação por 1,1 Muito Alta: multiplicação por 1,2</p>
<p style="text-align: center;">Atividades Econômicas E Densidade de Ocupação Econômica</p>	<p style="text-align: center;">Muito Precário: multiplicação por 0,8 Precário: multiplicação por 0,9 Pouco Favorável: valores mantidos Favorável: multiplicação por 1,1 Muito Favorável: multiplicação por 1,2</p>

Destaca-se que todas as camadas vetoriais da tabela acima possuem escala 1:1.000.000.

Para auxiliar a álgebra de dados espaciais foi construído um modelo no Dinamica EGO, usando metodologia proposta por Soares-Filho et al. (2009), visando automatizar o processo. Os dados vetoriais (.shp) foram convertidos em formato matricial (.tif) com o auxílio do ArcGIS e inseridos no Dinamica EGO para a construção de um modelo que realizasse a álgebra de mapas para incorporação das variáveis a partir do CN inicial. Este modelo se baseou no seguinte fluxo metodológico (Figura 2).

Figura 2: Fluxograma metodológico do refinamento de CN.



Após a obtenção do mapa de CN refinado, os resultados foram trabalhados no QGIS para a análise de resultados, possíveis ajustes e layout do mapa final. Os valores refinados foram analisados, e, como o intervalo apresentou valores acima 100 para o CN, foram necessárias ponderações.

Nesse sentido, considerando os trabalhos desenvolvidos por (Carvalho and Rodrigues, 2021; Walega and Salata, 2019 e Woodward et al., 2002) e a própria concepção da metodologia do SCS do coeficiente CN, que varia de 0 a 100, os valores superiores a 100 observados após o refinamento foram enquadrados como sendo o valor máximo do coeficiente 100. Essa opção metodológica foi escolhida em detrimento do reescalonamento dos valores (valor máximo corresponde a 100, etc).

Tendo em vista que CN igual à 100 indica solo saturado e águas precipitadas sendo totalmente escoadas superficialmente, valores superiores a 100 representam também taxa de escoamento máxima, estando na mesma classe do valor 100. Assim, foi possível estimar a porcentagem das áreas em Minas Gerais com esse perfil hidrológico.

3.2.6. Compilação, análise e validação dos resultados

A partir do refinamento dos valores de CN para o estado de Minas Gerais, foi elaborado um mapa final contendo os valores observados. Conforme dispõem Walega e Salata (2019), a utilização de valores de CN eficientemente representativos é de suma importância para estudos e para a eficiência de modelos hidrológicos, os quais possuem ampla aplicação. Portanto, o mapa gerado se trata de uma ferramenta para não só para a gestão hídrica, mas também é um importante critério para definir a homogeneidade e funcionalidade das Unidades de Paisagem em Minas Gerais.

Para analisar o mapa final, foi selecionada uma bacia hidrográfica de conhecimento prévio para avaliação da confiança dos resultados obtidos para CN. Assim, os dados de CN refinados foram confrontados com a caracterização hidrológica da Bacia do Rio Doce realizada previamente.

Ao confrontar os dados do local e os valores obtidos para o coeficiente, foi possível analisar estimativas dos resultados obtidos, conforme corroboram Stewart et al. (2012). Essa comparação foi possível a partir das ferramentas de softwares de geoprocessamento, comparando os resultados obtidos com dados hidrológicos e ambientais, neste caso vulnerabilidade à eventos extremos de inundação e CN

observado em área de preservação.

Para validar os resultados, comparou-se os valores de CN refinados aos dados de vulnerabilidade a eventos extremos de inundação, elaborado pela ANA de 2015 para a Bacia do Rio Doce, observando a ocorrência de valores do coeficiente nas vulnerabilidades alta, média e baixa.

Além disso, para o recorte da sub-bacia do Rio Piranga, também explorada na etapa inicial de análise, foi realizada uma análise visual da incidência de valores de CN refinados através de uma área de preservação ambiental, onde já são esperados valores de CN baixos, dada a preservação do local e dinâmica de equilíbrio hidrológico.

Como na etapa de análise exploratória já haviam sido levantados dados físicos e hidrológicos do território da Bacia do Rio Doce, foi possível validar os resultados obtidos também com a construção de um modelo básico preliminar para uma sub-bacia do Rio Piranga, denominada Santa Rita de Minas, com área inferior a 90 km².

O modelo foi construído com dados de entrada básicos no HEC-HMS, objetivando comparar a vazão de pico obtida em duas simulações: com o CN inicial (método tabelado) e com o CN final (pós refinamento), e ao final comparar ambas as vazões simuladas com vazões máximas observadas na estação de monitoramento da ANA do local.

Esta modelagem foi realizada de forma básica para representar uma das validações dos resultados, por isso foi selecionada uma sub-bacia de menor área, com dados de série histórica de precipitação e dados físicos. O HEC-HMS permite a construção de modelos básicos, porém para que os resultados obtidos nestes modelos sejam aplicados efetivamente são necessárias validações (Khoi, 2016). O presente estudo utilizou a ferramenta de modelagem para validar os resultados a partir de comparação, e os resultados do modelo não foram utilizados em outras etapas.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa de análise hidrológica preliminar, inicialmente da Bacia do Rio Doce e posteriormente com enfoque na sub-bacia do Rio Piranga indicou que estas áreas de estudo apresentam um aumento de coberturas relacionadas à antropização, havendo pressão sobre o meio ambiente e recursos naturais, conforme Figuras 3 (Bacia Rio Doce) e 4 (Sub-bacia Piranga). Estas figuras apontam a forte presença de agropecuária no território, estando em concordância com outros trabalhos que mostram a relação entre a expansão de atividades antrópicas, a pressão crescente sobre recursos naturais e aumento da vulnerabilidade local (Coelho 2007; Cupolillo 2008; Silva et al. 2011; Salvador 2014; Felipe et al. 2016; Milanez and Losekann 2016).

Figura 3: Usos do solo na Bacia do Rio Doce.

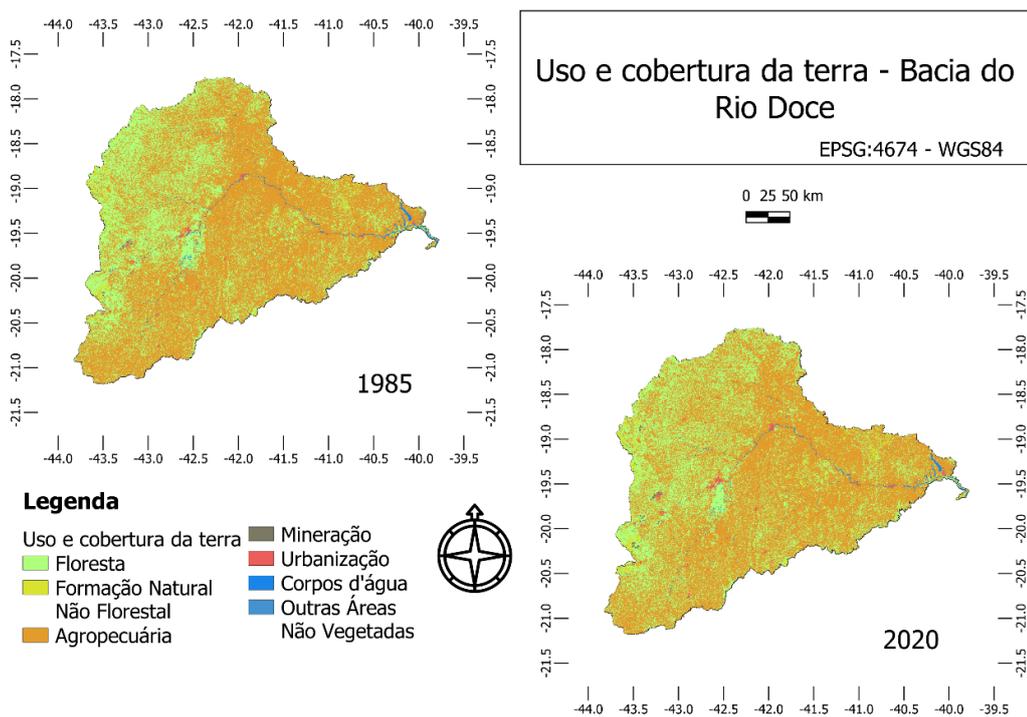
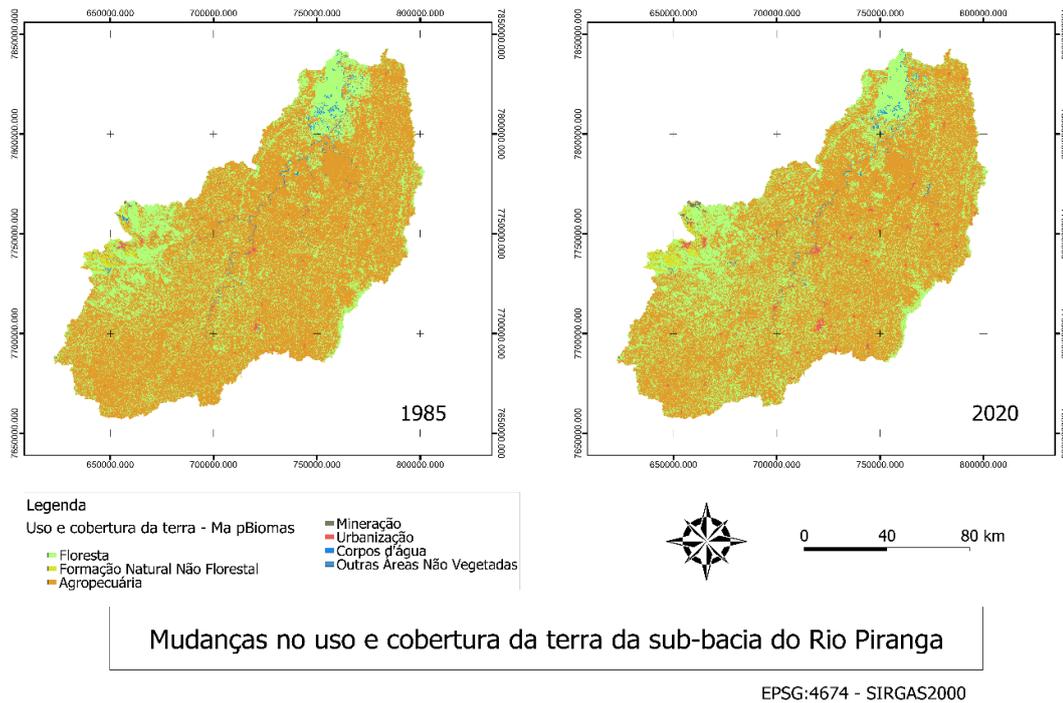


Figura 4: Usos do solo na sub-bacia do Rio Piranga.

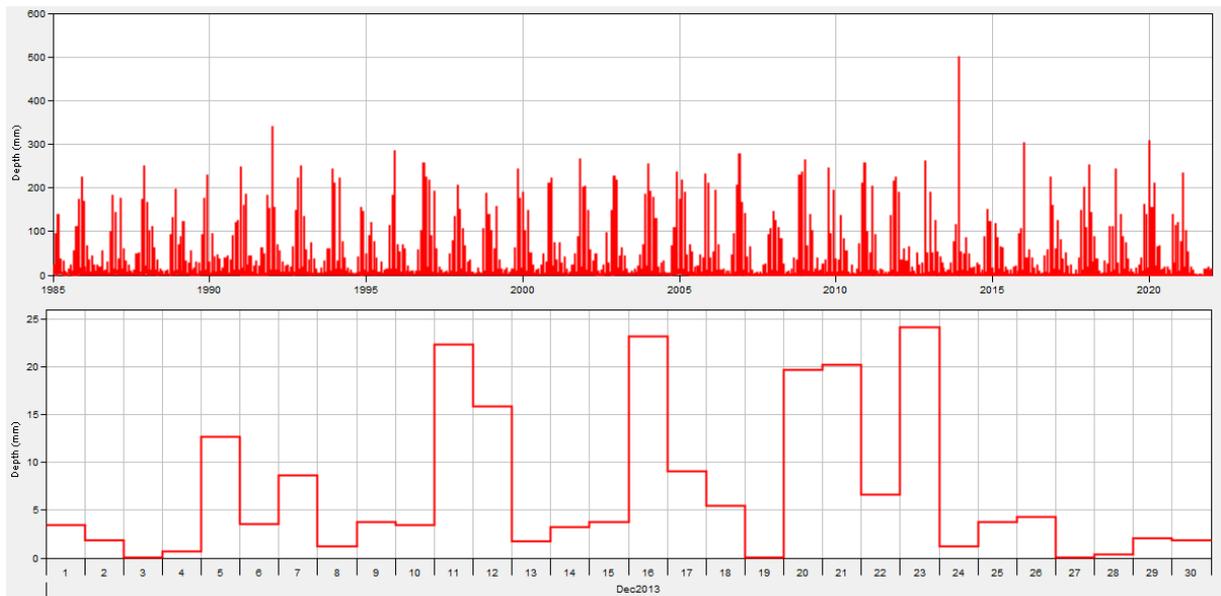


Além do aumento de atividades agropecuárias e de mineração, e diminuição de áreas florestais, a Bacia do Rio Doce se tornou ainda mais vulnerável após o rompimento da Barragem de Fundão em 2015 (Espindola et al., 2019), que, segundo a ONU (2016) foi um dos desastres ambientais com maior perda ambiental da história, e o maior no Brasil.

Assim, a região precisa de mais estudos, construindo modelos para simular as condições ambientais e explorar opções viáveis para a gestão dos recursos, inclusive para aumentar o equilíbrio do ciclo hidrológico, reduzindo a ocorrência de eventos extremos hidrológicos e gerindo a paisagem funcionalmente.

A Figura 5 mostra os resultados gráficos dos volumes precipitados na bacia do Rio Doce, tanto para toda a série histórica de dados das estações de monitoramento (1985 a 2020, acima na figura), quanto para uma precipitação intensa (em dezembro de 2013, abaixo na figura), obtidos a partir das estações de monitoramento da ANA e INMET (mapeadas conforme material suplementar).

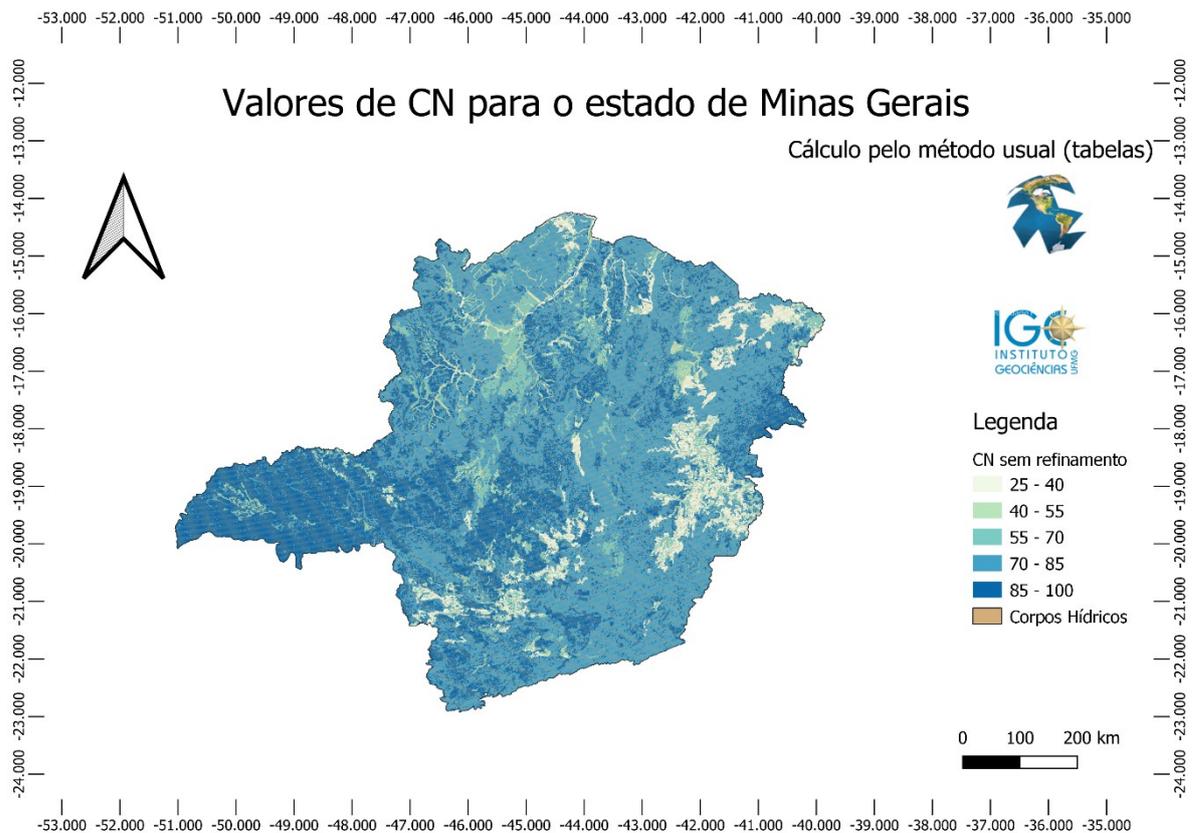
Figura 5: Precipitação da Bacia do Rio Doce.



É possível observar que a região possui estações bem definidas, com meses em que é esperado o aumento do volume precipitado, tornando favorável a utilização de modelos hidrológicos para simulações (Khoi, 2016).

Na Figura 6 está apresentado o mapa contendo os valores iniciais de CN, obtidos a partir do método usual de tabelas, conforme relações estabelecidas na etapa metodológica:

Figura 6: Mapa de CN baseado no método de tabelas para o estado de Minas Gerais.



Os valores baixos de CN podem ser interpretados como proximidade ao equilíbrio natural e desejável entre escoamento e infiltração (Canholi 2014), enquanto valores elevados estão relacionados a uma elevada taxa de escoamento superficial, geralmente associadas a locais com interferência antrópica no meio.

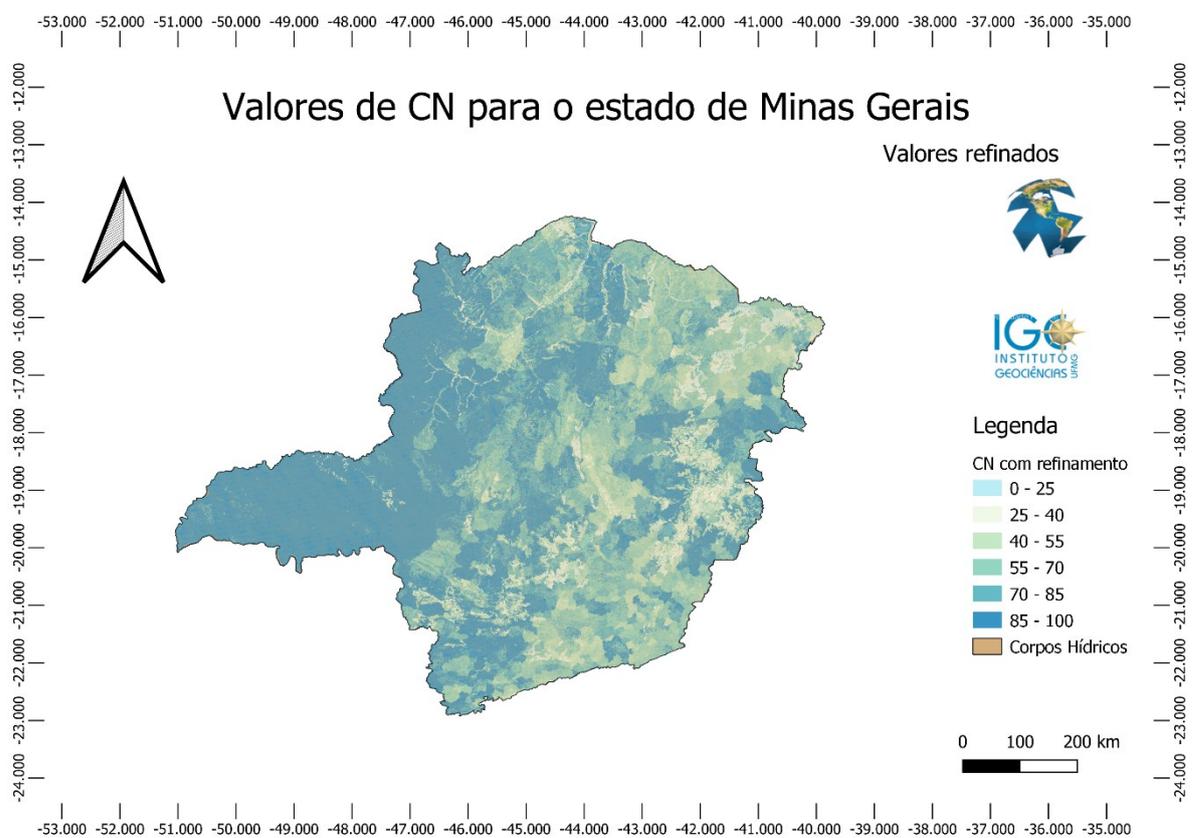
As tabelas do método (Tucci et al. 1995) e os respectivos valores de CN para diferentes usos do solo permitem entender o comportamento do coeficiente, que quanto menor, se associa a ambientes mais naturais e preservados. Além da apresentação visual, estes dados estão apresentados na Tabela 4, que exibe a representatividade dos intervalos de CN com relação à área total do estado.

Tabela 4: Representatividade dos valores de CN com relação à área total do estado com base no método tabelado.

Intervalos de CN	% da área total do estado de MG
25 - 40	6,462
40 - 55	1,523
55 - 70	7,966
70 - 85	51,655
85 - 100	32,393

O refinamento baseado na metodologia descrita previamente, resultou no mapa de CN apresentado na Figura 7, após considerações geralmente necessárias ao manipular espacialmente o CN para sua adaptação, a depender do método utilizado (Valle Junior et al. 2019). Neste caso, a consideração realizada na manipulação dos resultados foi o enquadramento do CN ao intervalo de 0 a 100, conforme descrito na metodologia.

Figura 7: Mapa de CN refinado para o estado de Minas Gerais.



O mapa acima expressa visualmente a relação entre as taxas de escoamento e infiltração, conforme a definição do CN. Portanto, pode ser usada como ferramenta na identificação de focos para intervenção, assim como locais essenciais para a manutenção do equilíbrio hidrológico (Herrera-Sánchez MD e Navarro-Bermúdez, 2021; Machado, 2002; Oliveira et al., 2016).

Dessa forma, os valores máximos de 100 indicam locais onde há escoamento superficial total das águas precipitadas, prioritários para intervenção devido ao desequilíbrio do ciclo hidrológico ideal. Assim, os valores refinados mostram locais vulneráveis, com valores elevados em regiões a serem consideradas para ações de gestão hídrica e atenuação do volume escoado. Também são indicados e locais onde o CN muito baixo reforça a necessidade de manutenção da preservação para auxiliar o equilíbrio ecossistêmico.

Ou seja, os valores refinados representam o comportamento do fluxo das águas e permite priorizações e gestão dos recursos (Woodward et al., 2018). A Tabela 5 apresenta um resumo das informações contidas no mapa pós refinamento, apontando a representatividade dos intervalos de, com padronização de valores de 0 a 100, com relação à área total do estado:

Tabela 5: Representatividade dos valores de CN com relação à área total do estado após o refinamento dos dados.

Intervalos de CN	% da área total do estado de MG
0 - 25	0,812
25 - 40	4,371
40 - 55	10,227
55 - 70	20,063
70 - 85	21,433
85 - 100	43,906

Na Tabela 6 podemos observar a representatividade de valores baixos, médios e altos com relação à área total do estado de Minas Gerais antes e após o refinamento, ressaltando-se que cursos d'água possuem CN igual a 100 (SCS, 1986):

Tabela 6: Dados de CN para o estado de Minas Gerais após o refinamento dos dados.

Intervalos de CN	% da área total do estado de MG	
	CN tabelado	CN refinado
Baixo – 0 a 40	6,46	5,18
Médio - 40 a 70	9,49	30,29
Alto – 70 a 100	84,05	65,34

Os dados da tabela acima indicam que o refinamento mudou a distribuição dos valores de CN, passando de predominante baixos para predominantemente médios e altos. A antropização e os índices de intervenção, degradação ambiental e a própria ocorrência de eventos extremos hidrológicos corroboram para a distribuição de valores encontrada pós refinamento (Fernandes et al., 2005).

Após recorte dos dados refinados para a bacia do Rio Doce, confrontando estes resultados com os dados de CN sem o refinamento e com 6 áreas susceptíveis à inundação na bacia, apontados pelo mapa de vulnerabilidade da bacia (ANA, 2015), tem-se a Tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Comparação entre áreas vulneráveis a eventos extremos de inundação e os valores de CN com refinamento para estas áreas.

Referência	Vulnerabilidade	CN
Município São João Evangelista	Alta	92,5
Município Governador Valadares	Alta	100
Município Passabem	Média	47,5
Município Santa Rita de Minas	Média	50,46
Município Vargem Alegre	Baixa	26,4
Município Iapu	Baixa	21,56

Além destes municípios selecionados para análise amostral, o mapa contendo a vulnerabilidade a eventos extremos de inundação para o estado de Minas Gerais foi sobreposto ao mapa com os valores de CN refinados, visando avaliar a frequência dos valores para cada classe de vulnerabilidade. A Tabela 8 apresenta estes resultados:

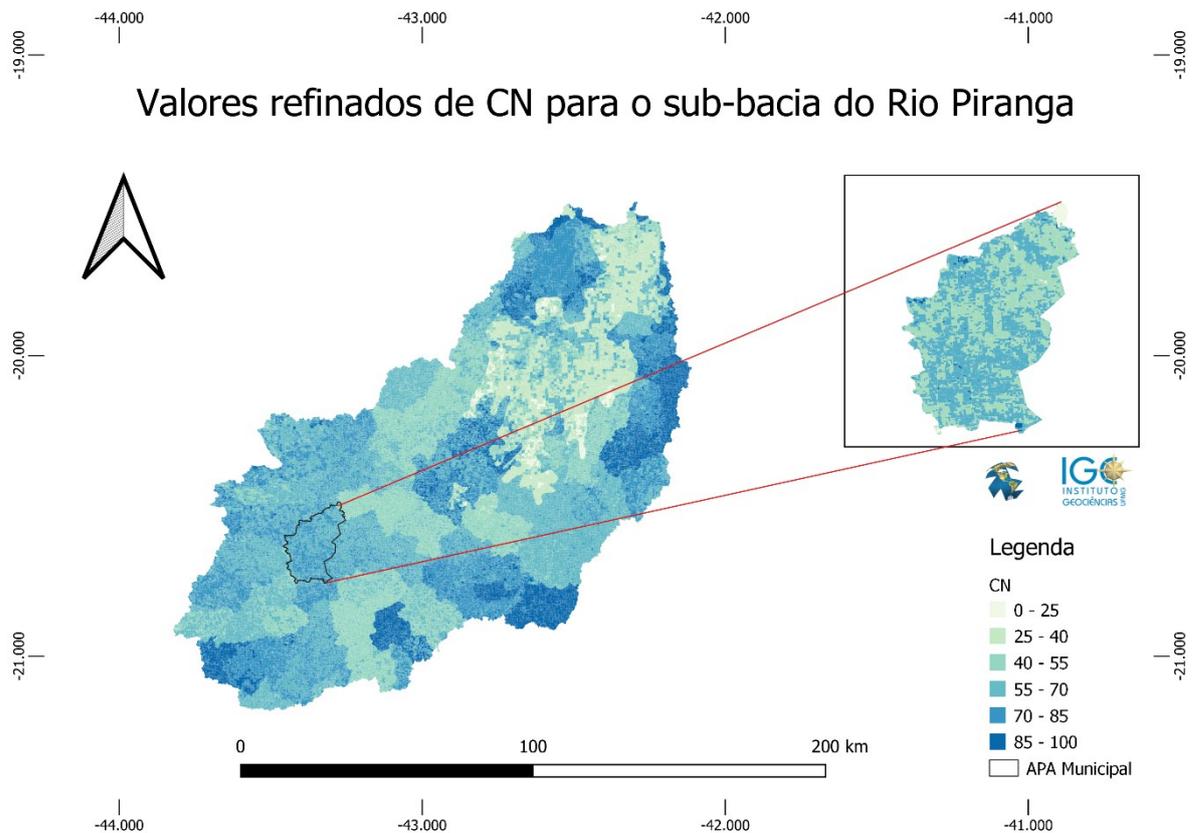
Tabela 8: Frequência de valores de CN em intervalos para cada vulnerabilidade à eventos extremos.

CN	Frequência / Vulnerabilidade		
	Alta	Média	Baixa
< 13	1	1	4
13 a 24	2	16	20
25 a 34	4	10	17
35 a 44	7	10	18
45 a 54	2	10	16
55 a 64	5	10	18
65 a 74	7	10	12
75 a 84	9	10	14
85 a 94	13	10	10
95 a 100	102	70	38

Observa-se que o refinamento possibilitou uma representação alinhada com os dados hidrológicos locais. Cabe salientar que o comportamento dos valores de CN é um bom indício quanto à susceptibilidade de um local às inundações, e que o valor do coeficiente auxilia na justificativa de tais eventos, e vice-versa (Woodward et al. 2018).

Após análise da bacia do Rio Doce, que apontou a eficiência no refinamento realizado, para prosseguir com a etapa de validação dos resultados foi realizado o recorte para a sub-bacia do Rio Piranga. Na Figura 8 são apresentados os dados de CN refinado para esta sub-bacia.

Figura 8: Mapa de CN refinado para a sub-bacia do Rio Piranga.



Conforme observado na Figura 8, e realizando-se análise comparativa com as tendências de uso do solo da sub-bacia (Figura 4), os valores refinados apresentam coerência com relação à dinâmica local. Para visualizar esta conclusão, foi feito um recorte para um Área de Preservação Ambiental (APA) municipal dentro da sub-bacia do Rio Piranga, conforme visto na Figura acima.

Os valores de CN da APA municipal apontam maior parte dos valores como baixos, o que é esperado em áreas preservadas. Porém, neste local também são observados CNs de até 84, o que pode ser explicado pelo fato de as regiões de preservação na sub-bacia do Piranga muitas vezes associarem a preservação com atividades e estruturas, como por exemplo para fins lazer, o que modifica diretamente a capacidade de infiltração do solo (Salvador 2014). Ressalta-se que se trata de um parque, e não uma área de proteção integral.

Portanto, os valores de CN mapeados e refinados apontam que, mesmo nos locais preservados, que possuem valores baixos e desejáveis, existem pontos onde o CN é alto, não havendo a relação de *escoamento x infiltração* esperada para uma área

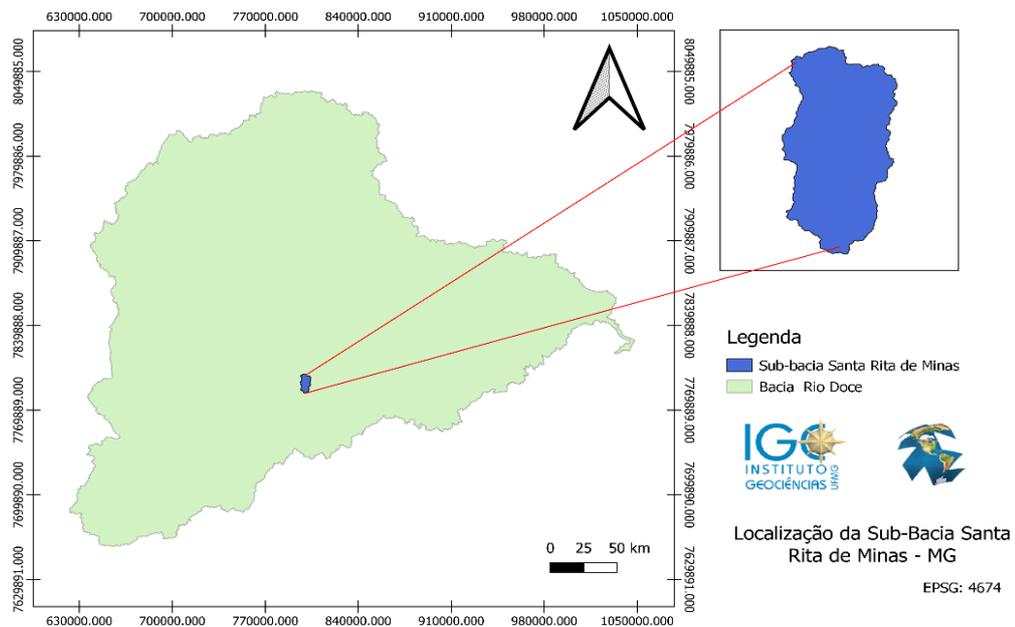
preservada com boa cobertura. Estes justamente são os pontos de atenção e/ou intervenção a serem considerados.

Observa-se, tanto para o estado de Minas Gerais quanto para a Bacia do Rio Doce e sub-bacia do Rio Piranga, uma grande variação espacial nos valores de CN. Dada a variabilidade dos parâmetros de entrada e a própria composição das paisagens, espera-se que os coeficientes de CN que representem a realidade sejam variáveis, visto que em um cenário real o uso e cobertura da terra varia espacialmente até mesmo em áreas pequenas, assim como os tipos de solo (Woodward et al. 2018).

Para a validação da eficiência dos valores refinados de CN no contexto de aplicação destes valores, foi selecionada uma sub-bacia pertencente à bacia do Rio Doce (Figura 9), com área de aproximadamente 90 km², para simulação hidrológica e comparação dos resultados com os valores obtidos da estação de monitoramento da ANA que se encontra nesta sub-bacia.

Foi construído um modelo básico no HEC-HMS tendo como entrada os dados físicos da sub-bacia (Figura 9) e a série histórica de precipitação (dados diários de dezembro de 2006 a outubro de 2022, obtidos na base de dados da ANA). Esta validação apresentou os resultados observados na Tabela 9:

Figura 9: Localização da sub-bacia Santa Rita de Minas.



Área (km ²)	Declividade média (%)	Comprimento Rio (m)	CN tabelado	CN refinado
89,905	31%	19478,96	72,560	35,405

Tabela 9: Comparação entre simulações hidrológicas com CN tabelado e CN refinado para a sub-bacia Santa Rita de Minas.

Vazão de pico – CN tabelado	Vazão de pico – CN refinado	Vazão de pico – Estação de Monitoramento
117,6 m ³ /s	40,0 m ³ /s	28,28 m ³ /s

As simulações indicam que, ao utilizar os valores refinados na simulação, a vazão resultante se aproxima da vazão observada *in situ*, o que indica que o modelo está mais aderente e representativo a realidade local, no contexto da sub-bacia. O desempenho do CN e seu potencial na construção de modelos concisos são importantes ferramentas para os estudos hidrológicos e estudos da paisagem e ordenamento e planejamento territorial (Jin et al., 2003; Calzavara and Fernandez, 2005).

A simulação apresentada na tabela acima se deu apenas com dados físicos básicos para comparar a aderência do CN refinado, o modelo não foi calibrado e validado, portanto, os dados indicados visam validar o presente estudo no que concerne ao refinamento de CN para o contexto das paisagens mineiras. Ainda, a vazão de pico indicada para a estação de monitoramento se trata da maior vazão observada na estação local no período de 2006 a 2022, conforme base de dados da ANA.

3.4. CONCLUSÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos é uma área de extrema importância dentro da gestão dos recursos naturais e do planejamento, estando diretamente relacionado com o uso e cobertura da terra e suas mudanças, assim como com fatores climáticos e características físicas ambientais.

A utilização de análise espacial juntamente com modelos hidrológicos e simulações se torna uma importante ferramenta neste sentido. Quanto melhor a qualidade dos dados de entrada, mais precisos e eficientes se tornam os modelos e seus dados gerados. Sendo o método do Número da Curva (CN) uma metodologia disseminada para cálculos envolvendo variáveis hidrológicas, e amplamente utilizado como base da modelagem nesta área, trabalhar em suas limitações e em maneiras de aprimorar seu coeficiente base é uma maneira de melhorar o desempenho dos modelos e trazer as representações para próximo das realidades locais.

Ao refinar os valores de CN para o estado de Minas Gerais, incorporando variáveis que representam características do local que influenciam diretamente nos processos de escoamento e conseqüentemente no valor do coeficiente, obteve-se um mapa com valores de CN que se espera que sejam mais alinhados à realidade Mineira, e que também permitem uma visualização acerca do comportamento das variáveis envolvidas no balanço hidrológico no território.

Adaptar e refinar o valor de CN tem sido o foco de outros estudos já realizados, principalmente por se tratar de um coeficiente amplamente utilizado em modelos. Os valores deste coeficiente, para além da aplicação em modelos, permite a interpretação das condições locais de escoamento e infiltração, avaliando o equilíbrio e a vulnerabilidade das áreas estudadas.

Confrontando-se os dados obtidos no refinamento com características locais pertinentes à hidrologia e modelagem já executada, foi possível verificar que os valores encontrados são capazes de estimar a realidade, podendo ser utilizados para estudos e simulações, com grande potencial para a obtenção de resultados mais precisos.

Dessa forma, o mapa gerado é um instrumento dentro da hidrologia, e supre uma limitação do método tradicional para o cálculo de CN, que utiliza tabelas e dados empíricos para calcular o coeficiente sem considerar as particularidades locais. Por fim, recomenda-se a utilização dos valores espaciais gerados para a construção de

modelos concisos no âmbito da hidrologia, que possam ser confrontados com dados de referência para validação e então serem utilizados para simulações e construção de cenários futuros.

Os resultados do mapa refinado de CN podem ser usados como uma camada para representar a componente hidrológica e subsidiar o desenvolvimento de unidades de paisagem em Minas Gerais. Esta informação pode ser usada para subsidiar a formulação de políticas públicas e a gestão das diferentes unidades de paisagem em Minas Gerais.

O mapa de CN refinado depois de aprimoramentos e validações em outras bacias, para além do Rio Doce poderá permitir, por um lado diferenciar dentro das UPs já desenvolvidas pela EMATER (2014) e poderá subsidiar uma nova forma de delimitação das UPs incorporando os valores de CN refinado.

Este trabalho, pode contribuir para atingir os ODS 6 (Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos), ODS 11 (Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis) e

ODS 15 (Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade).

3.5. REFERÊNCIAS

ANA (2015) Modelo Digital de Elevação (MDE) de moderada resolução espacial (células de 10m) da Bacia do Rio Doce. In: Catálogo de Metadados da ANA. <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b4cfe37d-467c-4b67-8aaa-841b4081925b>. Accessed 3 May 2023

Azizah C, Pawitan H, Dasanto BD, et al (2022) Risk assessment of flash flood potential in the humid tropics Indonesia: a case study in Tamiang River basin. *International Journal of Hydrology Science and Technology* 13:57–73. <https://doi.org/10.1504/IJHST.2022.119236>

Beroutchachvili N, Bertrand G (1978) Le géosystème ou «système territorial naturel». *rgpso* 49:167–180. <https://doi.org/10.3406/rgpso.1978.3548>

Britto MC de, Ferreira C de CM (2011) PAISAGEM E AS DIFERENTES ABORDAGENS GEOGRÁFICAS. *Revista de Geografia - PPGeo - UFJF* 1:

Bussi G, Ortiz E, Francés F, et al (2010) Modelación hidráulica y análisis del riesgo de inundación según las líneas guía de la Directiva Marco del Agua. El caso de la Marina Alta y la Marina Baja (Alicante)

Calzavara SF, Fernandez OVQ (2015) USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E NÚMERO DE CURVA (CN) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MATILDE CUÊ, MARECHAL CÂNDIDO RONDON (PR). *Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)* 7:185–209. <https://doi.org/10.4025/geoinga.v7i1.49290>

Canholi AP (2014) Drenagem urbana e controle de enchentes, 2a edição ampliada e atualizada. Oficina de Textos, São Paulo, Brasil

Cao H, Vervoort RW, Dabney SM (2011) Variation in curve numbers derived from plot runoff data for New South Wales (Australia). *Hydrological processes* 25:3774–3789. <https://doi.org/10.1002/hyp.8102>

Carvalho F, Rodrigues SC (2021) Método Curve Number – pesquisas e discussões dos parâmetros valor CN e abstração inicial. *Geografia Ensino & Pesquisa* e31–e31. <https://doi.org/10.5902/2236499447861>

Carvalho Ribeiro SM, Boscolo D, Ciochetti G, et al (2021) *Ecologia da Paisagem no Contexto Luso-Brasileiro - Volume 1*

CERVANTES-BORJA J, ALFARO-SÁNCHEZ G (1998) La ecología del paisaje en el contexto Del desarrollo sustentable. In: *La ecología del paisaje como base para el desarrollo sustentable em América Latina*. Salinas Chaves, Eduardo AND Middleton, John

Cestaro LA, ARAÚJO P de, MEDEIROS C de, et al (2007) Proposta de um sistema de unidades geoambientais para o Rio Grande do Norte. *Simpósio Brasileiro de geografia física aplicada* 12:267

Christofolletti A (1999) *Modelagem de Sistemas Ambientais*, 1st edn. Blucher

Coelho ALN (2007) *Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES*. Doutorado em Geografia, Universidade Federal Fluminense

Collischonn W, Tucci C (2001) Simulação Hidrológica de grandes Bacias. *RBRH* 6:95–118. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v6n1.p95-118>

Cupolillo F (2008) *Diagnóstico hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce*. Universidade Federal de Minas Gerais

Dalbem RP, de MOURA AR, Jorge FV, et al (2005) DELIMITAÇÃO DE UNIDADES DE PAISAGEM: CONCEITO E MÉTODO APLICADOS AO MUNICÍPIO DE PARANAGUÁ/PR/ BRASIL. In: *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. USP

Espindola HS, Nodari ES, Santos MA dos (2019) Rio Doce: riscos e incertezas a partir do desastre de Mariana (MG). *Rev Bras Hist* 39:141–162. <https://doi.org/10.1590/1806-93472019v39n81-07>

Feitosa A, Fachine JAL, Ferreira CWS, Araújo M do SB de (2010) MODELAGEM DINÂMICA DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL INFLUENCIANDO A

SUSCEPTIBILIDADE À EROÇÃO DOS SOLOS NUM MUNICÍPIO DO SEMI-ÁRIDO DE PERNAMBUCO. Revista Brasileira de Geomorfologia 11:.. <https://doi.org/10.20502/rbg.v11i2.154>

Felippe MF, Costa A, Franco R, Matos R (2016) Relatório da Expedição ao Rio Doce. UFMG / UFJF, Belo Horizonte / Juiz de Fora

Fernandes, E. A. *et al.* Degradação ambiental no estado de Minas Gerais. Revista de Economia e Sociologia Rural, v. 43, n. 1, p. 179-198, mar. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-20032005000100010>.

Gao Y, ZHU B, MIAO CY, ZHANG JZ (2006) Application of SCS Model to Estimate the Volume of Rainfall Runoff in Sloping Field of Purple Soil. Chinese Agricultural Science Bulletin 22:396

Herrera-Sánchez MD, Navarro-Bermúdez OD (2021) Evaluación de riesgo de desastre por inundación usando herramientas SIG y HEC HMS y RAS para el Distrito de Conservación de Suelos Kirpas, Pinilla La Cuerera de la ciudad de Villavicencio – Meta. Universidade Católica da Colômbia

IGAM (2020) Unidades Estratégicas de Gestão. <https://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/unidades-de-planejamento>. Accessed 3 May 2023

Jacobs JH, Srinivasan R (2005) Effects of curve number modification on runoff estimation using WSR-88D rainfall data in Texas watersheds. Journal of Soil and Water Conservation 60:274–273

Jin H, Sun X, Li Y (2003) Application of SCS Model in Lanhe Watersheds. JOURNAL OF TAIYUAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY 34:735–752

Khoi D N (2016) COMPARISON OF THE HEC-HMS AND SWAT HYDROLOGICAL MODELS IN SIMULATING THE STREAMFLOW. Journal of Science and Technology 53:189–195

Machado R E (2002) Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. Doutorado em Irrigação e Drenagem, Universidade de São Paulo

McGarigal K, Marks BJ (1995) FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR

Milanez B, Losekann C (2016) Desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição, 1st edn. Folio Digita, Rio de Janeiro

Oliveira PTS, Nearing MA, Hawkins RH, et al (2016) Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data. *Journal of Soil and Water Conservation* 71:420–429. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.5.420>

ONU (2015) Objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS): agenda para 2030. In: ONU. <https://brasil.un.org/pt-br>. Accessed 3 May 2023

ONU (2016) Relatório da missão ao Brasil da Relatora Especial sobre os direitos dos povos indígenas. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS

Salvador MDM (2014) IDENTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRANGA. Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa

Sartori A (2004) Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas

Silva MA da, Silva MLN, Curi N, et al (2011) SISTEMAS DE MANEJO EM PLANTIOS FLORESTAIS DE EUCALIPTO E PERDAS DE SOLO E ÁGUA NA REGIÃO DO VALE DO RIO DOCE, MG. *Ciênc Florest* 21:765–776. <https://doi.org/10.5902/198050984520>

Soares-Filho BS, Rodrigues HO, Costa WL (2009) Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO, 2nd edn. Belo Horizonte

Stewart D, Canfield E, Hawkins R (2012) Curve Number Determination Methods and Uncertainty in Hydrologic Soil Groups from Semiarid Watershed Data. *Journal of Hydrologic Engineering* 17:1180–1187

Tucci CEM (1997) Plano diretor de drenagem urbana : princípios e concepção. *Urban drainage master plan : principles and conceptions* 2:5–12

Tucci CEM, Barros MTL, Porto RLL (1995) *Drenagem Urbana*, 1st edn. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Valle Junior LCG do, Rodrigues DBB, Oliveira PTS de (2019) Initial abstraction ratio and Curve Number estimation using rainfall and runoff data from a tropical watershed. *RBRH* 24:e5. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920170199>

Walega A, Salata T (2019) Influence of land cover data sources on estimation of direct runoff according to SCS-CN and modified SME methods. *CATENA* 172:232–242. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.032>

Woodward de, Hawkins RH, JR. ATH, et al (2018) *Curve number method: Origins, applications and limitations*. Las Vegas

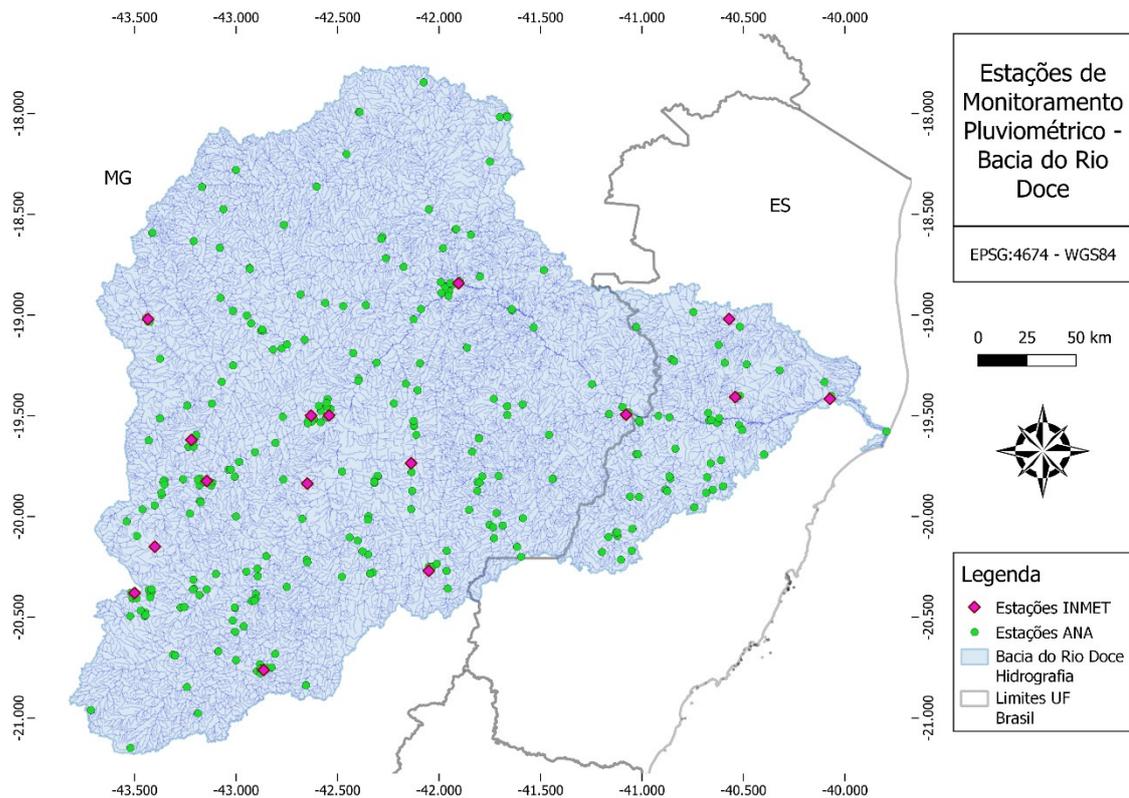
Zhang XY, Meng F, Ding, N. (2003) Application of SCS model to estimating the quantity of runoff of small watershed in semi-arid or arid region. *Research of Soil and Water Conservation* 10:172–174.

APÊNDICE – Material suplementar

I. Bases de dados

Para a construção do modelo utilizado na validação do refinamento de CN, assim como na etapa da análise exploratória, foram utilizados os dados pluviométricos provenientes de estações de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), conforme Figura 10 abaixo:

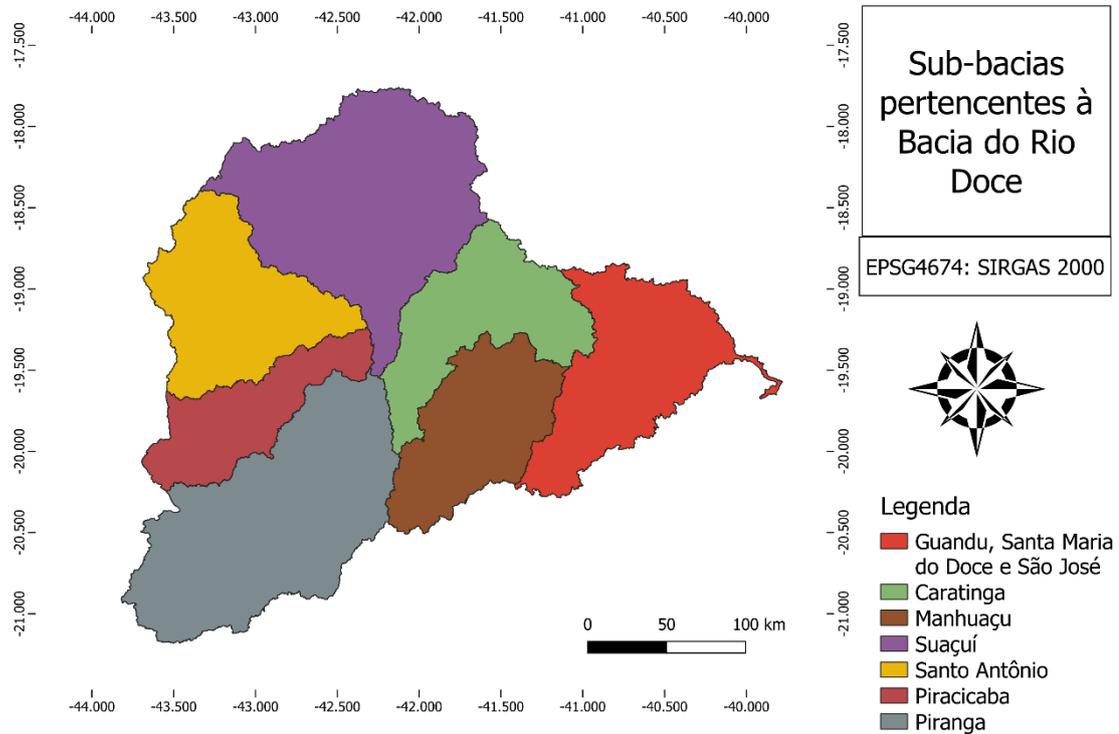
Figura 10: Mapa das estações de monitoramento pluviométrico da Bacia do Rio Doce.



O *download* dos dados foi feito em formato .xls e processados em planilhas para a construção de uma série histórica única, a ser usada como entrada no modelo. Para isso, foi realizada uma média entre os dados diários disponíveis nas estações, de acordo com a disponibilidade e consistência.

Após a etapa de análise exploratória da Bacia do Rio Doce, foi realizado o recorte para a sub-bacia do Rio Piranga, cuja localização com relação à bacia principal é observada na Figura 11 abaixo:

Figura 11: Mapa das sub-bacias da Bacia do Rio Doce.



Já com relação às variáveis utilizadas para o refinamento de CN, foram levantadas as bases de dados geospaciais existentes para o estado de Minas Gerais. Dentre estas, foi escolhida a base do IDE Sisema, por ser uma base oficial do estado, com variedade de dados fornecidos em formato *shapefile*, que podem ser trabalhados e processados em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

Dentre as variáveis disponíveis para download no IDE Sisema, foram selecionadas aquelas que possuem relação direta com o regime de escoamento e que podem ser utilizadas para interpretação do fluxo hidrológico, as quais estão relacionadas na tabela abaixo:

Tabela 10: Variáveis levantadas do IDE Sisema.

Dados		
Bioma	Infraestrutura de Transporte	Exposição do Solo
Unidades de Conservação	Capacidade Institucional	Massas d'água
Áreas prioritárias para Conservação	Tecnologia do Setor Agropecuário	Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos
Qualidade Ambiental	Recursos Minerais	Domínios Hidrogeológicos
Pressão Ambiental	Uso e Cobertura do Solo	Conflito por Recursos Hídricos
Vulnerabilidade Natural	Zonas Climáticas	Comprometimento de Águas Superficiais
Vulnerabilidade à Contaminações	Geomorfologia	Comprometimento de Águas Subterrâneas
Áreas Contaminadas e Reabilitadas	Unidades de Relevô	Densidade de Drenagem
ICMS Ecológico	Solos	Estações Pluviométricas e Fluviométricas
Atividades Econômicas	Solos - Pedologia Simplificada	Intensidade Média das Chuvas
Densidade de Ocupação Econômica	Risco de Erosão	Umidade

Optou-se então pela escolha de 6 variáveis que influenciam o CN direta ou indiretamente, em aspectos distintos (características do meio físico, social e ambiental), conforme a descrição de Tucci, Porto e Barros (1995) acerca do coeficiente. Foram então selecionadas as seguintes variáveis:

- Qualidade Ambiental: resultante da sobreposição dos mapas de grau de conservação da flora nativa, produção de sedimentos e qualidade da água superficial. Possui relação inversamente proporcional ao CN;
- Exposição do Solo: baseado nos mapas auxiliares de risco potencial de erosão, a intensidade das chuvas e a exposição do solo apto a absorver as gotas de chuva. Possui relação inversamente proporcional ao CN, dada sua representação da capacidade de infiltração do solo;
- Vulnerabilidade Natural: obtido a partir da reclassificação ponderada dos mapas de fatores condicionantes do componente físico e biótico do estudo. Possui relação diretamente proporcional ao CN;

- Intensidade Média das Chuvas: elaborada a partir da compilação de dados de precipitação geoespacializados das estações de monitoramento do estado. Possui relação diretamente proporcional ao CN;
- Atividades Econômicas: resultante da relação entre a viabilidade territorial e o PIB, que quanto maior mais favorável torna a localidade para a presença das seguintes atividades: Produção Agropecuária, Setor Industrial, Setor de Serviços e Exportação, todas com o mesmo peso. Possui relação diretamente proporcional ao CN;
- Densidade de Ocupação Econômica: resultante da área total ocupada por agricultura, reflorestamento e pastagens dividida pela área total disponível para uso econômico, ou seja, a área total do município subtraída das áreas de proteção integral e das áreas inundadas. Representa a intensidade de utilização da terra disponível para uso econômico. Possui relação diretamente proporcional ao CN;

A partir da definição das variáveis listadas acima, foi definido o valor de influência destas com relação ao CN como sendo 10%, visando analisar empiricamente a consistência e representatividade do refinamento desta forma.

Na etapa de validação dos resultados obtidos, os valores de CN refinados foram confrontados com a base de dados da ANA que contém a vulnerabilidade à eventos extremos do estado de Minas Gerais, disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ae9c2d48-63d6-474c-9257-d2d122aa1477/attachments/minas_gerais.gdb.zip.

Os dados de uso e cobertura do solo, conforme descrito na metodologia, foram provenientes de duas bases de dados: MapBiomas e IBGE. O uso e cobertura do MapBiomas estão disponíveis em https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR e possuem resoluções distintas, conforme o ano da coleção.

Já a base do IBGE, está disponível no IDE Sisema, assim como as demais variáveis, na página <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>. Conforme o catálogo de metadados, as informações se baseiam em uma resolução matricial de 30 metros e, a partir de levantamento feito pelo IBGE para o ano de 2020 apresenta o uso e cobertura da terra pixel a pixel para o estado de Minas Gerais.

Visto que o Número da Curva (CN) é obtido a partir da relação existente entre a estrutura do tipo de solo e o uso e cobertura da terra, e as tabelas do método

(conforme abaixo) dividem os tipos de solo entre quatro grupos hidrológicos A, B, C e D, foi necessário estabelecer uma relação entre a pedologia simplificada do estado (disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b627c45f-e2ad-4f08-971e-f85d35f23d14>) e os grupos hidrológicos. Esta relação seguiu as premissas apresentadas por Sartori (2004), visando avaliar a composição básica do solo e característica de infiltração e está apresentada abaixo:

Tabela 11: Relação entre tipos de solo do ZEE e Grupos Hidrológicos do método do Número da Curva.

Tipo de solo ZEE	Grupo Hidrológico
Argissolo	A
Cambissolo	D
Espodossolo	C
Gleissolo	C
Latossolo	D
Luvissolo	B
Neossolo flúvico	A
Neossolo litólico	C
Neossolo quartzarênico	B
Nitossolo	B
Planossolo	D

Figura 12: Características dos Grupos Hidrológicos do método do Número da Curva.

Grupo de solo	Características do solo
A	solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1% (Porto, 1979 e 1995). Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (Tucci et al, 1993).
B	solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superficial (Porto, 1979 e 1995) Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (Tucci et al, 1993).
C	solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidade de 1,2m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5m. Nota-se a cerca de 60cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (Porto, 1979 e 1995). Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo (Tucci et al, 1993).
D	solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50cm de profundidade. Ou solos arenosos como do grupo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (Porto, 1979 e 1995). Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (Tucci et al, 1993).

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

Os grupos hidrológicos de solo da metodologia do SCS (1986), conforme imagem acima, consideram profundidade, teores de argila e húmus, granulometria e permeabilidade, além de serem apenas quatro categorias. Conforme observado no mapa de solos de Minas Gerais (<http://www.feam.br/-qualidade-do-solo-e-areas-contaminadas/mapa-de-solos>), existem solos diversos e cuja capacidade de infiltração de águas precipitadas depende de fatores além dos descritos pelo SCS. Utilizou-se a pedologia simplificada e foi estabelecida uma relação, mas deve-se ressaltar esta limitação do método, conforme corroboram Carvalho and Rodrigues (2021).

No que tange ao uso e cobertura da terra, para a construção do mapa inicial do CN do estado de Minas Gerais e para o refinamento do CN, foi estabelecida uma relação entre os usos do IBGE e os usos da tabela do método do Número da Curva do SCS, apresentada na Figura 13 abaixo:

Figura 13: Valores de CN com relação aos usos do solo.

Utilização ou cobertura do solo	Grupo de solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta: cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais				
Lotes de (m ²)	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995).

II. Cálculo do Número da Curva (CN)

No âmbito do cálculo do coeficiente do Número da Curva (CN), após o estabelecimento das relações entre tipos de solo e uso do solo, conforme item I, foi realizada uma média ponderada de acordo com a área ocupada por cada classe de uso do solo dentro do estado de Minas Gerais. A equação abaixo exemplifica este cálculo:

$$CN_{total} = \frac{(CN_{classe I} \times \text{Área}_{classe I}) + (CN_{classe II} \times \text{Área}_{classe II}) \dots + (CN_{classe n} \times \text{Área}_{classe n})}{A_{total}}$$

Onde o CN da classe representa o CN encontrado na tabela após as definições realizada e a Área da classe representa o percentual de cada classe na composição total do território, conforme apresentado na camada espacial de uso do solo do IBGE.

Outro dado de entrada para a construção do modelo hidrológico de validação dos resultados no HEC-HMS foi o *lag time*, ou tempo de retardo. Dada a utilização do método do Número da Curva, foi utilizada a equação do próprio método para o cálculo deste tempo, conforme Figura 14 abaixo:

Figura 14: Equação do tempo de retardo do método do Número da Curva.

$$t_{lag} = \frac{2.587 L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 i^{0.5}}, \text{ com } t_c = t_{lag} / 0.6 \quad (2a)$$

onde: t_{lag} é o tempo de retardamento da bacia de drenagem (*basin lag time*) [h], i é o declive médio da bacia de drenagem [%] e L é o comprimento da bacia de drenagem [m]. Para além da determinação do L , através da informação topográfica disponível,

Fonte: SCS (1986).

III. Refinamento do Número da Curva (CN)

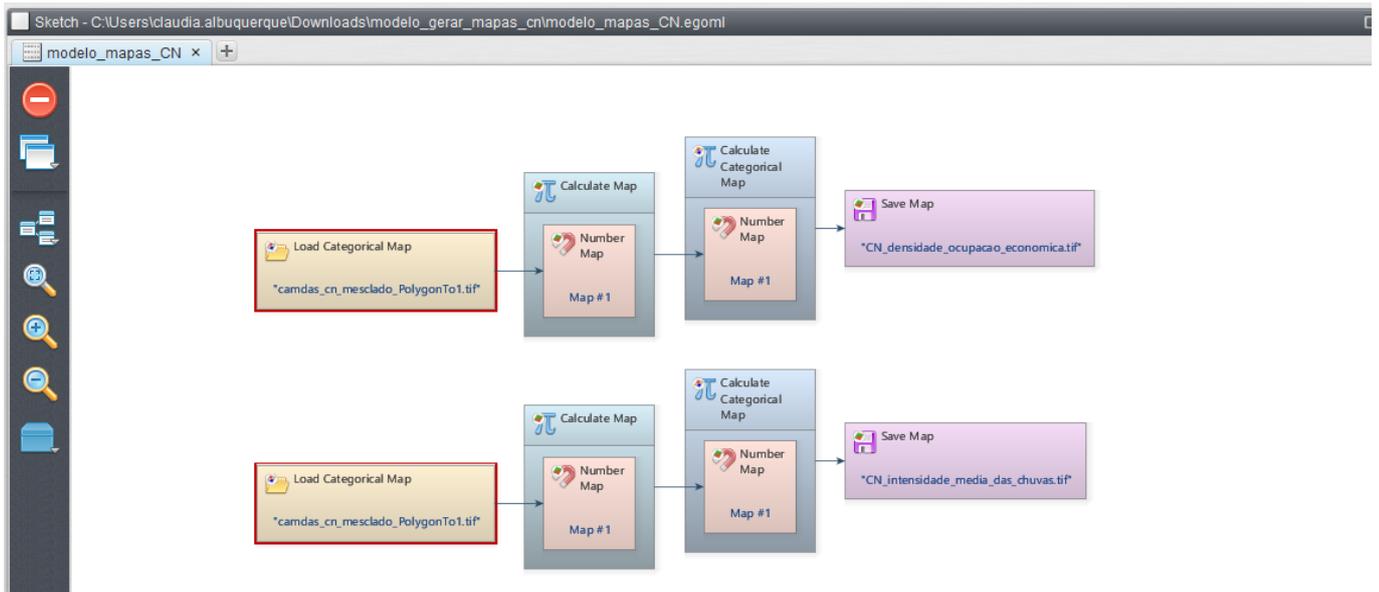
A elaboração do mapa inicial contendo os valores de CN para o estado de Minas Gerais foi construído a partir da sobreposição dos mapas de tipo de solo e de uso do solo, adicionando-se nas tabelas de atributos dos dados vetoriais, uma coluna contendo os valores de CN para cada tipo e uso de solo, conforme as tabelas do método já apresentadas.

Após a determinação das variáveis utilizadas para o refinamento, foi definido o valor de influência de 10% para o cálculo dos valores refinados, conforme já apresentado na metodologia do trabalho (Tabela 1). Dado que o mapa inicial de CN, base do refinamento, e as variáveis estavam disponíveis em formato vetorial, foi

realizada uma álgebra de mapas com as ponderações para o cálculo dos valores de CN com as variáveis incorporadas.

Na Figura abaixo é possível observar um exemplo de como este esquema foi construído no Dinamica EGO, com base nas recomendações e conceitos apresentados por Soares-Filho et al. (2002a; 2002b):

Figura 15: Exemplo de modelo utilizado no Dinamica EGO.



Na etapa de validação dos resultados, conforme descrito na metodologia, foi utilizado o HEC-HMS com dados de entrada básicos da sub-bacia Santa Rita de Minas, sendo realizada uma simulação utilizando-se o CN calculado pelo método de tabelas e outra com o CN refinado, os resultados estão apresentados nas figuras abaixo:

Figura 16: Captura de tela dos resultados de CN tabelado no HEC-HMS.

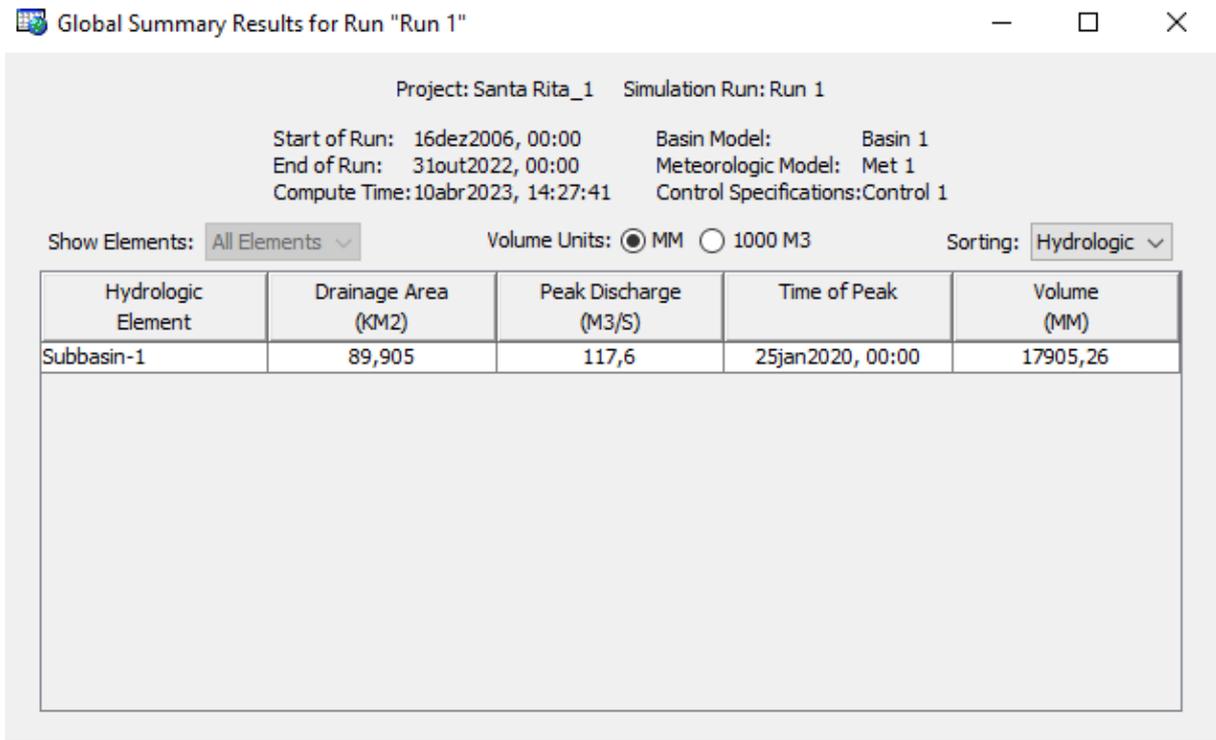


Figura 17: Captura de tela dos resultados gráficos de CN tabelado no HEC-HMS.

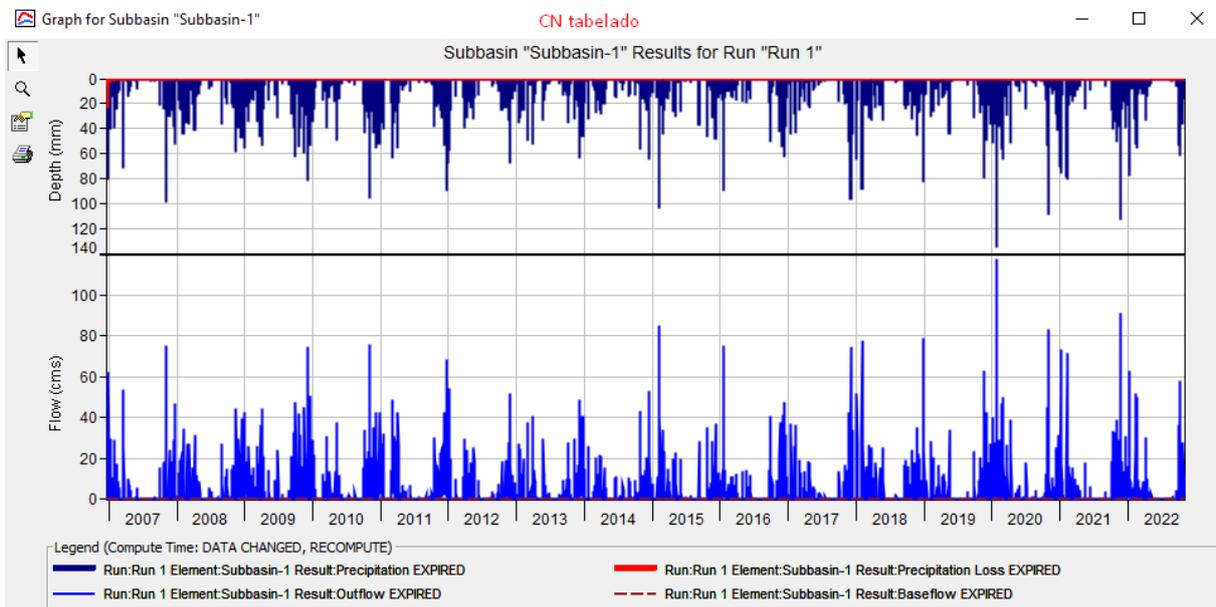


Figura 18: Captura de tela dos resultados de CN refinado no HEC-HMS.

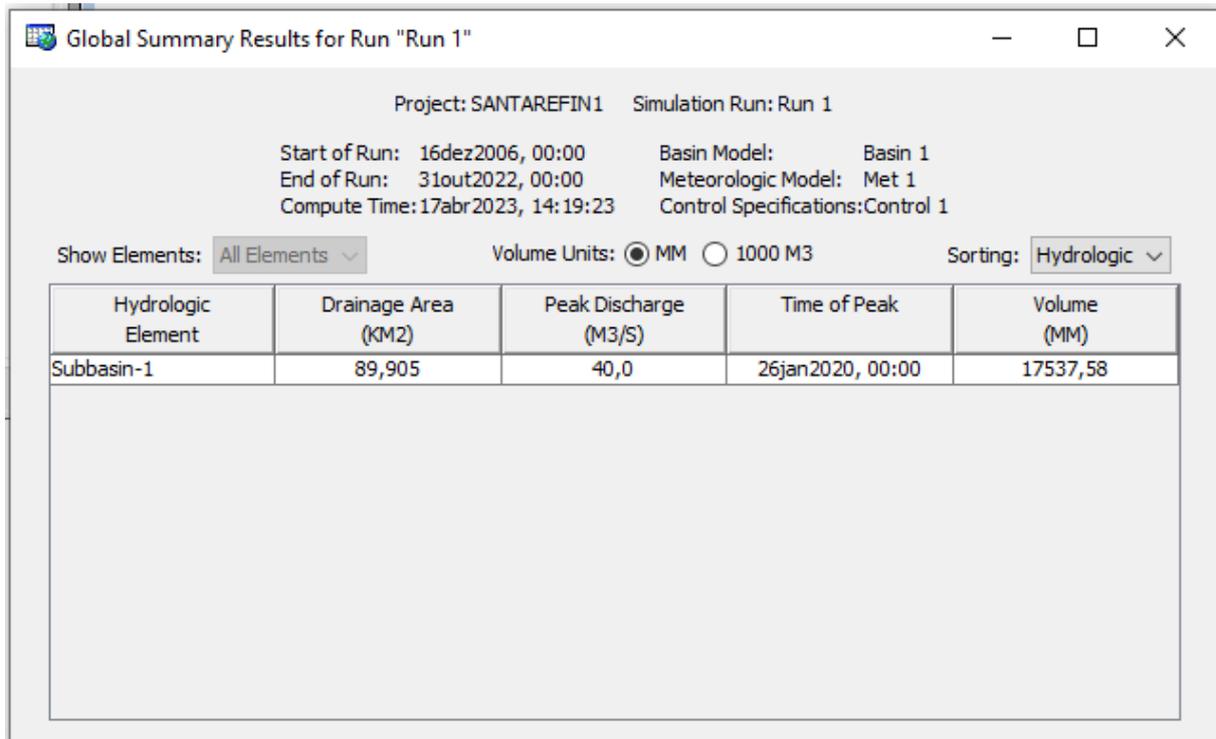
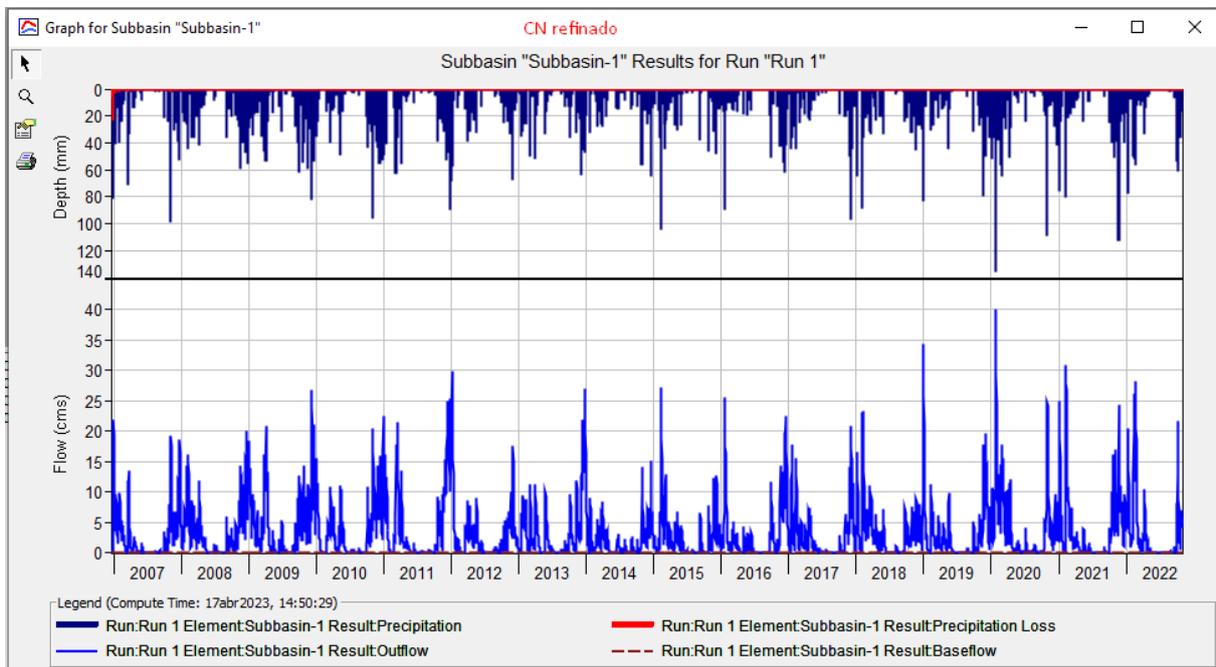


Figura 19: Captura de tela dos resultados gráficos de CN refinado no HEC-HMS.



IV. Softwares utilizados

Para a elaboração do trabalho foram utilizados os seguintes softwares e suas versões:

Tabela 12: Softwares e versões utilizadas.

Programa	Versão
HEC-HMS	4.9
QGIS	3.16.14
ArcGIS	10.4
Dinamica EGO	5.2.1
Excel	2016

Referências - Apêndice

Sartori A (2004) Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. Dissertação, Universidade Estadual de Campinas

SCS (1986) Urban hydrology for small watersheds. Washington, DC: Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS)

Soares-Filho BS, Cerqueira GC, Pennahin CL (2002b) Dinamica – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in na Amazonian colonization frontier. *Ecological modelling* 154:217-235

Soares-Filho BS, Cerqueira GC, Pennahin CL (2002a) Dinamica: a new model to simulate and study landacape dynamics. *Ecological modelling*

Tucci CEM, Barros MTL, Porto RLL (1995) Drenagem Urbana, 1st edn. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul