



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

USO DA ÁGUA DE CHUVA PARA REPOR PERDAS POR
EVAPORAÇÃO EM PROCESSOS DE LAMINAÇÃO A
QUENTE DE AÇO

Autor: Luciano Silva

Orientador: Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez

Belo Horizonte, 13 de fevereiro de 2017

Luciano Silva

**USO DA ÁGUA DE CHUVA PARA REPOR PERDAS POR
EVAPORAÇÃO EM PROCESSOS DE LAMINAÇÃO A
QUENTE DE AÇO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de
Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do
título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Energia e Sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Carlos Barreira Martinez
(Universidade Federal de Minas Gerais)

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2017

S586u

Silva, Luciano.

Uso da água de chuva para repor perdas por evaporação em processos de laminação a quente de aço [manuscrito] / Luciano Silva. - 2017.

77 p., enc.: il.

Orientador: Carlos Barreira Martinez.

Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Bibliografia: f. 74-77.

1. Engenharia mecânica - Teses. 2. Águas pluviais - Teses. 3. Água - Uso - Teses. 4. Laminação (Metalurgia) - Teses. I. Martinez, Carlos Barreira. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus Universitário
31270-901 - Belo Horizonte - MG

Tel.: +55 31 3409.5145

E-mail: cpqmec@demec.ufmg.br

**"USO DA ÁGUA DE CHUVA PARA REPOR PERDAS POR
EVAPORAÇÃO EM PROCESSOS DE LAMINAÇÃO A QUENTE DE
AÇO"**

LUCIANO SILVA

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de "**Mestre em Engenharia Mecânica**", na área de concentração de "**Energia e Sustentabilidade**".

Dissertação aprovada no dia 13 de fevereiro de 2017.

Por:

Prof. Carlos Barreira Martinez

Orientador - Dpto. de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos/UFMG

Prof. Aloysio Portugal Maia Saliba

Dpto. de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos/UFMG

Prof. Edna Maria de Faria Viana

Dpto. de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos/UFMG

Prof. Matheus Pereira Porto

Departamento de Engenharia Mecânica/UFMG

Prof. Jorge Luis Zegarra Tarqui

Dpto. de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos/UFMG

“Making every drop count”.

Essar Steel Hazira

AGRADECIMENTOS

Durante todo o período de pesquisa e elaboração desta dissertação, foram superados inúmeros obstáculos, mas todos eles foram superados com a ajuda de algumas pessoas. Assim, agradeço, principalmente:

A Deus pela sua presença nos momentos mais difíceis e pela proteção nas viagens para a UFMG.

A minha família pelo apoio e conselhos indispensáveis na minha vida acadêmica.

Ao Professor Dr. Carlos Barreira Martinez, por ter aceitado ser o orientador deste mestrado, pelos ensinamentos e sua dedicação no desenvolvimento deste trabalho e principalmente pelo apoio na superação dos desafios encontrados nesta caminhada.

Ao Professor Dr. Marcos Pinotti Barbosa (*in memoriam*), que durante suas aulas nos fazia pensar ‘fora da caixa’ e transformar o complicado em fácil.

Ao amigo Augusto Palomino, pelos conselhos e palavras de superação.

Aos Engenheiros Raul J. Marchesini e Hallan Francis Quintão, Gestores na Usiminas Mecânica, pelo apoio em minha constante qualificação profissional.

Ao Engenheiro Hormando L. Junior, Pesquisador na Usiminas, por compartilhar suas experiências no Doutorado em Resfriamento Controlado de Aço Laminado na *Eindhoven University of Technology* – Holanda.

Aos Diretores e Coordenadores de curso do IFMG-GV pelo apoio na capacitação docente.

A todos os Professores do Departamento de Engenharia Mecânica e do Programa de Pós-graduação de Engenharia Mecânica da UFMG, que, de alguma forma, auxiliaram no desenvolvimento deste trabalho.

A Marina C. M. Costa, pelo carinho e pelo ótimo atendimento prestado aos alunos do PPGMEC.

Aos colegas de curso de pós-graduação pela convivência neste período.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A consciência sobre a importância do uso racional dos recursos hídricos e a preocupação com a poluição das águas no mundo são cada vez mais presentes. A redução de custos operacionais tem sido um diferencial competitivo entre as indústrias de forma geral e os sistemas hídricos sustentáveis permitem, além de redução de custo, uma maior segurança operacional da planta industrial. A maior parte da demanda hídrica do processo siderúrgico tem origem na necessidade de refrigeração de equipamentos e materiais processados. Tal característica tem exigido das empresas a implantação de medidas que aumentem o volume de água reciclada em seus processos. Porém, parte desta água evapora ou perde-se por meio de vazamentos, necessitando assim ser reposta no processo. Este trabalho tem por objetivo propor o uso da água de chuva para reposição do sistema de água (*make-up*) em processos siderúrgicos, em especial o processo de laminação a quente, em que se evaporam aproximadamente 114 litros de água por tonelada de aço acabado. Para contextualização prática, foi realizada a simulação da captação, armazenamento e uso da água de chuva em uma laminação a quente, situada na região do Vale do Aço em Minas Gerais, que possui capacidade produtiva nominal de 4.600.000 t/ano, podendo evaporar mais de 500 mil metros cúbicos de água por ano. Por meio do método de simulação descrito na norma ABNT NBR-15527 e utilizando os telhados dos galpões, que ocupam a área de aproximadamente 180 mil metros quadrados, chegou-se ao potencial para captação em mais 210 mil metros cúbicos de água por ano, considerando as médias mensais de precipitações dos anos de 2006 a 2016. Ao final são apresentadas curvas que facilitam a escolha do melhor volume de reservatório em função do percentual de atendimento à demanda anual, permitindo assim a escolha de área para instalação do sistema de armazenamento de água de chuva.

Palavras chaves: Água de chuva, reposição de água, laminação a quente.

ABSTRACT

Awareness about the importance of the rational use of water resources and concern about water pollution in the world is increasingly needed. The reduction of operating costs has been a competitive differential between the industries in general and the sustainable water systems allow, in addition to cost reduction, greater operational safety of the industrial plant. Most of the water used in the steel process is due to the refrigeration of equipment and processed materials. This characteristic has required companies to implement measures that increase the volume of recycled water in their processes. However, part of this water evaporates or is lost through leaks, thus needing to be replaced. The objective of this work is to propose the use of rain water as make-up water to the steel industry, especially the hot-rolling process, where approximately 114 liters of water are evaporated per ton of steel finished. For practical contextualization, the simulation of rainwater harvesting, storage and use was carried out in a hot rolling mill located in the Vale do Aço region of Minas Gerais, with a nominal production capacity of 4,600,000 t / year, which can evaporate More than 500 thousand cubic meters of water per year. Using the simulation method described in ABNT NBR-15527 and using the sheds roofs, which occupy the area of approximately 180 thousand square meters, the potential for capturing more than 210 thousand cubic meters of water per year was reached, considering the monthly averages of rainfall from 2006 to 2016. At the end are presented curves that facilitate the choice of the best volume of reservoir as a function of the percentage of attendance to annual demand, thus allowing the choice of area for installation of the rainwater storage system.

Keywords: Rainwater harvesting, make-up water, hot rolling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. O processo de fabricação do aço	19
2.2. A Capacidade produtiva da siderurgia no Brasil e no mundo	25
2.3. O Consumo de água no processo siderúrgico	26
2.3.1 – Consumo de água no processo de laminação a quente	27
2.3.2 – Qualidade da água no processo de laminação a quente	30
2.4. Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis	30
2.4.1 – Área de captação	32
2.4.2 – Remoção de materiais grosseiros	33
2.4.3 – Tratamento da água de chuva	34
2.4.4 - Armazenamento da água de chuva	35
2.4.5 - Características qualitativas da água de chuva	36
2.4.6 – Dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva	37
2.4.6.1 – Método de Rippl	38
2.4.6.2 – Método da simulação	38
2.4.6.3 – Método de Azevedo	39
2.4.6.4 – Método prático Alemão	40
2.4.6.5 – Método prático Inglês	40
2.4.6.6 – Método prático Australiano	40
2.5. O novo Código de Obras do município de Ipatinga e o uso da água de chuva	42
3. METODOLOGIA	43
3.1. Verificação da quantidade de água evaporada na laminação de chapas grossas	43
3.2. Área de captação da água de chuva	49
3.3. Características pluviométricas na região estuda	50
3.4. Dimensionamento da capacidade de armazenamento do reservatório	52

3.4.1 – Planilha para simulação do volume do reservatório de armazenamento de água de chuva	52
3.4.2 – Determinação de cenários para execução das simulações de diferentes volumes de reservatórios de chuva	54
3.5. Qualidade da água precipitada	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1. Volume captável de água de chuva e a demanda para reposição em função da produção de chapas grossas e laminados a quente	58
4.2. Dimensionamento do reservatório para água de chuva	60
4.2.1. Volume do reservatório para água de chuva considerando Cenários 1 e 2	61
4.2.2. Dimensionamento do reservatório para água de chuva considerando Cenários 3 e 4	64
4.2.3. Dimensionamento do reservatório para água de chuva considerando Cenários 5 e 6	67
4.3. Qualidade da água de chuva precipitada	70
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	72
REFERÊNCIAS	74

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – Lago para armazenamento de água de chuva coletada nos galpões da laminação a frio da <i>Essar Steel Hazira</i> - Índia.	17
FIGURA 2.1 – Processo de produção do aço.	19
FIGURA 2.2 – Sistema móvel de aspersão para despoeiramento em pilhas de minérios.	20
FIGURA 2.3 – Coque incandescente após sair do forno da coqueria.	21
FIGURA 2.4 – Vapor de água produzido após o resfriamento do coque na coqueria da Usiminas Ipatinga.	21
FIGURA 2.5 – Uso da água nos altos-fornos no granulador de escória.	22
FIGURA 2.6 – Vapor de água produzido durante o resfriamento na máquina de lingotamento contínuo.	22
FIGURA 2.7 – Etapas da laminação de chapas grossas da Usiminas.	23
FIGURA 2.8 – Etapas da laminação de tiras a quente da Usiminas.	23
FIGURA 2.9 – Representação esquemática da perda de água por evaporação na laminação a quente.	26
FIGURA 2.10 – Uso da água de chuva no processo siderúrgico.	27
FIGURA 2.11 – Uso da água por contato direto no processo de laminação a quente.	28
FIGURA 2.12 – Sistema de retenção de folhas e gravetos em sistemas de captação de água de chuva.	33
FIGURA 2.13 – Sistema de descarte da primeira chuva.	34
FIGURA 2.14 – Lago para acumulação de água de chuva.	35
FIGURA 3.1 – Capacidade nominal de produção de aços planos da Usiminas.	43
FIGURA 3.2 – Marcação dos telhados dos galpões da laminação de chapas grossas e tiras a quente a serem avaliados o potencial de captação de água de chuva.	50
FIGURA 3.3 – Altura dos galpões da área de laminação a quente em relação a altura das árvores.	50
FIGURA 3.4 – Planilha para simulação de diversos volumes de reservatórios para diferentes cenários de produção de aço e características pluviométricas.	53
FIGURA 3.5 – Altura dos galpões da área de laminação a quente em relação a altura das árvores.	56
FIGURA 3.6 – Telhado para coleta da água de chuva para avaliação de sua composição.	57
FIGURA 4.1 – Marcações de áreas para instalação de reservatórios de água de chuva.	60

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 3.1 – Vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente entre os anos de 2005 a 2015, considerando usinas de Ipatinga e Cubatão.	45
GRÁFICO 3.2 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade de vendas físicas de aço entre os anos de 2005 a 2015.	46
GRÁFICO 3.3 – Vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente entre os anos de 2005 a 2015, considerando usina de Ipatinga.	46
GRÁFICO 3.4 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade de vendas físicas de aço entre os anos de 2005 a 2015 referente a usina de Ipatinga.	47
GRÁFICO 3.5 – Média de vendas trimestrais considerando usina de Ipatinga e Cubatão (2005-2015).	48
GRÁFICO 3.6 – Média de vendas trimestrais considerando usina de Ipatinga (2005-2015). ..	48
GRÁFICO 3.7 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade média trimestral de vendas de aço considerando Usinas de Ipatinga e Cubatão (2005-2015).	49
GRÁFICO 3.8 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade média trimestral de vendas de aço considerando a Usina de Ipatinga (2005-2015).	49
GRÁFICO 3.9 – Média pluviométrica mensal de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2016 – Estação A511 – Timóteo-MG.....	51
GRÁFICO 4.1 – Quantidade de água evaporada no processo de laminação em função da produção de aço e o volume de água de chuva captável considerando média pluviométrica (2006 a 2016) e o ano de maior seca no período.	59
GRÁFICO 4.2 – Volume do reservatório e o percentual de atendimento a demanda anual considerando cenários 1 e 2.....	62
GRÁFICO 4.3 – Volume do reservatório e o percentual de atendimento a demanda anual considerando cenários 3 e 4.....	65
GRÁFICO 4.4 – Volume do reservatório e o percentual de atendimento a demanda anual considerando cenários 5 e 6.....	68

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 Ranking mundial de produção de aço em 2014.....	25
TABELA 2.2 Retirada de água por fonte pela Usiminas em 2009	27
TABELA 2.3 Perdas de água por evaporação nos processos siderúrgicos	29
TABELA 2.4	30
TABELA 2.5 Valores de C considerados por diferentes autores	33
TABELA 2.6 Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis .	37
TABELA 3.1 Estimativa de perda de água por evaporação considerando a capacidade nominal da usina de Ipatinga	44
TABELA 3.2 Cenários usados para simulação do volume do reservatório para água de chuva	55
TABELA 4.1 Resumo do comportamento de um reservatório com 30.000m ³ para atender a laminação estudada.....	61
TABELA 4.2 Comportamento de um reservatório com 30.000 m ³ para o Cenário 1.....	63
TABELA 4.3 Comportamento de um reservatório com 30.000 m ³ para o Cenário 2.....	64
TABELA 4.4 Comportamento de um reservatório com 30.000 m ³ para o Cenário 3.....	66
TABELA 4.5 Comportamento de um reservatório com 30.000 m ³ para o Cenário 4.....	67
TABELA 4.6 Comportamento de um reservatório com 30.000 m ³ para o Cenário 5.....	69
TABELA 4.7 Comportamento de um reservatório com 30.000 m ³ para o Cenário 6.....	70
TABELA 4.8 Comparação dos resultados da qualidade da água precipitada e os valores de referência	71

NOMENCLATURA

Siglas

<i>ABM</i>	Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração
<i>ABNT</i>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<i>AF</i>	Alto-forno
<i>COG</i>	<i>Coke Oven Gas</i> (gás de coqueria)
<i>CVM</i>	Comissão de Valores Mobiliários
<i>IAB</i>	Instituto Aço Brasil
<i>IEC</i>	<i>International Electrotechnical Commission</i>
<i>INMET</i>	Instituto Nacional de Meteorologia
<i>ISO</i>	<i>International Organization for Standardization</i>
<i>MG</i>	Minas Gerais
<i>pH</i>	Potencial Hidrogeniônico
<i>SP</i>	São Paulo
<i>UFMG</i>	Universidade Federal de Minas Gerais
<i>VAPEL</i>	Volume de água perdida por evaporação na laminação
<i>VC</i>	Volume captável

1. INTRODUÇÃO

Para a Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração – ABM (2015), “o Brasil, que detém o título de maior potência hídrica do planeta, enfrenta hoje uma grave crise por falta de água”, o que pode ter impactos no setor de metalurgia. Em 2015, os problemas de abastecimento atingiram grande parte dos municípios brasileiros, incluindo as principais capitais estaduais. A primeira plenária da ABM WEEK 2015, um grande evento dos setores de mineração, metalurgia e de materiais da América Latina, realizada em agosto de 2015, teve como tema central “Impactos da escassez de recursos hídricos para a mineração e a metalurgia”, mostrando assim a preocupação do setor com relação à crise hídrica, que pode impactar nos custos operacionais ou até mesmo no funcionamento destas indústrias.

Segundo ABM (2015) o palestrante, Erick Torres Bispo dos Santos, abordou o tema “Gestão do uso e conservação dos Recursos Hídricos na Siderurgia - Visão *Arcelor Mittal Tubarão*”, fazendo o seguinte resumo:

Sabendo a importância e o papel fundamental da água na Siderurgia, torna-se questão de sobrevivência estabelecer diretrizes de gestão do uso e conservação desse recurso natural: identificar oportunidades, melhoria contínua dos processos e garantir a disponibilidade de água nos cenários futuros.

Fonte: ABM (2015)¹

Dentro desse contexto o setor busca atingir um estado de segurança ou estabilidade operacional. Assim a *Arcelor Mittal Tubarão*, uma siderúrgica de produção integrada de aços planos, localizada na região metropolitana da Grande Vitória, no Espírito Santo e que tem capacidade de produção anual de 7,5 milhões de toneladas de aço em placas e bobinas a quente, trata da questão de sustentabilidade da seguinte forma:

A gestão de recursos hídricos é uma das questões centrais na estratégia de sustentabilidade e estabilidade operacional da Arcelor Mittal / Tubarão, assim como a preservação e o uso racional dos diferentes recursos naturais. Tratada como prioridade desde o início da empresa, a gestão hídrica é foco de investimentos contínuos que, ao longo do tempo, a tornaram mais eficiente.

Fonte: Arcelor Mittal Tubarão (2015)²

¹<http://www.abmbrasil.com.br/news/materias/6080-mineracao-debatera-a-crise-hidrica-no-primeiro-dia-da-abm-week/> Acesso em: 20 out. 2015.

²<http://tubarao.arcelormittal.com/sustentabilidade/indicadores/> Acesso em 20 out. 2015.

Segundo Silva *et al* (2016), os sistemas hídricos sustentáveis permitem, além de redução de custo, uma maior segurança operacional da planta industrial. A maior parte da água utilizada no processo siderúrgico é devida à necessidade de refrigeração de equipamentos e materiais processados. Tal característica tem exigido das empresas implementos de medidas que aumentem o volume de água reciclada em seus processos.

Segundo o Relatório de Sustentabilidade 2014 do Instituto Aço Brasil (IAB), diferentes iniciativas vêm sendo empreendidas pelas associadas visando à racionalização do uso de recursos hídricos, sendo a principal delas a recirculação de água, que em 2013, apresentou índice de 96%, o que significa 4,7 bilhões de metros cúbicos de água circulam dentro das principais siderúrgicas brasileiras. Este esforço de reutilização de água tem especial valor no contexto recente de escassez deste recurso essencial. Segundo o IAB (2014) ao longo do ano de 2014, as empresas associadas implementaram em suas unidades soluções bem sucedidas para o reuso, como a construção de lagoas para o aproveitamento da água da chuva.

França (2012) descreveu em seu trabalho sobre “minimização do consumo de água e da geração de efluentes líquidos em siderurgia” a possibilidade do uso da água de chuva nas usinas siderúrgicas:

Outra possibilidade que apresenta um grande potencial para redução do consumo de água em indústrias é o aproveitamento de águas pluviais. Usinas siderúrgicas, assim como outros setores industriais, ocupam áreas da ordem de alguns quilômetros quadrados e apresentam edifícios com grande área de cobertura que podem funcionar como grandes coletores de águas de chuva.

Fonte: França (2012, p. 165)

Na Índia algumas siderúrgicas tem tido iniciativas de conservação de água, como por exemplo, a siderúrgica *Essar Steel Hazira*, uma siderúrgica integrada com capacidade de produção de 10 milhões de toneladas de aço por ano, localizada em *Gujarat*-Índia, onde a empresa construiu um reservatório para armazenamento de água de chuva no complexo de laminação a frio. Em 2007, um reservatório foi construído ao lado do galpão da referida laminação, com a capacidade para recolher 180.000 m³ por ano, segundo *Essar Steel Hazira* (2013). A FIG. 1.1 mostra os galpões da laminação a frio e o lago para armazenamento para água de chuva coletada nos telhados dos referidos galpões.



FIGURA 1.1 – Lago para armazenamento de água de chuva coletada nos galpões da laminação a frio da Essar Steel Hazira - Índia.
FONTE – ESSAR STEEL (2015)³

A laminação é uma das etapas finais do processo siderúrgico, em que é realizada a conformação mecânica que consiste em modificar a seção transversal pela sua passagem entre dois cilindros paralelos girando em sentidos opostos, com a mesma velocidade inicial. Geralmente a laminação a quente de aço começa com temperaturas entre 1.100°C e 1.300°C e termina entre temperaturas da ordem de 700°C a 900°C. Segundo Johnson (2003), evaporam-se 30 galões de água por tonelada de aço produzido na laminação a quente.

Neste estudo, o termo ‘perda por evaporação’ é usado para se referir à perda de água devido à passagem do estado líquido para o estado de vapor durante o processo de laminação a quente, podendo ser por ebulição (LEOCÁDIO JÚNIOR, 2008) e evaporação propriamente dita (WALLING e OTTS, 1967).

Para repor a água (*make-up*) perdida por evaporação, respingos e vazamentos, é realizada a captação de água, principalmente em rios. Este estudo busca analisar a possibilidade do uso

³http://www.essarsteel.com/image_gallery.aspx?cont_id=H1/D8AGhzbU=&path=Media_and_resources_%3E_Media_kit_%3E_Image_gallery. Acesso em: 10 out. 2015.

da água de chuva para repor parte do que se evapora durante o processo siderúrgico, em especial na laminação a quente.

O presente trabalho tem por objetivo:

- a) Analisar a possibilidade do uso da água de chuva em processos de laminação a quente, para repor a água perdida por evaporação na linha produtiva.
- b) Verificar o potencial de utilização da água de chuva da região do Vale do Aço (Minas Gerais) no processo de laminação a quente.
- c) Avaliar se a água de chuva captada atende aos padrões de qualidade para uso como água de reposição (*make-up*) para o processo de laminação a quente.

Esta dissertação divide-se em cinco capítulos, sendo o primeiro a introdução, o Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre conceitos gerais do processo siderúrgico, o consumo de água nas etapas de fabricação de aço, em especial na etapa de laminação a quente, a qualidade da água no processo de laminação a quente, o aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis. O Capítulo 3 destina-se à metodologia. Neste capítulo encontra-se a descrição do objeto de estudo, a verificação da quantidade de água evaporada no processo de laminação de chapas grossas e tiras a quente, determinação da área de captação da água de chuva, as características pluviométricas na região estudada, o dimensionamento do volume do reservatório de armazenamento da água de chuva captada e a qualidade da água de chuva precipitada. No Capítulo 4 detalha-se a análise dos dados coletados e os dados obtidos com os ensaios experimentais, bem como se descreve o potencial de captação de água de chuva e sua capacidade de suprir a demanda de água perdida por evaporação no processo de laminação a quente. Por fim, o capítulo 5 destina-se às conclusões da dissertação e recomendações para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma visão global do processo siderúrgico, a capacidade produtiva nacional e internacional, o consumo de água pela siderurgia, em especial o processo de laminação, aspectos qualitativos de água de chuva em processos de laminação e sistemas de aproveitamento de água chuva. Serão também apresentados os métodos de dimensionamento segundo a norma NBR-15527 (ABNT, 2007). O capítulo ainda aborda o aspecto da legislação municipal de Ipatinga-MG sobre o aproveitamento de água de chuva, cidade onde está situada a laminação a quente estudada deste trabalho.

2.1. O processo de fabricação do aço

O aço é uma liga ferrosa passível de deformação plástica que em geral apresenta teor de carbono entre 0,008% e 2% na sua forma combinada e/ou dissolvida e que pode conter elementos de liga adicionados ou residuais segundo a NBR-6215 (ABNT, 2011), para conferir propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc.

A FIG 2.1 ilustra esquematicamente o processo siderúrgico, com as fases de preparação de carga, redução (sinterização e alto forno), refino (convertedor, forno panela e degaseificador), lingotamento e laminação.

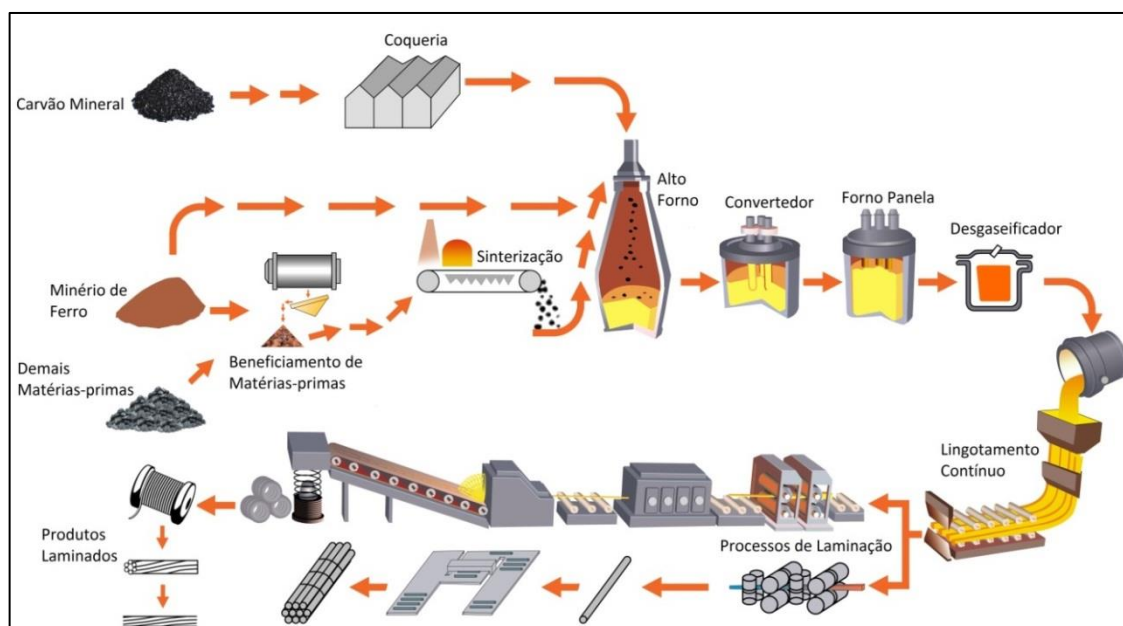


FIGURA 2.1 – Processo de produção do aço.

FONTE – Adaptado de Usha Martin (2015)⁴

⁴ <http://www.ushamartin.com/about-us/> Acesso em 14 jun. 2015.

O processo siderúrgico inicia-se com o recebimento e preparação prévia das matérias-primas (carvão, minério de ferro, calcário, etc.), para melhoria do rendimento e economia do processo. Nesta etapa a água é utilizada no controle de poluição atmosférica, por meio de sistemas de despoeiramento, umidificando as pilhas das matérias-primas. A FIG. 2.2, mostra uma pilha de minério sendo umidificada por meio de um sistema móvel de despoeiramento.



FIGURA 2.2 – Sistema móvel de aspersão para despoeiramento em pilhas de minérios.
FONTE – Asperminas (2015)⁵

Na coqueria, o carvão mineral é destilado (aquecido para que os produtos voláteis se evaporem), para obtenção do coque que será usado nos altos fornos. Quando o coque sai do forno da coqueria ele está incandescente, necessitando ser apagado geralmente por jatos de água sob pressão.

Após ser resfriado, o coque é britado e peneirado, conforme as exigências do processo. A parcela fina do coque é consumida na sinterização e a parte grossa é enviada para o alto forno. Os gases liberados durante a coqueificação são recuperados e tratados, obtendo-se o gás de coqueria (COG) que é usado como fonte de energia para diversos processos dentro da siderurgia. Ainda são gerados produtos carboquímicos que são processados na unidade de recuperação de subprodutos e comercializados. A FIG. 2.3 ilustra um vagão com coque após sair do forno da coqueria, em estado incandescente, dentro de um vagão específico que será conduzido até a torre de resfriamento.

⁵ <http://www.asperminas.com.br/aspermovel.html> Acessado em 20/12/2016.



FIGURA 2.3 – Coque incandescente após sair do forno da coqueria.
FONTE – Paul Wurth (2015)⁶

A FIG. 2.4 mostra o vapor produzido durante o apagamento do coque incandescente, onde é lançada rapidamente um grande volume de água dentro do vagão carregado com coque.



FIGURA 2.4 – Vapor de água produzido após o resfriamento do coque na coqueria da Usiminas Ipatinga
FONTE - Autor

No processo de redução, dentro do alto forno, o ferro se liquefaz e é chamado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão. Impurezas como calcário e sílica formam a escória, que é matéria-prima para a fabricação de cimento. Nos altos fornos a água é utilizada para refrigeração de sua carcaça e também no sistema de granulação de escória. A FIG. 2.5 ilustra o uso da água no granulador de escória, que segundo Ferroeste (2012):

[...] A escória é um resíduo gerado no processo de fabricação do ferro gusa. A escória líquida gerada nos AF's é direcionada para os granuladores através de canais, onde é resfriada bruscamente, por meio de jatos de água sob alta pressão. Não havendo tempo suficiente para formação de cristais, essa escória se granula “vitrificando” e recebe o

⁶<http://www.paulwurth.com/pt/NOSSAS-ATIVIDADES/Produ%C3%A7%C3%A3o-de-Coque/Introdu%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 10 abr. 2015.

nome de Escória Granulada de Alto-forno. A Escória Granulada de Alto-forno apresenta-se, macroscopicamente, com um aspecto de uma areia grossa.

Fonte: Ferroeste (2012)



FIGURA 2.5 – Uso da água nos altos-fornos no granulador de escória
FONTE – Ferroeste (2012)⁷

A etapa seguinte do processo é denominada de refino, em que o ferro gusa é levado para o setor denominado aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, mediante queima de impurezas e adições ligas, que permitirá o controle das propriedades do aço desejado. O refino do aço se faz em fornos a oxigênio ou elétricos. Nesta etapa da produção do aço a água é muito utilizada na refrigeração dos equipamentos e também no processo de solidificação do aço nos sistemas de lingotamento contínuo. A FIG. 2.6 ilustra uma máquina de lingotamento contínuo de aço, em que se percebe a presença de água na forma de vapor.



FIGURA 2.6 – Vapor de água produzido durante o resfriamento na máquina de lingotamento contínuo
FONTE – Cooldo (2016)⁸

⁷ <http://www.ferroeste.com.br/noticias/52/granulacao-de-escoria> Acessado em 20/12/2016

A terceira e última fase do processo de fabricação do aço é a laminação. O aço é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados e barras.



FIGURA 2.7 – Etapas da laminação de chapas grossas da Usiminas
FONTE – Usiminas (2016a)⁹

A FIG. 2.7 representa as principais etapas da laminação de chapas grossas e a FIG. 2.8 ilustra laminação de tiras a quente na Usiminas.

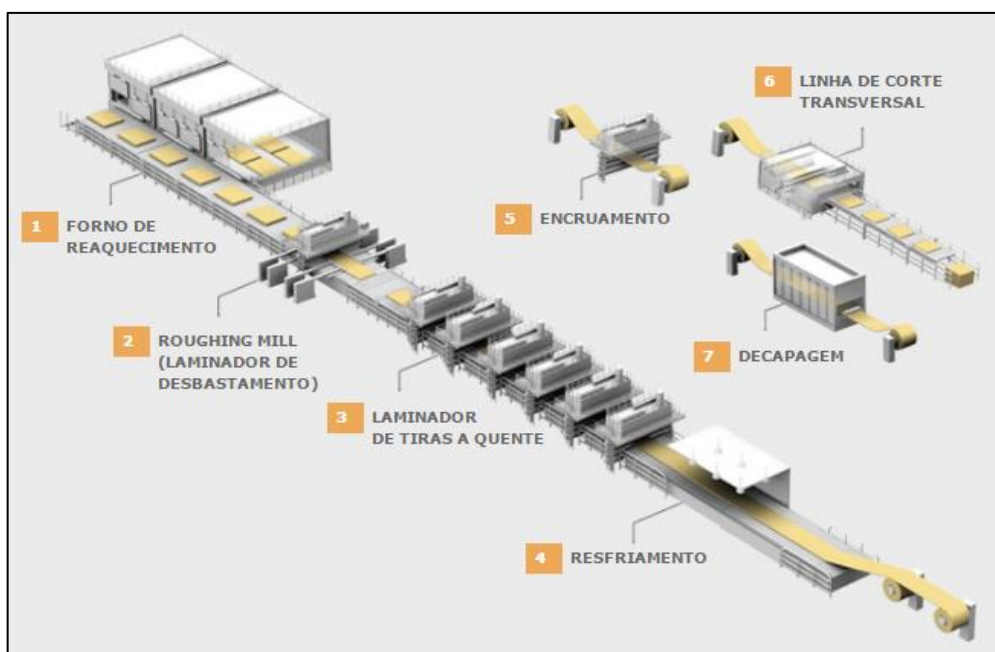


FIGURA 2.8 – Etapas da laminação de tiras a quente da Usiminas
FONTE – Usiminas (2016b)¹⁰

⁸ <http://www.cdinduction.com/wp-content/uploads/2016/10/continuous-casting-machine-steel-billet.jpg>. Acesso em: 20 dez. 2016.

⁹ <http://www.usiminas.com/nossos-produtos/chapas-grossas/> acessado em 20 out. 2016.

¹⁰ <http://www.usiminas.com/nossos-produtos/tiras-quente/> acessado em 20 de out. de 2016.

O processo de laminação de tiras a quente inicia-se com o reaquecimento de placas de aço produzidas na etapa de aciaria, deixando-as em temperatura apropriada para serem laminadas, segundo Usiminas (2015) esta temperatura varia de 1050°C a 1250°C, o equipamento usado nesta etapa é o Forno de Reaquecimento. Com a temperatura adequada a placa reaquecida segue para o Laminador de Desbastamento, segundo Usiminas (2016a) esta é:

A primeira etapa do processo de laminação que proporciona uma grande redução de espessura do material. Nesta etapa, a placa passa sucessivas vezes em um laminador quadroo reversível até que o material (esboço) obtenha a espessura necessária para que possa avançar à etapa seguinte.

Fonte: Usiminas (2016a)

Após esta etapa o produto segue para o Laminador de Tiras a Quente, que segundo Usiminas (2015):

Nesta etapa, o material formado no laminador desbastador (esboço) sofre novamente uma redução de espessura ao passar por um trem de laminação contendo seis cadeiras. Neste processo são produzidas tiras de espessura entre 1,5mm e 20mm. Na Usina de Cubatão temos um dos mais modernos laminadores do mundo, dotado de tecnologia de ponta. Com este equipamento é possível obter bobinas a quente com variação de espessura extremamente baixa e uma excelente forma, além de microestrutura e propriedades mecânicas uniformes.

Fonte: Usiminas (2016a)

Em seguida a tira laminada passa por sistema de resfriamento, visando conferir ao produto propriedades mecânicas predeterminadas, conforme Usiminas (2016a):

Aqui a tira laminada recebe resfriamento controlado com água, visando adequação das suas propriedades mecânicas e microestrutura. A Usiminas também possui um dos sistemas de resfriamento mais longos do mundo, com 145,47 m de comprimento. Isso possibilita melhor controle do resfriamento da tira laminada e produção de materiais de qualidade superior.

Fonte: Usiminas (2016a)

Segundo o IAB (2014) as usinas siderúrgicas se classificam segundo seu processo produtivo em:

- *Integradas* – que operam as três fases básicas: redução, refino e laminação; participando de todo o processo produtivo do aço na mesma instalação industrial.

- *Semi-integradas* - que operam duas fases: refino e laminação. Estas usinas partem de ferro gusa, ferro esponja ou sucatas metálicas adquiridas de terceiros para transformá-los em aço em aciarias elétricas e sua posterior laminação. Não possuindo desta forma a fase de redução.

Existem ainda as indústrias que efetuam apenas o processo de laminação, por meio da aquisição de placas de aço de outras indústrias siderúrgicas.

2.2. A Capacidade produtiva da siderurgia no Brasil e no mundo

Segundo o Instituto Aço Brasil (2015), o setor siderúrgico nacional é representado por 14 empresas privadas, controladas por onze grupos empresariais e opera com 29 usinas distribuídas por 10 estados brasileiros, a indústria do aço no Brasil foi responsável pela produção, em 2014, de 33,9 milhões de toneladas de aço bruto, levando o país a ocupar a nona posição no ranking da produção mundial segundo a publicação *World Steel in Figures 2015*, editada pela *World Steel Association* (2015), uma associação que reúne produtores de aço de aproximadamente 170 países.

Segundo *World Steel* (2015), o país que mais produziu aço em 2014 foi a China com 822,7 milhões de toneladas, seguido por Japão e Estados Unidos da América, com 110,7 e 88,2 milhões de toneladas respectivamente. A produção mundial de aço no ano de 2014 foi de 1.649 milhões de toneladas. A TAB. 2.1 mostra o *ranking* dos dez países que produziram aço em 2014.

TABELA 2.1
Ranking mundial de produção de aço em 2014

Posição	País	Milhões de toneladas
1	China	822,7
2	Japão	110,7
3	Estados Unidos da América	88,2
4	Índia	86,5
5	Coreia do Sul	71,5
6	Rússia	71,5
7	Alemanha	42,9
8	Turquia	34,0
9	Brasil	33,9
10	Ucrânia	27,2

FONTE – *World Steel* (2015), p. 9.

2.3. O Consumo de água no processo siderúrgico

A siderurgia é um setor caracterizado por consideráveis perdas de água por evaporação, que ocorrem em operações como granulação de escória nos altos fornos e aciaria, apagamento de coque, aspersão de água para resfriamento de aço no lingotamento e laminação, além de perdas por evaporação e respingos em torres de resfriamento, utilizadas amplamente em sistemas de resfriamento tanto por contato direto como por contato indireto, Johnson (2003). A FIG. 2.9 representa um sistema de recirculação de água em uma laminação a quente, em que ocorrem perdas por evaporação no processo de laminação e nas torres de resfriamento, sendo necessária a reposição de água ao sistema. Segundo o Relatório de Sustentabilidade 2009, do Instituto Aço Brasil, “o índice de uso específico de água doce nova também apresentou valor próximo ao do período anterior, passando de 10,05 m³ de água por cada tonelada de aço bruto produzido para 10,50 m³”, considerando todas as fases de fabricação.

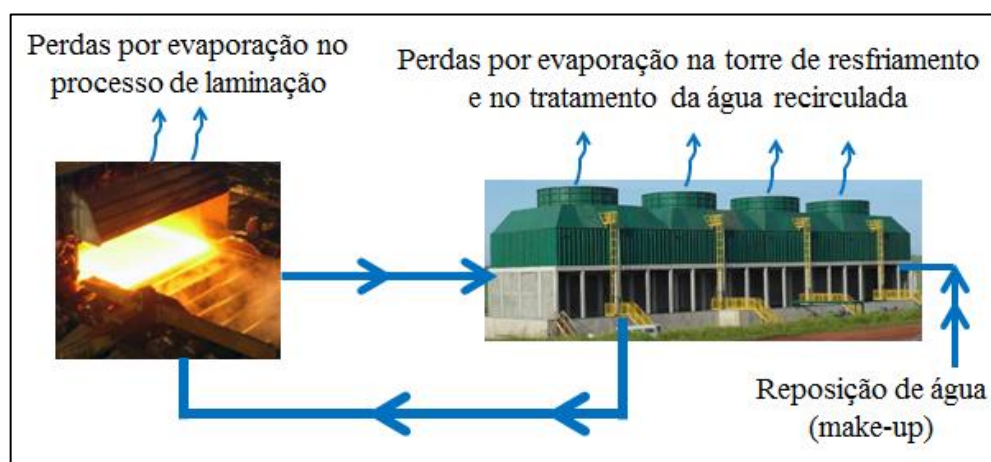


FIGURA 2.9 – Representação esquemática da perda de água por evaporação na laminação a quente.
FONTE – Autor

Segundo o Formulário de Referência 31/12/2009 da Usiminas (2009), documento conforme anexo 24 da instrução CVM n.º 480, informa que devido ao volume de água necessário para resfriamento no processo siderúrgico, o que implica também em perdas por evaporação, a Usiminas tem investido em novos processos de recirculação e reuso da água para reduzir o consumo por captação. A Usiminas, que possui duas unidades siderúrgicas, uma em Ipatinga-MG e outra em Cubatão-SP, captou mais de 236 milhões de metros cúbicos de água em 2009, conforme mostra a TAB. 2.2. Interessante observar que no documento a empresa inclui como fonte de obtenção de água a coleta da chuva, porém não informa o valor coletado.

TABELA 2.2
Retirada de água por fonte pela Usiminas em 2009

Fonte	Volume (m ³)
Água de superfície, incluindo áreas úmidas, rios, lagos e oceanos	172.650.476
Água doce de superfície	62.369.479
Água subterrânea	1.150.377
Água de chuva coletada e armazenada	Não Aplicável
Efluentes de uma outra organização	82.451
Abastecimento municipal ou de outras empresas de abastecimento	81.809
Total	236.334.592

FONTE - Usiminas (2009), p. 71

Remus *et al* (2013) recomendam o uso da água de chuva sempre que possível no processo siderúrgico, principalmente nos processos de laminação a quente (*hot rolling*) para repor a água perdida por evaporação, conforme ilustrado na FIG. 2.10, interessante notar que o excesso de água (*emergency overflow*) que não comporta no reservatório para água de chuva é direcionado para um reservatório maior, que geralmente é um lago dentro da siderúrgica.

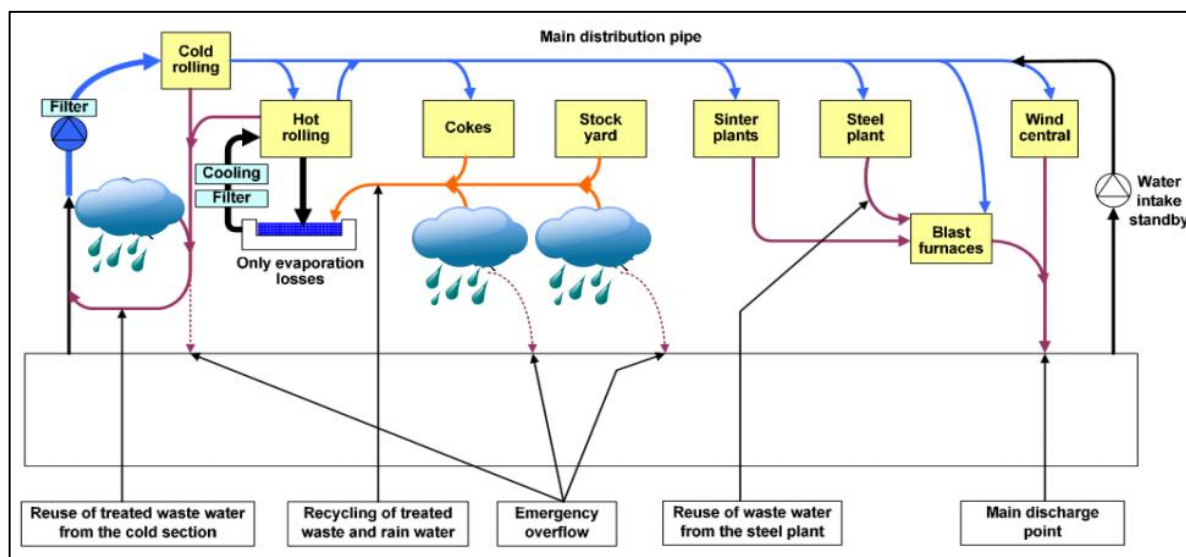


FIGURA 2.10 – Uso da água de chuva no processo siderúrgico.

FONTE –EUROFER (2009 apud Remus *et al*, 2013, p.46)

2.3.1 – Consumo de água no processo de laminação a quente

Na laminação a quente (chapas grossas e tiras a quente), a água é utilizada tanto em operações de resfriamento por contato indireto, como por contato direto. Nos fornos de reaquecimento

de placas, nos trocadores de calor dos motores e equipamentos periféricos dos laminadores, o resfriamento é feito por contato indireto.

A utilização de água por contato direto inclui a remoção de carepa, por meio de jatos de alta pressão após a saída dos fornos de reaquecimento, na lubrificação durante o processo de laminação e no resfriamento das chapas após a laminação, para conferir as propriedades mecânicas desejadas (Lee et al., 2004). A FIG. 2.11 ilustra o uso da água durante o processo de laminação (esquerda), promovendo a remoção de carepa e promovendo a lubrificação entre os cilindros de laminação e a chapa que está sendo processada, ainda na FIG. 2.11 (direita) nota-se o uso da água promovendo o resfriamento controlado da chapa após ser laminada, para conferir propriedades mecânicas especificadas.



FIGURA 2.11 – Uso da água por contato direto no processo de laminação a quente.
FONTE – Adaptado de Siemens (2013)

Para Walling e Otts (1967), é complexa a determinação exata do volume de água consumido no processo de laminação a quente, por envolver muitas variáveis que interferem consideravelmente. Uma laminação geralmente processa diversos tipos de aços, com propriedades mecânicas e estruturais que demandam maior ou menor aquecimento nos fornos de reaquecimento de placas, ou seja, a temperatura de laminação depende de cada tipo de aço. Outra situação é a produção de chapas com diversos valores de espessura, onde quanto menor a espessura final da chapa, maior será a área de contato com a água gasta no processo (retirada de impurezas superficiais e resfriamento), provocando assim maior evaporação e respingos deste insumo.

Na prática as empresas avaliam o volume de água gasto por unidade de produto, fazendo uma relação da quantidade produzida e o volume de água reposta, fazendo um controle periódico

(semanal, quinzenal ou mensal) conhecendo assim o seu processo e possibilitando o planejamento de manutenção, controle de qualidade e custo de produção, uma vez que o consumo de água fora dos padrões conhecidos previamente pode indicar vazamentos ou erros operacionais.

Johnson (2003), participou do estudo contratado pelo *Center for Waste Reduction Technologies* para *United States Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Industrial Technologies Program*, onde foi elaborado o documento *Water Use in Industries of the Future*, em que se realizou um estudo sobre o uso da água em siderurgia, levantando dados de consumo para diversas etapas da produção do aço. Neste estudo ele informa a quantidade de água consumida para controle ambiental (eliminação de poeiras), resfriamento dos processos, perdas por evaporação e também o percentual de reciclagem da água.

A TAB. 2.3 apresenta as perdas por evaporação, por processos da siderurgia. Nota-se que o processo de laminação de chapas grossas e de tiras a quente consomem 30 galões por tonelada de produto, devido a evaporação, sendo que este volume deverá ser repostado ao sistema.

TABELA 2.3

Perdas de água por evaporação nos processos siderúrgicos

Processo	Evaporação	
	galão/ton produto	litros/ton produto
Coqueria	230	871
Sinterização	100	379
Alto forno	70	265
Aciaria BOF	120	454
Lingotamento contínuo	10	38
Laminação de chapas grossas	30	114
Laminação de tiras a quente	30	114
Decapagem ácida	15	57
Laminação de tiras a frio	4	15

FONTE – Adaptado de Johnson (2003, p. 66).

2.3.2 – Qualidade da água no processo de laminação a quente

Segundo Walling e Otts (1967), normas de qualidade da água para a indústria siderúrgica não foram geralmente aceitas por causa da grande variação em equipamentos, produtos e procedimentos, mas em geral os principais itens a serem controlados são dureza e o *pH* da água, pois estes parâmetros tem influência direta na manutenção e durabilidades de tubulações ou canais de refrigeração dos equipamentos, seja pela corrosão ou incrustações que afetam a eficiência da transferência de calor e/ou aumento da perda de carga.

Porém como após o uso da água no processo de laminação, ela vai para alguma torre de resfriamento, pode-se ter como parâmetro de qualidade mínimo o proposto por Trovati (2004). A TAB. 2.4 apresenta valores de referência sugeridos pelo referido autor em sua obra.

TABELA 2.4

Parâmetros de qualidade da água para torres de resfriamento

Item de controle	Faixa sugerida
pH	6,5 - 8,5
Sólidos totais dissolvidos (ppm)	Máx. 2800
Dureza total (ppm CaCO ₃)	Máx. 400

FONTE - Trovati (2004), p. 66

Para Mierzwa e Hespanhol (2005 p. 34) a água “como fluido de resfriamento ou aquecimento, seu grau de qualidade pode ser menos restritivo, desde que se leve em consideração a proteção dos equipamentos com os quais a água entra em contato”. Segundo Nemerow e Dasgupta (1991 apud MIERZWA e HESPANHOL, 2005, p. 37) o único requisito de qualidade para água de uso em laminação a quente é o controle do *pH*, que pode variar com valores de 5 a 9.

2.4. Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis

Uma forma muito utilizada para o aproveitamento da água da chuva é a construção de cisternas, muito comum no nordeste brasileiro e em países do continente africano. Alguns programas foram criados pelo governo brasileiro no intuito de melhorar a qualidade de vida da população do semiárido. Um deles foi a criação do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semiárido (CPATSA) em 1975, com o objetivo de buscar meios de coleta da água da

chuva e de construção de cisternas para armazenamento de água para consumo humano e produção agrícola.

Muitas indústrias também têm feito o aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis, quer seja para a manutenção de jardins, limpeza e ou no próprio processo industrial. A Volkswagen do Brasil tem feito o uso da água de chuva nas unidades de Anchieta, São Carlos e São José dos Pinhais:

A unidade Anchieta também capta água das chuvas, que se forem intensas podem gerar quantidade do recurso equivalente ao consumo médio diário da fábrica. Toda água que cai sobre o telhado de uma das alas é captada, tratada e utilizada nos processos industriais e na descarga dos sanitários. O processo é tão eficiente, que a fábrica Anchieta desenvolve projetos para coletar água também em outros telhados. A qualidade da água de chuva é monitorada, para assegurar a excelência nos processos.

Nas unidades São Carlos e São José dos Pinhais também há captação de água de chuva por meio de calhas nos prédios. Essa água é filtrada, passa por uma caixa de armazenamento, depois segue para a torre de resfriamento. Em seguida, é utilizada para reduzir a temperatura de máquinas no processo produtivo. Em São Carlos, depois de todo esse circuito, a mesma água ainda passa por um processo de drenagem, para manter a concentração ideal de sais minerais, e é novamente aproveitada para a lavagem dos racks que armazenam os motores produzidos pela fábrica. Apenas com o reaproveitamento de água nesses dois processos, a unidade de motores economiza cerca de 1,54 milhão de litros de água por ano.

Fonte: Volkswagen do Brasil (2015)¹¹

Os sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva são compostos, basicamente, por uma área de captação da água de chuva, que é direcionada a um reservatório por meio de calhas e tubos condutores. Antes de chegar ao reservatório, a água de chuva deve passar por um mecanismo de limpeza para a remoção de impurezas. A água captada e armazenada com o uso desses sistemas pode ter fins diversos, tais como residencial, irrigação e industrial.

A norma NBR-15527 (ABNT, 2007) fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Sendo aplicada a usos não

¹¹<http://www.vwbr.com.br/ImprensaVW/Release.aspx?id=b3dbcb1f-08bf-40f5-b99d-f945c52114d7> Acesso em 12 dez. 2016.

potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

2.4.1 – Área de captação

Segundo a NBR-15527 (ABNT, 2007), a área de captação é dada em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é coletada. A cobertura é a principal área de captação, a quantidade e qualidade de água da chuva coletada dependem da área e do tipo de material de cobertura. Ainda conforme a referida norma técnica, o coeficiente de escoamento (C), também conhecido como coeficiente de *runoff*, representa a relação entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado, variando conforme a superfície.

Segundo Bertolo (2006) em sua dissertação intitulada “*Aproveitamento da Água da Chuva em Edificações*”:

O volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o que cai sob a forma de precipitação. Assim, são estimadas as perdas, segundo Tomaz [2003], que vão de 10% a 33% do volume que precipita.

A perda de água por evaporação, limpeza do telhado, perdas na auto-limpeza e outras é designada por muitos autores por coeficiente de *Runoff*.

Note-se que o conceito de coeficiente de *Runoff* é diferente do conceito de coeficiente de escoamento. As perdas de água por lavagem do telhado não são contabilizadas no coeficiente de escoamento.

Fonte: Bertolo (2006, p.79)

Na TAB. 2.5 observa-se valores de coeficiente de escoamento adotados por diferentes autores, para diferentes materiais.

TABELA 2.5
Valores de C considerados por diferentes autores

MATERIAL	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO	AUTORES
Telha cerâmica	0,80 a 0,90	Hofkes (1981) e Frasier (1975) apud May (2004)
	0,75 a 0,90	Van den Bossche (1997) apud Vaes e Berlamont (1999)
Telha esmaltada	0,90 a 0,95	Van den Bossche (1997) apud Vaes e Berlamont (1999)
Telha metálica	0,70 a 0,90	Hofkes (1981) e Frasier (1975) apud May (2004)
	0,85	Khan (2001)
Plástico	0,94	Khan (2001)
Betume	0,80 a 0,95	Van den Bossche (1997) apud Vaes e Berlamont (1999)
Telhados verdes	0,27	Khan (2001)
Pavimentos	0,40 a 0,90	Wilken (1978) apud Tomaz (2003)
	0,68	Khan (2001)

FONTE – Anecchini (2005, p. 50)

2.4.2 – Remoção de materiais grosseiros

Com a finalidade de evitar entupimento da tubulação do sistema e assegurar a qualidade da água armazenada, deve-se evitar a entrada de folhas, gravetos ou outros materiais grosseiros no interior do reservatório de armazenamento final, onde poderão se decompor prejudicando assim a qualidade da água captada, principalmente alterando o valor de seu *pH*.

A remoção desse tipo de material pode ser feita usando telas ou grades, que devem ser instalados nas calhas. A FIG. 2.12 mostra um exemplo desse sistema de retenção de folhas e gravetos.



FIGURA 2.12 – Sistema de retenção de folhas e gravetos em sistemas de captação de água de chuva.

FONTE – Jay R. Smith Mfg. Co. (2010, p.8)

2.4.3 – Tratamento da água de chuva

Gould (1999) em trabalho apresentado na 9ª *Conferência Internacional sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva*, realiza em Petrolina-PE em julho de 1999, afirma que a chuva inicial é mais poluída, pelo fato de fazer a limpeza da atmosfera contaminada por poluentes e da superfície de captação da água de chuva. O descarte dos primeiros milímetros de chuva, através de um componente importante do sistema de aproveitamento que é o reservatório de eliminação da primeira chuva é um procedimento de limpeza da água a ser armazenada, acumulada no reservatório final, conforme Thomas (2003).

Este reservatório tem a finalidade de receber a chuva inicial, retendo-a ou descartando-a de forma que a mesma não entre em contato com a chuva seguinte, menos poluída, que será direcionada ao reservatório de armazenamento final. A chuva direcionada ao reservatório final, que tenha passado apenas por este tratamento simplificado, deve ter seu uso voltado apenas para os fins não potáveis, pois não há garantia da ausência de componentes prejudiciais à saúde humana ou animal.

Segundo Dacach (1981 *apud* Anecchini, 2005, p. 40), o reservatório de eliminação de primeira chuva deve ter capacidade para armazenar de 0,8 a 1,5 L/m² de área de captação, o que também pode ser expresso como 0,8 a 1,5 mm de chuva por metro quadrado de área de captação. A FIG. 2.13 ilustra um exemplo de sistema de descarte da primeira chuva, onde ao se completar o volume do reservatório de primeira chuva, o mesmo extravasa, fazendo com que a água passe para o reservatório de armazenamento final.

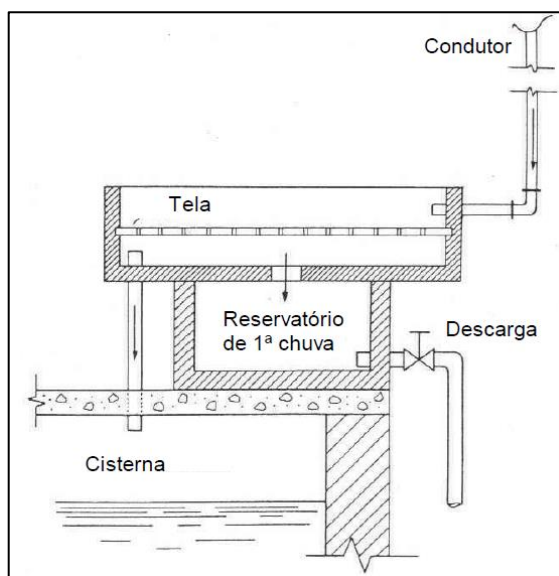


FIGURA 2.13 – Sistema de descarte da primeira chuva.
FONTE – Dacach (1981 *apud* Anecchini, 2005, p. 41)

Quando a água da chuva é utilizada para fins potáveis, recomenda-se a realização de processos de tratamento mais completos, como a filtração em filtros de areia ou de carvão ativado. Neste estudo o uso da água de chuva é para fins não potáveis, sendo sua finalidade como insumo de resfriamento e descarepação no processo de laminação a quente.

2.4.4 - Armazenamento da água de chuva

Depois de realizado o processo de tratamento da água da chuva, a água é direcionada ao reservatório de armazenamento final. Os reservatórios de água de chuva podem ser enterrados, semienterrados, apoiados sobre o solo ou elevados. Esses reservatórios podem ser construídos de diferentes materiais, como concreto armado, alvenaria, fibra de vidro, aço, polietileno, entre outros. Dependendo da finalidade do uso da água captada, o armazenamento pode ser feito também em lagos ou represas.

A FIG. 2.14 mostra um lago construído ao lado da laminação a frio da *Essar Steel Hazira*, Índia, para armazenamento de 180.000 m³ de água de chuva por ano, inaugurado em 2007, sendo tema da notícia intitulada “*Making every drop count*” disponibilizada em seu site oficial.



FIGURA 2.14 – Lago para acumulação de água de chuva.
FONTE – Adaptado de *Essar Steel Hazira* (2013).¹²

¹² http://www.essar.com/article.aspx?cont_id=rsx8C4TuS0c=. Acesso em: 10 jun. 2015

Os reservatórios para água de chuva instalados na superfície “devem ser instalados em locais que disponham de área livre, tendo a vantagem de possibilitar alguns usos sem a necessidade de bombeamento, como para a lavagem de áreas impermeáveis e a irrigação de jardins” conforme sugere Anecchini (2005, p. 43).

Ainda segundo Anecchini (2005, p. 43) “os reservatórios semienterrados ou enterrados, normalmente, necessitarão de sistema de bombeamento, salvo alguns casos, como das cisternas instaladas no nordeste do Brasil, onde a população introduz baldes na cisterna para a retirada da água”.

O reservatório de armazenamento geralmente é a parte mais onerosa do sistema de aproveitamento da água da chuva, segundo Anecchini (2005).

2.4.5 - Características qualitativas da água de chuva

Muitos fatores influenciam na qualidade da água da chuva, dentre eles a “localização geográfica, a presença de vegetação, as condições meteorológicas (regime dos ventos), a estação do ano” e a presença de poluição atmosférica, conforme informado por Anecchini (2005, p. 45).

A chuva proporciona a ‘limpeza’ da atmosfera, retirando os contaminantes presentes na mesma, podendo ocasionar o fenômeno da chuva ácida. Nas regiões onde estão instaladas as indústrias siderúrgicas, o controle de emissões atmosféricas deve ser rigoroso para evitar a chuva ácida. Milanez e Porto (2009) em um artigo intitulado “*Gestão Ambiental e Siderurgia: Limites e Desafios no Contexto da Globalização*” informam quais os gases liberados durante o processo siderúrgico que podem influenciar na composição da água de chuva:

Entretanto, o CO₂ não é o único problema de emissões atmosféricas gerados pelas siderúrgicas. Há um segundo grupo de poluentes, o SO_x e o NO_x, que reagem com a umidade presente no ar e formam, respectivamente, ácidos de enxofre e ácidos de nitrogênio, constituindo assim a chamada “chuva ácida”. Dependendo do grau de acidez da chuva, ela pode impactar negativamente plantas, aumentar a acidez de rios e lagos, aumentar a mortalidade de peixes e outros animais, e danificar prédios e construções.

Fonte: Milanez e Porto (2009, p. 12)

A utilização de superfícies para a coleta da água também altera as características naturais da água de chuva. Segundo Anecchini (2005) a qualidade da água da chuva, na maioria das vezes, piora ao passar pela superfície de captação, a qual pode estar contaminada inclusive por fezes de pássaros e de pequenos animais, ou por óleo combustível, no caso de superfícies de captação no solo.

Para Anecchini (2005), deve-se direcionar o uso da água da chuva para fins não potáveis, como rega de jardins, descarga de sanitários, lavagem de pisos e roupas, podendo inclusive ser aproveitada em processos industriais, como por exemplo, nas torres de resfriamento.

A TAB. 2.6 obtida na norma NBR-15527 (ABNT, 2007), indica os parâmetros de qualidade de água chuva para usos restritivos não potáveis.

TABELA 2.6
Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	<2,0 uT ^b , para usos menos restritivos <5,0 uT
Cor aparente	Mensal	<15 uH ^c
pH	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção ^b uT é a unidade de turbidez ^c uH é a unidade Hazen		

Fonte: NBR-15527 (ABNT, 2007)

2.4.6 – Dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva

A norma NBR-15527 (ABNT, 2007) apresenta em caráter informativo, o anexo A - Métodos de cálculos para dimensionamento de reservatórios, ficando a critério do projetista a opção pelo método a ser utilizado desde que devidamente justificado. Os métodos apresentados neste ANEXO A são o método de *Rippl*, método da Simulação, método de Azevedo Neto, método prático Alemão, método prático Inglês e o método prático Australiano.

2.4.6.1 – Método de Rippl

No Método de Rippl, que utiliza as EQUAÇÕES (3.1) a (3.4), calcula-se o volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado Annecchini (2005). Neste método podem-se usar as séries históricas mensais ou diárias.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (3.1)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (3.2)$$

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores } S_{(t)} > 0 \quad (3.3)$$

Sendo que:

$$\sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)} \quad (3.4)$$

Na qual:

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$Q(t)$ é o volume de chuva no tempo t ;

$D(t)$ é o consumo ou demanda de água no tempo t

V é o volume do reservatório

C é o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*)

2.4.6.2 – Método da simulação

No Método da Simulação, que utiliza as EQUAÇÕES (3.5) a (3.7), primeiro adota-se um volume fixo para o reservatório, estipulando um possível volume que se quer armazenar. Em seguida, por meio da análise de um hidrograma de chuvas, observa-se o comportamento da água no reservatório, se haverá excesso ou falta de água durante o período analisado. Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito e não deve ser levada em conta a evaporação de água no reservatório, segundo NBR-15527 (ABNT, 2007). Fazendo várias simulações de volume, pode-se construir curvas que permitem verificar a variação do volume do reservatório e o percentual global de atendimento a demanda de consumo de água.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (3.5)$$

$$Q_{(t)} = C \times \text{precipitação da chuva}_{(t)} \times \text{área de captação} \quad (3.6)$$

Sendo que:

$$0 \leq S_{(t)} \leq V \quad (3.7)$$

Na qual:

$S(t)$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;

$S(t-1)$ é o volume de água no reservatório no tempo $t-1$;

$Q(t)$ é o volume de chuva no tempo t ;

$D(t)$ é o consumo ou demanda de água no tempo t

V é o volume fixado para o reservatório (volume de tentativa)

C é o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*)

Para Tomaz (2003) a análise da simulação do reservatório é um processo de tentativas, em que se supõem conhecidos o volume do reservatório e a demanda de água. É recomendado o uso de séries de precipitação mensais acima de dez anos.

2.4.6.3 – Método de Azevedo

O Método de Azevedo Neto sugere o aproveitamento máximo de 50% da precipitação anual, em função do escoamento superficial assim como de perdas inerentes ao sistema conforme Giacchini (2010). Segundo a NBR-15527 (ABNT, 2007), o volume do reservatório de água pluvial é obtido por meio da EQUAÇÃO (3.8)

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (3.8)$$

Na qual:

V é o volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L);

P é a precipitação média anual (mm);

A é a área de coleta em projeção (m²);

T é o número de meses de pouca chuva ou seca.

2.4.6.4 – Método prático Alemão

O método prático Alemão, por meio da EQUAÇÃO (3.9), caracteriza-se por adotar um percentual de 6% do menor valor entre o volume anual aproveitável de chuva e a demanda anual de água não potável. Conforme a NBR-15527 (ABNT, 2007), trata-se de um método empírico, cujo dimensionamento do reservatório procede embasado na relação.

$$V = \min (V; D) \times 0,06 \quad (3.9)$$

Na qual:

V é o volume anual de precipitação aproveitável (L);

D é a demanda anual de água não potável (L).

2.4.6.5 – Método prático Inglês

A norma NBR-15527 (ABNT, 2007), indica que por meio do método prático Inglês, o volume do reservatório de água pluvial é obtido por meio da EQUAÇÃO (3.10):

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (3.10)$$

Na qual:

P é a precipitação média anual (mm);

A é a área de coleta em projeção (m²);

V é o volume de água aproveitável e o volume de água da cisterna (L).

O método prático Inglês, caracteriza-se por sua origem empírica, fundamentada em certo percentual de aproveitamento da precipitação média anual em relação à área de captação da água. Diferentemente do método prático Brasileiro, o método prático inglês não considera na sua formulação o período de seca (GIACCHINI, 2010).

2.4.6.6 – Método prático Australiano

Neste método o dimensionamento do reservatório de água pluvial é obtido por meio da EQUAÇÃO (3.11), que informa o volume de chuva, e pela EQUAÇÃO (3.12), que informa o volume do reservatório de armazenamento. É um método empírico em que o cálculo do

volume do reservatório é realizado por tentativas até que sejam atingidos valores otimizados de confiança e de volume do reservatório, conforme descreve a NBR-15527 (ABNT, 2007).

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (3.11)$$

Na qual:

C é o coeficiente de escoamento superficial;

P é a precipitação média mensal (mm);

I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm, segundo Amorim e Pereira (2008);

A é a área de coleta (m²);

Q é o volume mensal produzido pela chuva (m³).

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (3.12)$$

Na qual:

Q(t) é o volume mensal produzido pela chuva no mês t (m³);

V(t) é o volume de água que está no tanque no fim do mês t (m³);

V(t-1) é o volume de água que está no tanque no início do mês t (m³);

D(t) é a demanda mensal (m³).

Para o primeiro mês o reservatório é considerado vazio.

A determinação do volume do reservatório acontece por meio da análise da confiança através das EQUAÇÕES (3.13) e (3.14):

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (3.13)$$

Na qual:

Pr é a probabilidade empírica de falha;

Nr é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando Vt = 0;

N é o número de meses considerado, geralmente 12 meses.

$$\text{Confiança} = 1 - P_r \quad (3.14)$$

A norma ABNT NBR-15527, recomenda que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%.

2.5. O novo Código de Obras do município de Ipatinga e o uso da água de chuva

O Projeto de Lei do novo código de obras do município de Ipatinga-MG, determina que os projetos de edificações e urbanização devem incorporar conceitos e prever dispositivos que promovam a sustentabilidade, inclusive para fins industriais. Para isto o referido Projeto de Lei especifica algumas regras para o uso da água de chuva:

Art. 96. Os projetos de edificações e urbanização devem incorporar conceitos e prever dispositivos que promovam a sustentabilidade, de forma a contribuir para a melhoria do desempenho ambiental da obra, da edificação e da cidade. Parágrafo único. Consideram-se conceitos e dispositivos que promovem a sustentabilidade, entre outros:

[...]

III – Captação e reuso de águas pluviais;

[...]

§ 2º A utilização das águas pluviais captadas para fins não potáveis, mediante a instalação e operação de equipamentos e redes hidráulico-sanitárias apropriadas, deverá respeitar as normas e especificações técnicas pertinentes, em especial a NBR 15.527/2007.

§ 3º Os fins não potáveis para o uso das águas pluviais são:

[...]

f) usos industriais;

[...]

§ 4º Somente é permitido o armazenamento e utilização das águas pluviais captadas de coberturas, telhados e lajes onde não haja circulação de pessoas, animais e veículos.

§ 5º As águas pluviais captadas de outros locais diferentes dos especificados no parágrafo anterior devem ser drenadas.

Fonte: Ipatinga (2015, p. 36-37)

Este estudo considera somente a captação de água de chuva de telhados dos galpões da laminação, estando assim em conformidade com a futura legislação do município em que a empresa está situada.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta busca avaliar o potencial do uso da água de chuva para reposição do sistema de água (*make-up*) perdida por evaporação durante o processo de laminação de chapas grossas localizada no Vale do Aço Minas Gerais (Usiminas). Para esta avaliação foram verificados a quantidade de água evaporada no processo de laminação de chapas grossas, o potencial de acumulação de água de chuva e a qualidade da água precipitada.

3.1. Verificação da quantidade de água evaporada na laminação de chapas grossas

Para a verificação da quantidade de água evaporada na laminação de chapas grossas e de tiras a quente, primeiro identificou-se a capacidade nominal de cada um dos processos citados. Segundo a apresentação de resultados do terceiro trimestre da Usiminas, disponível no sítio eletrônico de relações com seus investidores é possível identificar a capacidade de produção nominal da planta industrial de Ipatinga-MG e Cubatão-SP, conforme ilustrado na FIG. 3.1.



FIGURA 3.1 – Capacidade nominal de produção de aços planos da Usiminas.

FONTE – Usiminas (2015, p.14)¹³

¹³ <http://v4-usiminas.infoinvest.com.br/ptb/4948/ApresentaoSite%20RI%203T15.pdf>. Acesso em 10 jan. 2016

Nota-se que a capacidade de produção nominal de chapas grossas na usina de Ipatinga-MG é de um milhão de toneladas por ano, sendo igual à usina de Cubatão-SP, já produção de laminados a quente (tiras a quente) em Ipatinga é de 3,6 milhões de toneladas por ano e Cubatão 4,4 milhões de toneladas por ano. Assim a usina de Ipatinga representa 50% da capacidade nominal de chapas grossas e 45% de laminados a quente (tiras a quente) da Usiminas.

Como visto na TAB. 2.3, Johnson (2003) informa que nos processos de laminação de chapas grossas e de tiras a quente perdem-se por evaporação 30 galões de água por tonelada produzida. Levando em consideração este dado e a capacidade nominal de produção da usina de Ipatinga, o volume de água evaporado pode ser estimado, conforme demonstrado na TAB. 3.1.

TABELA 3.1

Estimativa de perda de água por evaporação considerando a capacidade nominal da usina de Ipatinga

Processo	Capacidade nominal de produção por ano (tonelada)	Perda por evaporação (galão/t de produto)	Volume de água evaporada por ano (m ³)
Laminação de Chapas Grossas	1.000.000	30	113.560
Laminação de Tiras a Quente	3.600.000	30	408.816
Total	4.600.000	-	522.376

Fonte: Autor

Todavia, nem sempre a produção real condiz com a produção nominal dos equipamentos. Para o dimensionamento mais condizente com a realidade, fez-se uma busca nos dados de produção da empresa nos anos de 2005 a 2015, tendo como base de dados as informações dos *releases* trimestrais disponíveis no sitio eletrônico de relações com investidores da Usiminas, disponível em: <http://ri.usiminas.com/ptb/s-10-ptb-2016.html> (acessado em 20 out. 2016).

Nestes *releases* trimestrais a empresa informa o desempenho de suas unidades de negócios, possibilitando assim ao investidor maior transparência sobre suas atividades. Os dados são disponibilizados trimestralmente (janeiro a março, abril a junho, julho a setembro e outubro a dezembro) e agrupam informações referentes estes meses e o referido ano (exemplo: 1T2015 – janeiro a março de 2015). Para informar os dados de desempenho da linha de negócios siderurgia, a empresa faz o agrupamento de vendas físicas das usinas de Ipatinga-MG e Cubatão-SP, separando os principais produtos/processos (chapas grossas, laminados a quente,

laminados a frio, eletrogalvanizados, galvanizados por imersão a quente, produtos processados e placas).

No GRAF. 3.1 é apresentada a quantidade de chapas grossas e laminados a quente vendidos entre os anos de 2005 a 2015, considerando produtos da usina de Ipatinga e Cubatão, de forma unificada, não sendo informado pela empresa os valores de vendas de cada unidade de forma separada. O ano de 2007 é o que apresenta maior quantidade vendida sendo 1,916 milhão de toneladas de chapas grossas e 2,295 milhões de toneladas de laminados a quente, valores estes abaixo da capacidade nominal instalada das duas usinas siderúrgicas da Usiminas, como apresentado na FIG. 3.1. Ainda por este gráfico, nota-se que a menor quantidade de vendas ocorreu no ano de 2015, sendo 727 mil toneladas de chapas grossas e 1,219 milhão de toneladas de laminados a quente.

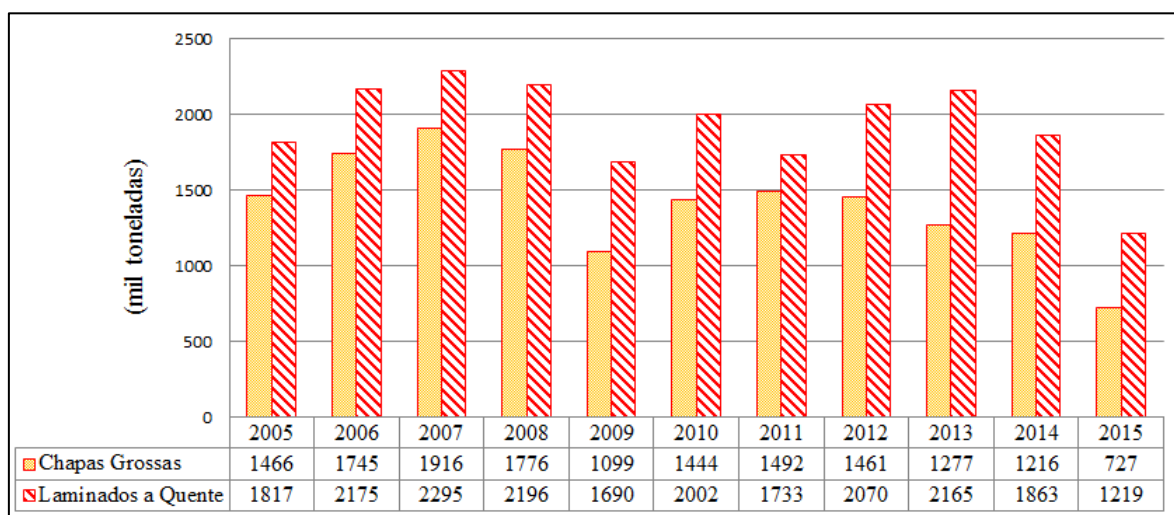


GRÁFICO 3.1 – Vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente entre os anos de 2005 a 2015, considerando usinas de Ipatinga e Cubatão.

FONTE – Autor

Com os dados do GRA. 3.1 e a quantidade de água evaporada por tonelada de produto, pode ser feito um comparativo da quantidade de evaporada nos processos dos produtos vendidos. Nota-se no GRAF. 3.2 que no ano de 2007, período de maior venda, a perda por evaporação de quase 480 mil metros cúbicos de água, e quase 221 mil metros cúbicos de água no ano de 2015, que apresentou menor venda e consequentemente menor produção.

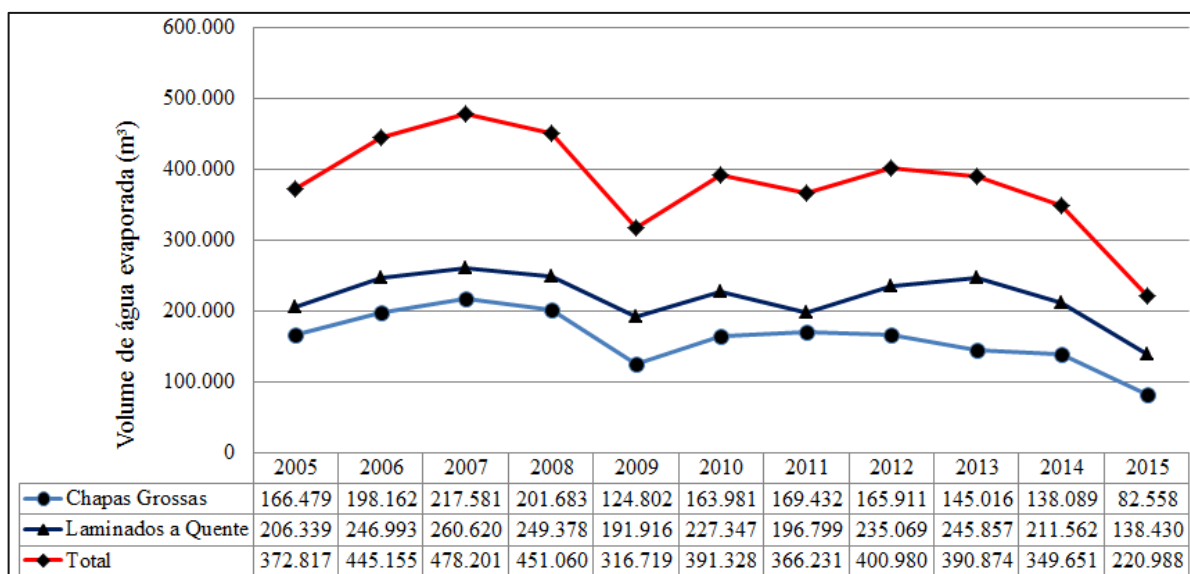


GRÁFICO 3.2 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade de vendas físicas de aço entre os anos de 2005 a 2015.

FONTE – Autor

Como visto na FIG. 3.1 conclui-se que, a usina de Ipatinga representa 50% da capacidade nominal de chapas grossas e 45% de laminados a quente (tiras a quente) da Usiminas, considerando-se tal característica da instalação industrial entre as duas plantas, pode-se deduzir que a produção real (vendas) também possa ter tal relação.

O GRAF. 3.3 apresenta a quantidade de chapas grossas e laminados a quente considerando as relações percentuais da usina de Ipatinga em relação à capacidade de produção total da Usiminas.

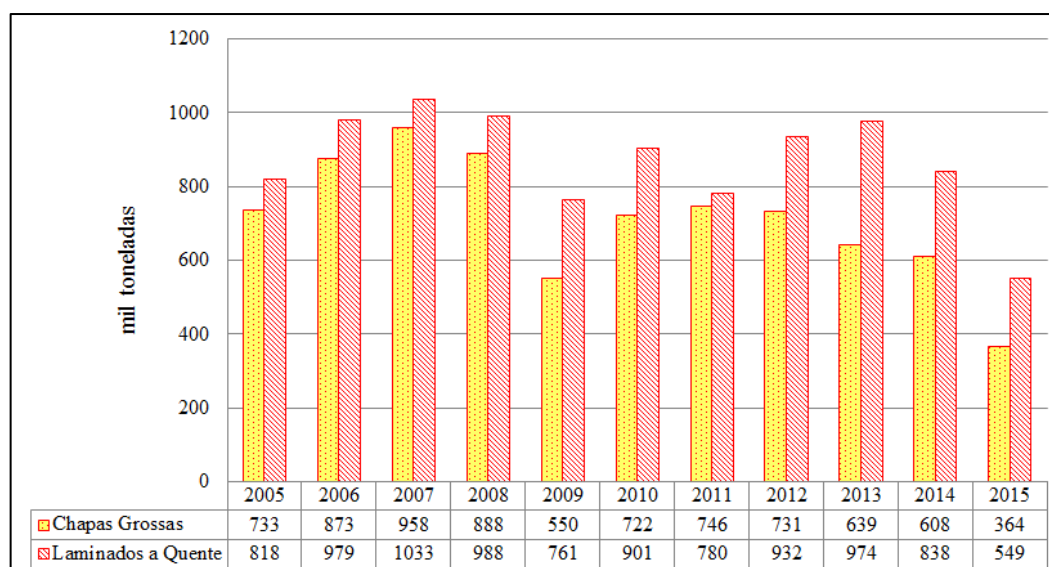


GRÁFICO 3.3 – Vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente entre os anos de 2005 a 2015, considerando usina de Ipatinga.

FONTE – Autor

Considerando os dados do gráfico GRAF. 3.3 e a taxa de evaporação de água por tonelada de produto proposta por Johnson (2003), pode-se estimar o volume de perdas na Usina de Ipatinga, conforme apresentado no GRAF. 3.4.

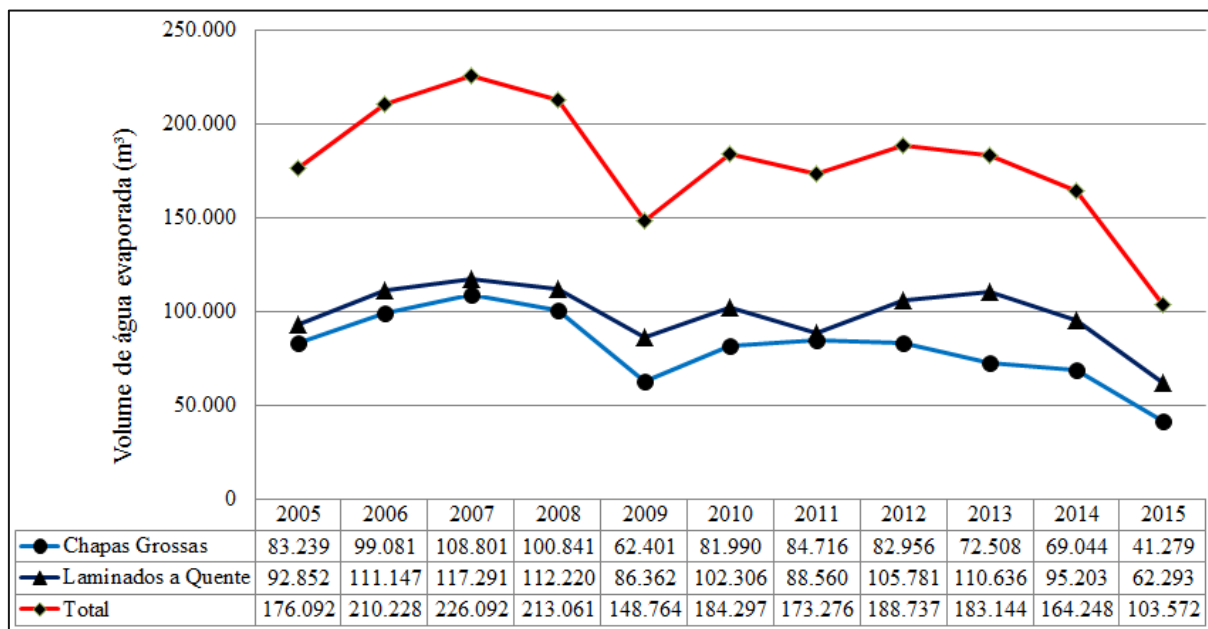


GRÁFICO 3.4 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade de vendas físicas de aço entre os anos de 2005 a 2015 referente a usina de Ipatinga.

FONTE – Autor

Nota-se no GRAF. 3.4 que no ano de 2007, período de maior venda, a perda por evaporação foi de aproximadamente 226 mil metros cúbicos de água, e quase 104 mil metros cúbicos de água no ano de 2015, que apresentou menor venda e consequentemente menor produção.

Por fim, para verificar a variação de produção durante os meses, fez-se o levantamento de vendas físicas médias por trimestre dos anos de 2005 a 2015, usando informações disponibilizadas pela empresa e sua página da internet destinada à relação com investidores.

O GRAF. 3.5 apresenta as vendas médias trimestrais totais de chapas grossas e laminados a quente da Usiminas (Ipatinga e Cubatão), no GRAF. 3.6 são apresentados os valores médios por trimestre para Ipatinga (adotando as proporções de capacidade nominal). O registro de maiores vendas físicas concentram-se no segundo trimestre (abril a junho) e para os demais trimestres os índices médios de vendas físicas são muito próximos.

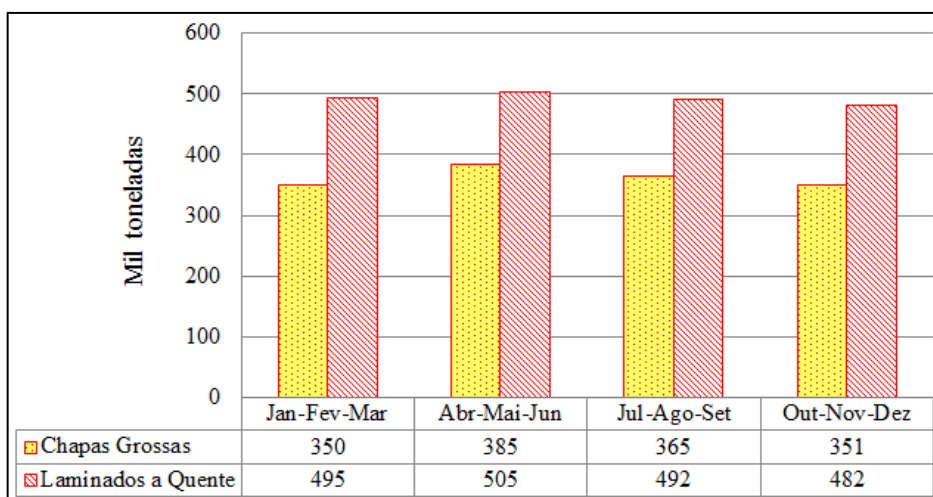


GRÁFICO 3.5 – Média de vendas trimestrais considerando usina de Ipatinga e Cubatão (2005-2015).

FONTE – Autor

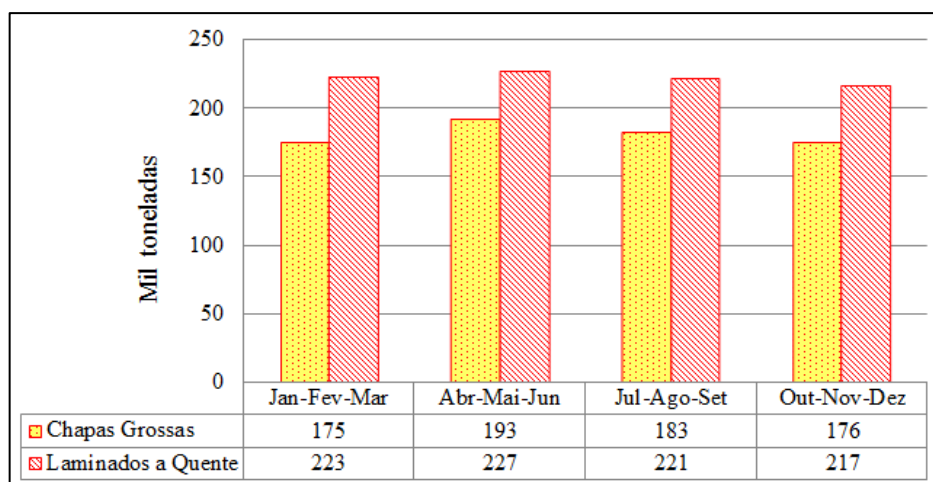


GRÁFICO 3.6 – Média de vendas trimestrais considerando usina de Ipatinga (2005-2015).

FONTE – Autor

Com os dados dos GRAF. 3.5 e 3.6 pode-se fazer a estimativa de água evaporada por trimestre entre os anos de 2005 e 2015. O GRAF. 3.7 apresenta as perdas por evaporação considerando a produção da Usiminas (Cubatão e Ipatinga), por sua vez o GRAF. 3.8 apresenta os dados referentes a evaporação de água no processo de laminação de chapas grossas e laminados a quente (tiras a quente) na usina de Ipatinga, adotando-se a proporção da capacidade nominal produtiva da usina de Ipatinga em relação capacidade total da empresa.

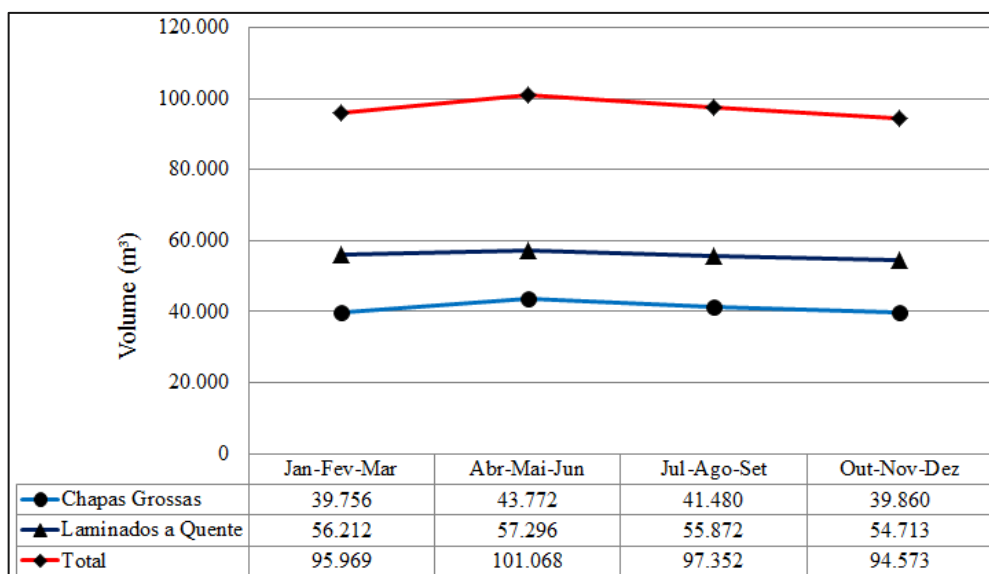


GRÁFICO 3.7 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade média trimestral de vendas de aço considerando Usinas de Ipatinga e Cubatão (2005-2015).

FONTE – Autor

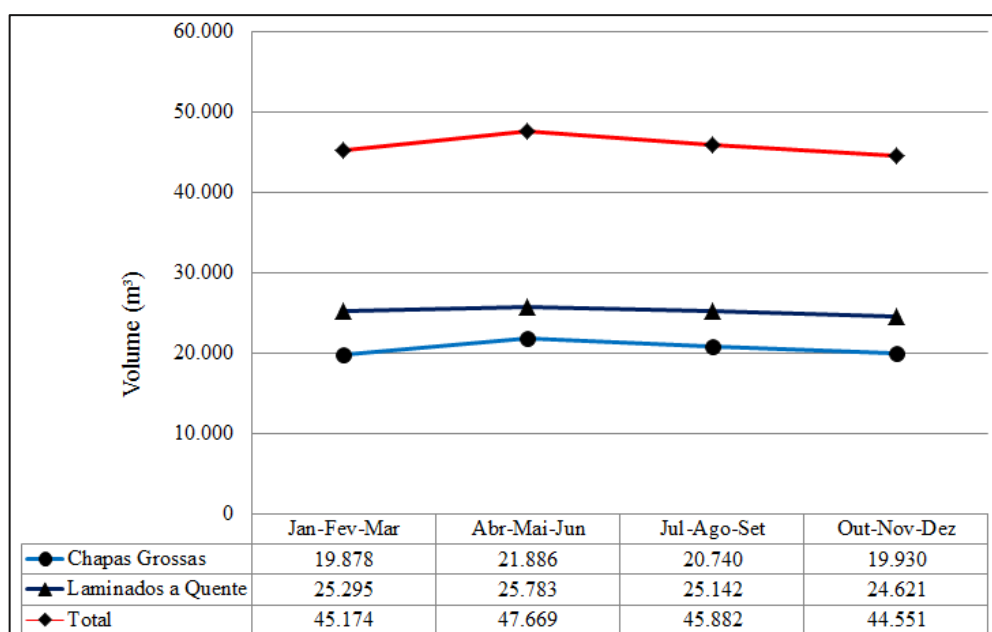


GRÁFICO 3.8 – Estimativa de volume de água evaporada considerando quantidade média trimestral de vendas de aço considerando a Usina de Ipatinga (2005-2015).

FONTE – Autor

3.2. Área de captação da água de chuva

Neste estudo foi considerada somente a captação da água de chuva coletada dos telhados dos galpões da área de laminação de tiras a quente e chapas grossas da usina de Ipatinga, conforme marcado na FIG. 3.2. Os galpões têm aproximadamente 950 metros de comprimento e 200 metros de largura, sendo 180.000 m² considerados como a área útil de telhado, valor estimado usando o software *Google Earth Pro*. Nestes galpões existem áreas de

acondicionamento de placas, fornos de reaquecimento de placas, laminadores, sistemas de resfriamento de chapas, tesouras, fornos de tratamento térmico, bobinadeiras, área de controle de qualidade, oficina de cilindros, oficinas de manutenção e área de estoque de produtos acabados.

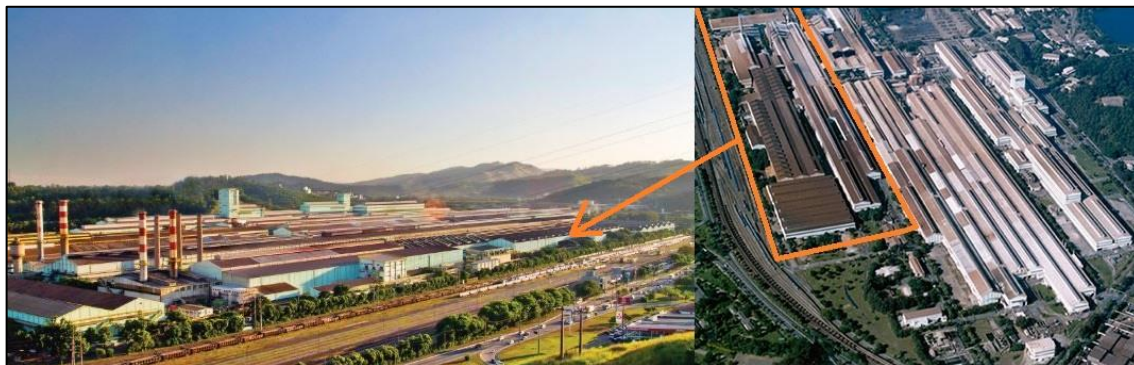


FIGURA 3.2 – Marcação dos telhados dos galpões da laminação de chapas grossas e tiras a quente a serem avaliados o potencial de captação de água de chuva.

FONTE – Adaptado de Usiminas (2015).¹⁴

Os telhados dos galpões das áreas de laminação são em telhas de aço e possuem altura superior às das árvores que existem a sua volta conforme ilustrado na FIG. 3.3, desta forma as folhas não caem sobre estes telhados, evitando assim entupimentos do sistema de coleta da água de chuva ou modificação da água de chuva coletada.



FIGURA 3.3 – Altura dos galpões da área de laminação a quente em relação a altura das árvores.

FONTE – Autor

3.3. Características pluviométricas na região estuda

A cidade de Ipatinga está situada na região do Vale do Aço, que por sua vez compõe o Vale do Rio Doce e segundo Cupolillo (2008) para esta região de Minas Gerais:

¹⁴ <http://www.usiminas.com/sala-de-imprensa/banco-de-imagens/> Acessado em 10/04/2015

O regime pluvial apresenta dois períodos bem definidos: chuvoso, de outubro a março, e seco, de abril a setembro. Os mil e duzentos milímetros totais acumulados são distribuídos no período de outubro a março, sendo concentrados em dezembro, janeiro, fevereiro e março.

Fonte: Cupolillo (2008, p. 32).

Drumond (2012) em sua dissertação estudou a poluição atmosférica em Ipatinga e informa que:

O clima do município de Ipatinga é caracterizado como tropical subquente e subseco, com diminuição de chuvas no inverno e temperatura média de 21,6°C, tendo invernos secos e amenos (raramente frios) e verões chuvosos com temperaturas moderadamente altas [...].

Fonte: Drumond (2012, p.74)

Para a caracterização das precipitações na região, foram usados os dados fornecidos pela estação meteorológica *A-511 Timóteo-MG – INMET* situada a 13 km em linha reta da laminação avaliada. O período dos dados é de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2016 sendo as médias mensais mostrada no GRAF. 3.9. Importante observar que nos meses de junho, julho e agosto a precipitação pluviométrica é muito baixa, sendo este um período de pouca ou nenhuma chuva no período.

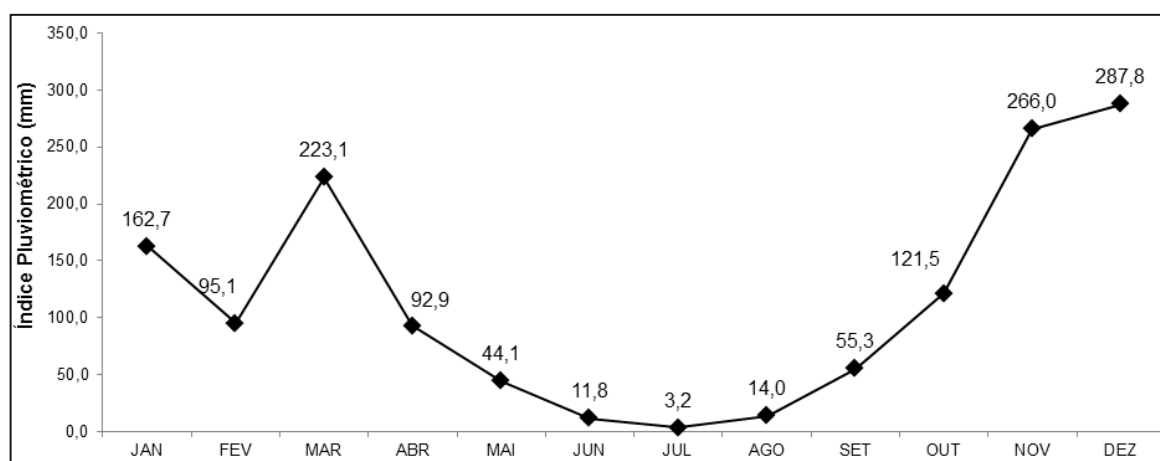


GRÁFICO 3.9 – Média pluviométrica mensal de fevereiro de 2006 a fevereiro de 2016 – Estação A511 – Timóteo-MG

FONTE – Autor

3.4. Dimensionamento da capacidade de armazenamento do reservatório

O modelo utilizado no dimensionamento foi o método de simulação descrito no anexo A.2 da norma NBR-15527 (ABNT, 2007) (Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos).

O reservatório para armazenar a água de chuva captada nos telhados dos galpões terá um volume muito superior aos de uma residência, tendo em vista que a área de coleta considerada neste estudo é de 180.000 m².

Usando o método de simulação será possível construir curvas que mostrem o percentual de atendimento à demanda do processo em função do volume do reservatório. Consequentemente pode-se estabelecer qual o volume adequado para a laminação a quente em função da área disponível para instalação do reservatório. Amorim e Pereira (2008) fizeram esta consideração quando realizaram a comparação dos diversos métodos de dimensionamento de reservatórios para água de chuva.

O Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Suposta é bastante interessante nos casos em que se deseja analisar detalhadamente a variação do volume do reservatório ao longo dos anos. Através de sua aplicação podem ser analisados vários volumes de reservatórios simultaneamente, com suas respectivas eficiências e com relativa simplicidade em relação a outros métodos. Assim, pode-se realizar a simulação dos volumes de reservatórios até que se chegue à eficiência desejada para o sistema, de acordo com os interesses do proprietário. A eficiência geralmente é adotada em função da destinação final que se dará à água armazenada e também de acordo com interesses econômicos.

Fonte: Amorim e Pereira (2008, p.65)

3.4.1 – Planilha para simulação do volume do reservatório de armazenamento de água de chuva

Para a realização das simulações foi criada a planilha conforme a FIG. 3.4, em que serão inseridas as precipitações médias, considerando os meses de janeiro a dezembro.

Na coluna ‘VAPEL’ (volume de água perdida por evaporação na laminação), é inserido o volume em metros cúbicos de água que se perde por evaporação. Este valor é obtido por meio

da produção anual dividida por 12 (meses), encontrando assim a produção mensal e multiplicando pela constante descrita por Johnson (2003) que determina o volume de água evaporada por tonelada de aço laminado (30 galões/t de aço).

Neste estudo não foram consideradas as perdas por evaporação e infiltração no reservatório, por não ser avaliado a geometria do reservatório (área superficial da lâmina d'água) e seus detalhes construtivos (impermeabilização). Estes dados devem ser posteriormente avaliados, em função da localização do reservatório e a definição de detalhes de sua construção.

Meses	Precipitação Média (mm)	VAPEL (m³)	Área de Captação (m²)	Volume Captável (m³)	VC Volume Captado (m³)	VC - VAPEL (m³)	% Demanda atendida
Jan							
Fev							
Mar							
Abr							
Mai							
Jun							
Jul							
Ago							
Set							
Out							
Nov							
Dez							
TOTAL							Média % atendida
Volume do reservatório proposto (m³)							

FIGURA 3.4 – Planilha para simulação de diversos volumes de reservatórios para diferentes cenários de produção de aço e características pluviométricas.

FONTE –Autor

Na coluna ‘Área de Captação’ é inserida a área dos telhados dos galpões da laminação em metros quadrados.

A coluna ‘Volume Captável’, em metros cúbicos, corresponde ao volume mensal de chuva que pode ser coletado pelo sistema. Sendo obtido pela multiplicação da ‘Precipitação Média’ com a ‘Área de Captação’ e com o coeficiente de escoamento superficial ou *runoff* (C). As telhas de cobertura dos galpões são metálicas, logo o coeficiente adotado foi o proposto por Khan (2001 *apud* Anecchini 2005, p. 50), no valor de 0,85 para todas as simulações.

A coluna ‘VC’ ou ‘Volume Captado’, em metros cúbicos, indica o volume captado de chuva mensal. Este valor é calculado utilizando-se a função ‘SE’ do *software Microsoft Excel*. Fixado o ‘Volume do reservatório proposto’, a função irá verificar se o ‘Volume Captável’ de chuva no mês pelo sistema é maior ou menor que o volume de reservação proposto. Caso o ‘Volume Captável’ seja menor, este será o resultado, caso contrário, a função retorna como resultado o ‘Volume do reservatório proposto’ fixado previamente. Desta forma o volume de água de chuva que exceder o volume do reservatório, não é considerado, ou seja, é descartado.

A coluna ‘VC – VAPEL’, em metros cúbicos, indica a diferença (subtração) entre os valores do ‘Volume Captado’ de chuva e o ‘VAPEL’ (demanda). Os resultados positivos desta subtração indicam que há excesso de chuva, e os resultados negativos indicam que há falta de chuva, ou seja, o volume demandado é superior ao volume de chuva armazenado. Os dados dessa coluna também auxiliam a verificar a eficiência do sistema em cada mês, indicando o quanto de água falta para suprir a demanda do sistema.

A coluna ‘% Demanda atendida’, indica o percentual de demanda atendida com água de chuva. Corresponde à divisão da ‘Volume Captado’ pela coluna ‘VAPEL’, multiplicando-se o resultado por 100.

A célula ‘Média % atendida’, indica o percentual de atendimento anual a necessidade de reposição de água na laminação a quente, para repor as perdas por evaporação no processo de laminação.

Para simular os diferentes volumes do reservatório, insere-se o valor pretendido em ‘Volume do reservatório proposto’, em metros cúbicos. Os volumes verificados foram de 1.000 m³ a 46.000 m³, pois em geral com 43.000 m³ o percentual de atendimento a demanda se estabilizaram, como será visto nas análises dos resultados.

3.4.2 – Determinação de cenários para execução das simulações de diferentes volumes de reservatórios de chuva

Para o dimensionamento do reservatório (determinação do volume de armazenamento), é importante considerar diferentes cenários, que envolvem o consumo de água para repor as perdas causadas pela evaporação durante o processo de laminação e a real disponibilidade de

água de chuva a ser captada. Serão analisadas as seguintes relações, considerando cenários favoráveis e pessimistas, conforme mostrado na TAB. 3.2.

TABELA 3.2
Cenários usados para simulação do volume do reservatório para água de chuva

Cenários	Chuva Considerada	Estimativa de Produção de Aço	Produção t/ano
1	Média pluviométrica mensal 2006 a 2016	Capacidade nominal de produção de chapas grossas e laminados a quente na Usina de Ipatinga-MG	4.600.000
2	Valores pluviométricos do ano de maior seca entre 2006 a 2016 (ano de 2012)	Capacidade nominal de produção de chapas grossas e laminados a quente na Usina de Ipatinga-MG	4.600.000
3	Média pluviométrica mensal 2006 a 2016	Maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente totais da Usiminas (período de 2005 a 2015)	4.211.000
4	Valores pluviométricos do ano de maior seca entre 2006 a 2016 (ano de 2012)	Maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente totais da Usiminas (período de 2005 a 2015)	4.211.000
5	Média pluviométrica mensal 2006 a 2016	O maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente referentes proporcionalmente a usina de Ipatinga-MG (período de 2005 a 2015)	1.991.000
6	Valores pluviométricos do ano de maior seca entre 2006 a 2016 (ano de 2012)	O maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente referentes proporcionalmente a usina de Ipatinga-MG (período de 2005 a 2015)	1.991.000

Fonte: Autor

Cenário 1 - Perda por evaporação considerando capacidade nominal de produção de chapas grossas e laminados a quente com média pluviométrica da região do período entre 2006 a 2016.

Cenário 2 - Perda por evaporação considerando capacidade nominal de produção de chapas grossas e laminados a quente com valores pluviométricos com o ano de maior seca da região entre 2006 e 2016.

Cenário 3 - Perda por evaporação considerando o maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente totais da Usiminas com a média pluviométrica da região do período entre 2006 a 2016.

Cenário 4 - Perda por evaporação considerando o maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente totais da Usiminas (período de 2005 a 2015) com valores pluviométricos com o ano de maior seca da região entre 2006 e 2016.

Cenário 5 - Perda por evaporação considerando o maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente referentes proporcionalmente a usina de Ipatinga (período de 2006 a 2016) com a média pluviométrica da região.

Cenário 6 - Perda por evaporação considerando o maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente referentes proporcionalmente a usina de Ipatinga (período de 2005 a 2015) com valores pluviométricos com o ano de maior seca da região entre 2006 e 2016.

3.5. Qualidade da água precipitada

Como visto anteriormente, as exigências de qualidade para uso de água no processo de laminação não são tão rigorosos, sendo o principal parâmetro o controle de pH, para evitar danos aos equipamentos (corrosão). Porém neste trabalho foi realizada a coleta de água de chuva para comparar com as exigências da norma NBR-15527 (ABNT, 2007), que trata do uso da água de chuva para fins não potáveis.

Uma característica importante dos galpões da laminação a quente é sua altura relativamente superior a das árvores em volta, conforme ilustrado na FIG. 3.5. Desta forma evita-se a queda de folhas sobre o telhado, que podem interferir na qualidade da água de chuva ou até mesmo exigir maior controle de manutenção no sistema de coleta de água de chuva.



FIGURA 3.5 – Altura dos galpões da área de laminação a quente em relação a altura das árvores.
FONTE – Autor

A coleta da água de chuva foi realizada em uma residência com cobertura de telhas metálicas com 100 m² de área coberta, ilustrada na FIG. 3.6, localizada a 2 km da laminação em linha reta.



FIGURA 3.6 – Telhado para coleta da água de chuva para avaliação de sua composição.
FONTE – Autor

No dia 19 de julho de 2015, entre 22:50 e 23:30 horas, houve precipitação de 1,4 mm, o que proporcionou a realização de duas coletas: a primeira, com 0,5 mm e a segunda, com 1 mm de precipitação. As amostras foram armazenadas em recipientes apropriados e levadas para análise no dia seguinte, às 09:00 horas, em um laboratório de análise de águas reconhecido pela Rede Metrológica de Minas Gerais e com certificado ISO/IEC 17025:2005.

Importante relatar que esta precipitação ocorreu após 32 dias consecutivos de seca na região estudada, o que propicia maior acúmulo de impurezas na superfície do telhado e uma atmosfera mais poluída. Sendo esperado assim uma água de chuva com maiores impurezas e valores de *pH* mais influenciado pela poluição do ar.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Volume captável de água de chuva e a demanda para reposição em função da produção de chapas grossas e laminados a quente

Os cenários propostos para este estudo consideraram os seguintes valores de produção para estimar o volume de água evaporada durante o processo:

- Cenários 1 e 2 - a produção nominal de chapas grossas e laminados a quente da usina de Ipatinga no valor de 4.600.000 toneladas por ano.
- Cenários 3 e 4 - o maior índice de vendas físicas totais de chapas grossas e laminados a quente entre os anos de 2005 a 2015, sendo este índice no valor de 4.211.000 toneladas no ano de 2007 (usina de Ipatinga-MG e Cubatão-SP).
- Cenários 5 e 6 – a proporção estimada do maior índice de vendas físicas de chapas grossas e laminados a quente referentes a usina de Ipatinga entre os anos de 2005 a 2015, no valor de 1.991.000 toneladas no ano de 2007.

Para a estimativa de captação de água de chuva, foram utilizadas as médias pluviométricas mensais entre os anos de 2006 a 2016 e os índices pluviométricos do ano de 2012, que apresentou os menores valores de precipitação entre os anos de 2006 a 2016. Assim tem-se a possibilidade verificar se a oferta de chuva atende a demanda de água evaporada nos processos de laminação de chapas grossas e laminados a quente.

O GRAF. 4.1 apresenta o volume de água de chuva captável considerando a média mensal pluviométrica (2006 a 2016) durante os meses de janeiro a dezembro e também o período de maior seca (ano de 2012). Com uma produção nominal de 4.600.000 de toneladas por ano, tem-se uma evaporação média mensal de 43.557 m³ de água. Por sua vez, com uma produção anual de 4.211.000 de toneladas por ano, o volume de água evaporada é de 39.850 m³ mensalmente. Por fim, com uma produção de 1.991.000 de toneladas por ano, perde-se 18.840m³ de água por mês devido à evaporação. Como a variação trimestral de produção de aço apresenta pouca variação, optou-se por considerar a produção mensal como 1/12 da produção anual.

Quando adotada a média mensal pluviométrica do período analisado, nos meses de outubro a março tem-se a maior possibilidade de captação de água de chuva e atendimento ao processo, principalmente com uma produção chapas grossas e laminados a quente na ordem de 1.991.000 toneladas por ano, Porém nos meses de abril a setembro a captação fica muito abaixo do necessário, sendo que nos meses de junho e julho é próxima de zero.

Usando os índices pluviométricos do ano de 2012, apenas os meses de dezembro e janeiro seriam capazes de suprir a demanda de água evaporada, para uma produção anual de 1.991.000 tonelada de aço produzido. Nos meses de junho e julho a captação de água de chuva foi zero.

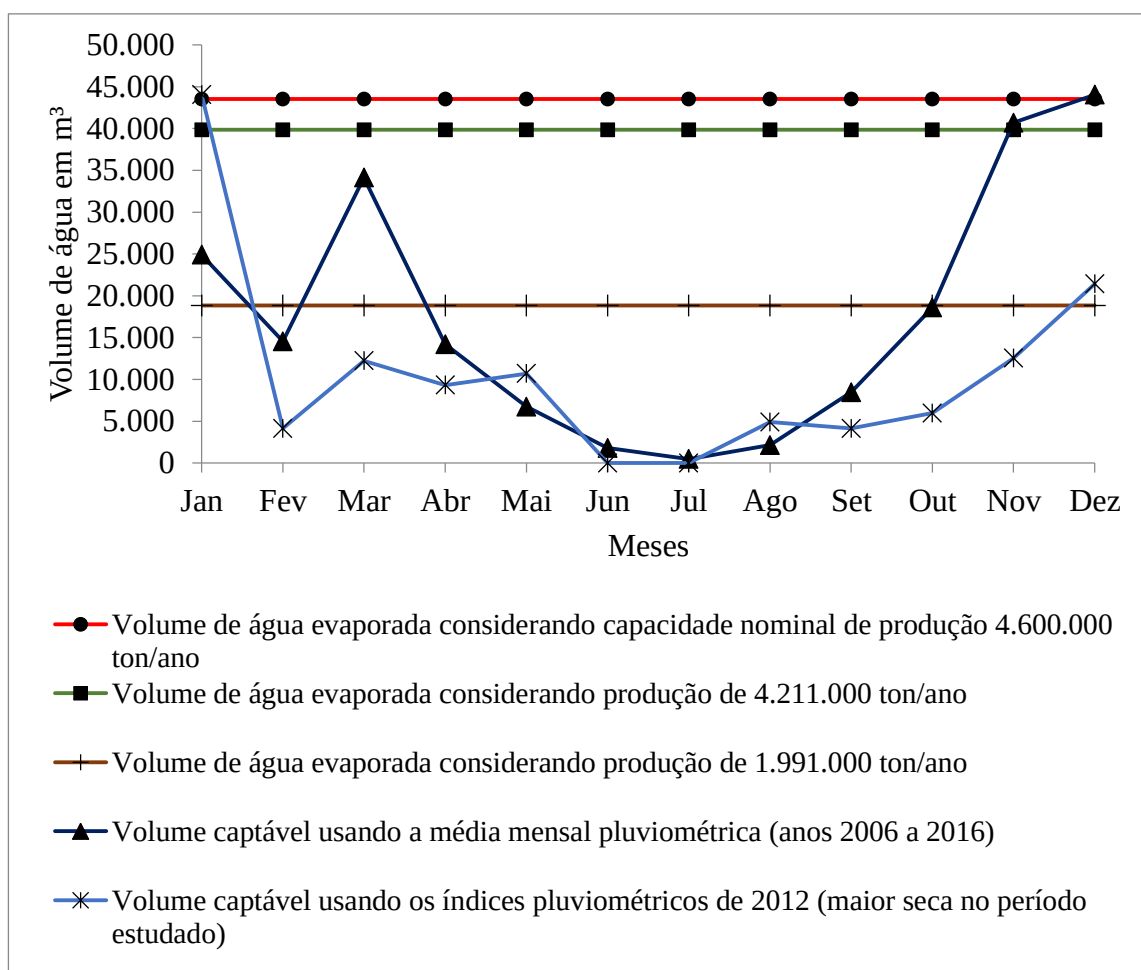


GRÁFICO 4.1 – Quantidade de água evaporada no processo de laminação em função da produção de aço e o volume de água de chuva captável considerando média pluviométrica (2006 a 2016) e o ano de maior seca no período.

FONTE – Autor

4.2. Dimensionamento do reservatório para água de chuva

Para facilitar o entendimento para a escolha do melhor tamanho de reservatório, foram agrupados os Cenários em 1 e 2, 3 e 4, 5 e 6, permitindo assim a comparação entre a produção e percentual de atendimento da água de chuva anual armazenada para repor o volume perdido por evaporação durante o processo.

O tamanho do reservatório influencia diretamente no percentual de atendimento ao sistema, ou seja, o quanto é armazenado de água de chuva e quanto de água é evaporada no processo de laminação.

Foram criados gráficos que possibilitam determinar o volume do reservatório em função do percentual a ser atendido. Sendo que o tamanho do reservatório deverá considerar a área disponível para sua construção e também o seu custo. Logo tais gráficos podem contribuir para a tomada de decisão do volume do reservatório a ser construído.

Usando o *software Google Earth Pro*, fez-se a identificação de possíveis áreas para instalação dos reservatórios para água de chuva, conforme marcado na FIG. 4.1. Estas áreas marcadas, somadas têm aproximadamente 12.900 m². Porém será considerado como sendo área útil (ocupada pela lâmina d'água) para os reservatórios o valor de 10.000 m², o que permite um volume total de 30.000m³, considerando uma profundidade média dos reservatórios em 3 metros. Estas áreas foram pré-selecionadas por não possuírem prédios e equipamentos, além de estarem próximas aos galpões das laminações de chapas grossas e tiras a quente, facilitando assim a instalação do sistema de tubulações e bombeamento.



FIGURA 4.1 – Marcações de áreas para instalação de reservatórios de água de chuva.
FONTE – Google Earth (2016).

Os resultados das simulações considerando o volume de 30.000 m³ de armazenamento de água de chuva encontram-se resumidos na TAB. 4.1.

TABELA 4.1

Resumo do comportamento de um reservatório com 30.000m³ para atender a laminação estudada

Cenários	Produção ton/ano	Perda anual de água por evaporação (m ³)	Volume anual captável (m ³)	Previsão anual de captação (m ³)	% de atendimento anual
1	4.600.000	522.376	210.760	181.895	34,8%
2	4.600.000	522.376	129.438	115.374	22,1%
3	4.211.000	478.200	210.760	181.895	38,0%
4	4.211.000	478.200	129.438	115.374	24,1%
5	1.991.000	226.092	210.760	181.895	80,5%
6	1.991.000	226.092	129.438	115.374	51,0%

Fonte: Autor

Nos próximos itens são detalhados os cenários e possibilidade da captação da água de chuva para repor as perdas por evaporação no processo de laminação de chapas grossas e laminados a quente.

4.2.1. Volume do reservatório para água de chuva considerando Cenários 1 e 2

Analisando os Cenários 1 e 2, ou seja, com a média mensal pluviométrica da região no período entre os anos de 2006 a 2016 e os índices pluviométricos do ano de maior seca (2012), foram feitas simulações do atendimento da demanda anual para repor a água evaporada para a produção na laminação de chapas grossas e laminados a quente, considerando a capacidade nominal de produção da usina de Ipatinga (4.600.000 de ton/ano).

No GRAF. 4.2 são apresentadas curvas que permitem visualizar o percentual de atendimento a demanda de consumo água pela perda por evaporação no processo para diversos volumes de reservatório para armazenamento da água de chuva. Uma curva tem como referências as médias pluviométricas mensais entre os anos 2006 a 2016, outra curva considera o ano de 2012, o de maior seca neste período. A média entre os anos 2006 a 2016, a curva se estabiliza com um volume máximo de 44.000 m³, atendendo 40,3% da demanda anual, ou seja, o máximo que pode ser atendido, considerando a área de coleta (telhado) a produção de chapas grossas, laminados a quente e a disponibilidade média de chuva no período avaliado. Pelos índices de maior seca, o volume máximo se estabiliza em 44.000m³ e tem o atendimento máximo de 24,8%.

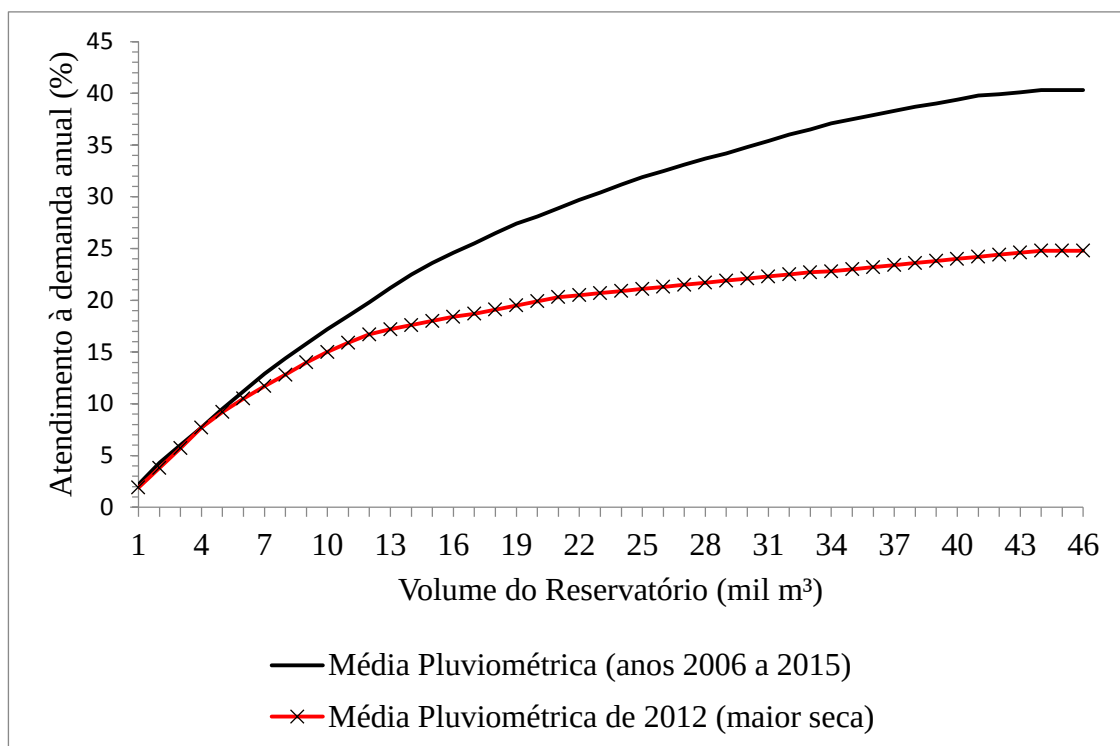


GRÁFICO 4.2 – Volume do reservatório e o percentual de atendimento a demanda anual considerando cenários 1 e 2

FONTE – Autor.

Fixando-se o volume do reservatório em 30.000 m³, tem-se o seguinte comportamento para a captação e armazenamento da água de chuva, que pode ser verificado nas tabelas TAB. 4.2 e 4.3.

Na TAB. 4.2 nota-se o valor de precipitação mensal, o VAPEL foi de 43.531 m³, adotado para todos os meses, a área de captação foi de 180.000 m². O volume captável de água de chuva apresenta potencial de captação no mês. O volume captado está limitado ao volume do reservatório, que no caso é de 30.000 m³. A coluna (VC-VAPEL) apresenta a diferença entre o volume captado e o VAPEL, todos os valores estão negativos, indicando assim a necessidade de complementação da demanda usando-se outra fonte do insumo.

É possível atingir a capacidade máxima do reservatório nos meses de março, novembro e dezembro, sendo que em janeiro o valor captável se aproxima do volume do reservatório. A média de atendimento a demanda anual é de 34,8%. Os meses com pior captação são junho, julho e agosto, com atendimento a demanda abaixo de 5%.

TABELA 4.2
Comportamento de um reservatório com 30.000 m³ para o Cenário 1

Meses	Precipitação Média (mm)	VAPEL (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume Captável (m ³)	VC Volume Captado (m ³)	VC - VAPEL (m ³)	% Demanda atendida
Jan.	163	43.531	180.000	24.897	24.897	-18.634	57,2%
Fev.	95	43.531	180.000	14.549	14.549	-28.982	33,4%
Mar.	223	43.531	180.000	34.134	30.000	-13.531	68,9%
Abr.	93	43.531	180.000	14.214	14.214	-29.318	32,7%
Maio	44	43.531	180.000	6.747	6.747	-36.784	15,5%
Jun.	12	43.531	180.000	1.805	1.805	-41.726	4,1%
Jul.	3	43.531	180.000	490	490	-43.042	1,1%
Ago.	14	43.531	180.000	2.142	2.142	-41.389	4,9%
Set.	55	43.531	180.000	8.461	8.461	-35.070	19,4%
Out.	122	43.531	180.000	18.590	18.590	-24.942	42,7%
Nov.	266	43.531	180.000	40.698	30.000	-13.531	68,9%
Dez.	288	43.531	180.000	44.033	30.000	-13.531	68,9%
TOTAL	1.378	522.376	-	210.760	181.895	Média % atendida	34,8%

Fonte: Autor.

Na TAB. 4.3 nota-se o valor de precipitação mensal, o VAPEL e a área de captação são iguais ao da TAB. 4.2. É possível atingir a capacidade máxima do reservatório no mês de janeiro, sendo que em dezembro o valor captável se aproxima do volume do reservatório. A média de atendimento a demanda anual é de 22,1%. Os meses com pior captação são junho e julho, com atendimento a demanda igual a zero por cento. Os valores de ‘VC-VAPEL’ estão todos negativos, indicando que apenas a água de chuva não é suficiente para atender a demanda.

TABELA 4.3
Comportamento de um reservatório com 30.000 m³ para o Cenário 2

Meses	Precipitação Média (mm)	VAPEL (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume Captável (m ³)	VC Volume Captado (m ³)	VC - VAPEL (m ³)	% Demanda atendida
Jan.	288	43.531	180.000	44.064	30.000	-13.531	68,9%
Fev.	27	43.531	180.000	4.131	4.131	-39.400	9,5%
Mar.	80	43.531	180.000	12.240	12.240	-31.291	28,1%
Abr.	61	43.531	180.000	9.333	9.333	-34.198	21,4%
Mai	70	43.531	180.000	10.710	10.710	-32.821	24,6%
Jun.	0	43.531	180.000	0	0	-43.531	0,0%
Jul.	0	43.531	180.000	0	0	-43.531	0,0%
Ago.	32	43.531	180.000	4.896	4.896	-38.635	11,2%
Set.	27	43.531	180.000	4.131	4.131	-39.400	9,5%
Out.	39	43.531	180.000	5.967	5.967	-37.564	13,7%
Nov.	82	43.531	180.000	12.546	12.546	-30.985	28,8%
Dez.	140	43.531	180.000	21.420	21.420	-22.111	49,2%
TOTAL	846	522.376	-	129.438	115.374	Média % atendida	22,1%

Fonte: Autor.

4.2.2. Dimensionamento do reservatório para água de chuva considerando Cenários 3 e 4

Para os Cenários 3 e 4, ou seja, com a média mensal pluviométrica da região no período entre os anos de 2006 a 2016 e a média mensal do ano de maior seca (2012), foram feitas simulações do atendimento da demanda anual para repor a água evaporada para a produção na laminação de chapas grossas e laminados a quente, considerando as vendas físicas totais da Usiminas (4.211.000 t/ano).

Fixando-se o volume do reservatório em 30.000 m³, tem-se o seguinte comportamento para a captação e armazenamento da água de chuva, que pode ser verificado nas tabelas TAB. 4.4 e 4.5.

O GRAF. 4.3 apresenta curvas permitem visualizar o percentual de atendimento a demanda de consumo água pela perda por evaporação no processo para diversos volumes de reservatório para armazenamento da água de chuva. Assim como para os Cenários 1 e 2, uma curva tem como referências as médias pluviométricas mensais entre os anos 2006 a 2016, outra curva considera o ano de 2012, o de maior seca neste período. No caso para a média entre os anos 2006 a 2016, a curva se estabiliza com um volume máximo de 44.000 m³, atendendo 44,1% da demanda anual, ou seja, o máximo que pode ser atendido, considerando a área de coleta (telhado) a produção de chapas grossas, laminados a quente e a disponibilidade média de chuva no período avaliado. Pelos índices de maior seca, o volume máximo se estabiliza em 44.000 m³ e tem o atendimento máximo de 27,1%.

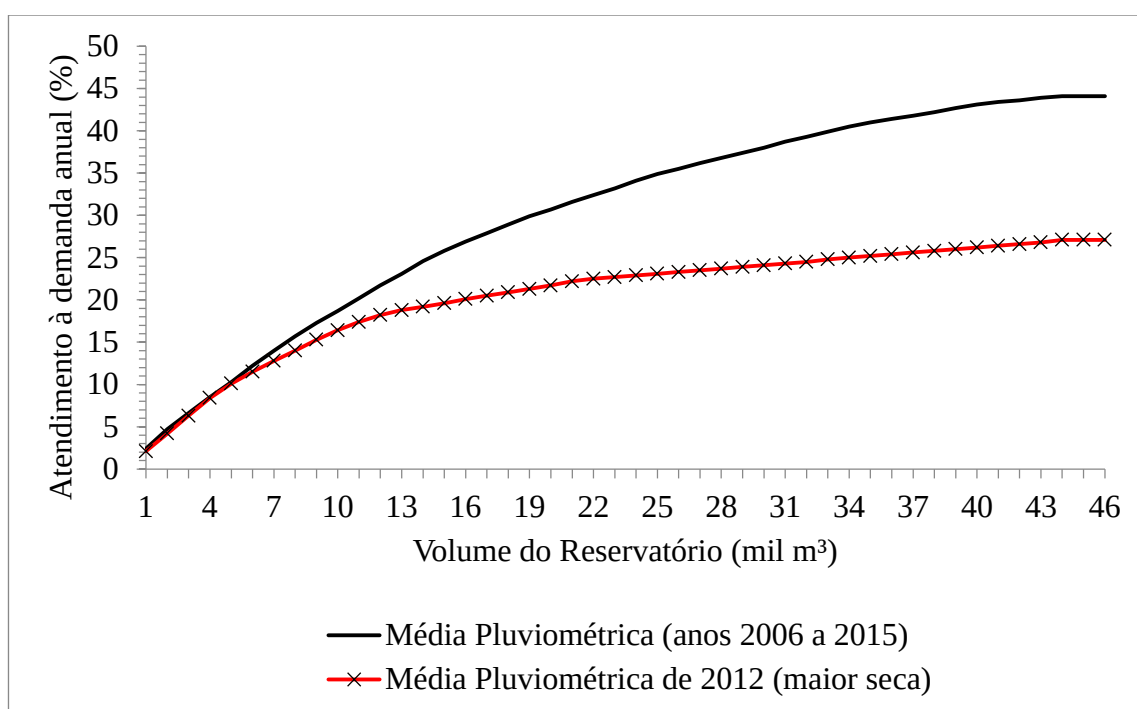


GRÁFICO 4.3 – Volume do reservatório e o percentual de atendimento a demanda anual considerando cenários 3 e 4

FONTE – Autor.

Na TAB. 4.4 nota-se o valor de precipitação mensal, sendo que o VAPEL foi de 39.850 m³ adotado para todos os meses e a área de captação foi de 180.000 m². O volume captável de água de chuva apresenta potencial de captação no mês. O volume captado está limitado ao volume do reservatório, que no caso é de 30.000 m³. A coluna (VC-VAPEL) apresenta a diferença entre o volume captado e o VAPEL, para todos os meses os valores estão negativos, indicando a necessidade de uso de fonte complementar de água.

É possível atingir a capacidade máxima do reservatório nos meses de março, novembro e dezembro, sendo que em janeiro o valor captável se aproxima do volume do reservatório. A média de atendimento a demanda anual é de 38%. Os meses com pior captação são junho, julho e agosto, com atendimento a demanda abaixo de 6%.

TABELA 4.4
Comportamento de um reservatório com 30.000 m³ para o Cenário 3

Meses	Precipitação Média (mm)	VAPEL (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume Captável (m ³)	VC Volume Captado (m ³)	VC - VAPEL (m ³)	% Demanda atendida
Jan.	163	39.850	180.000	24.897	24.897	-14.953	62,5%
Fev.	95	39.850	180.000	14.549	14.549	-25.301	36,5%
Mar.	223	39.850	180.000	34.134	30.000	-9.850	75,3%
Abr.	93	39.850	180.000	14.214	14.214	-25.636	35,7%
Mai	44	39.850	180.000	6.747	6.747	-33.103	16,9%
Jun.	12	39.850	180.000	1.805	1.805	-38.045	4,5%
Jul.	3	39.850	180.000	490	490	-39.360	1,2%
Ago.	14	39.850	180.000	2.142	2.142	-37.708	5,4%
Set.	55	39.850	180.000	8.461	8.461	-31.389	21,2%
Out.	122	39.850	180.000	18.590	18.590	-21.261	46,6%
Nov.	266	39.850	180.000	40.698	30.000	-9.850	75,3%
Dez.	288	39.850	180.000	44.033	30.000	-9.850	75,3%
TOTAL	1.378	478.200	-	210.760	181.895	Média % atendida	38,0%

Fonte: Autor.

Na TAB. 4.5 nota-se o valor de precipitação mensal, o VAPEL e a área de captação são iguais ao da TAB. 4.4. É possível atingir a capacidade máxima do reservatório no mês de janeiro, sendo que em dezembro o valor captável se aproxima do volume do reservatório. A média de atendimento a demanda anual é de 24,1%. Os meses com pior captação são junho e julho, com atendimento a demanda igual a zero por cento.

TABELA 4.5
Comportamento de um reservatório com 30.000 m³ para o Cenário 4

Meses	Precipitação Média (mm)	VAPEL (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume Captável (m ³)	VC Volume Captado (m ³)	VC - VAPEL (m ³)	% Demanda atendida
Jan.	288	39.850	180.000	44.064	30.000	-9.850	75,3%
Fev.	27	39.850	180.000	4.131	4.131	-35.719	10,4%
Mar.	80	39.850	180.000	12.240	12.240	-27.610	30,7%
Abr.	61	39.850	180.000	9.333	9.333	-30.517	23,4%
Maio	70	39.850	180.000	10.710	10.710	-29.140	26,9%
Jun.	0	39.850	180.000	0	0	-39.850	0,0%
Jul.	0	39.850	180.000	0	0	-39.850	0,0%
Ago.	32	39.850	180.000	4.896	4.896	-34.954	12,3%
Set.	27	39.850	180.000	4.131	4.131	-35.719	10,4%
Out.	39	39.850	180.000	5.967	5.967	-33.883	15,0%
Nov.	82	39.850	180.000	12.546	12.546	-27.304	31,5%
Dez.	140	39.850	180.000	21.420	21.420	-18.430	53,8%
TOTAL	846	478.200	-	129.438	115.374	Média % atendida	24,1%

Fonte: Autor.

4.2.3. Dimensionamento do reservatório para água de chuva considerando Cenários 5 e 6

Analisando os Cenários 5 e 6, ou seja, com a média mensal pluviométrica da região no período entre os anos de 2006 a 2016 e a média mensal do ano de maior seca (2012), foram feitas simulações do atendimento da demanda anual para repor a água evaporada para a produção na laminação de chapas grossas e laminados a quente, considerando a capacidade nominal de produção da usina de Ipatinga (1.991.000 t/ano).

No GRAF. 4.4 as curvas permitem visualizar o percentual de atendimento a demanda de consumo água pela perda por evaporação no processo para diversos volumes de reservatório para armazenamento da água de chuva. Uma curva tem como referências as médias pluviométricas mensais entre os anos 2006 a 2016, outra curva considera o ano de 2012, o de maior seca neste período. A média entre os anos 2006 a 2016, a curva se estabiliza com um volume máximo de 44.000 m³, atendendo 93,2% da demanda anual, ou seja, o máximo que pode ser atendido, considerando a área de coleta (telhado) a produção de chapas grossas, laminados a quente e a disponibilidade média de chuva no período avaliado. Pelos índices de maior seca, o volume máximo se estabiliza em 44.000m³ e tem o atendimento máximo de 57,3%.

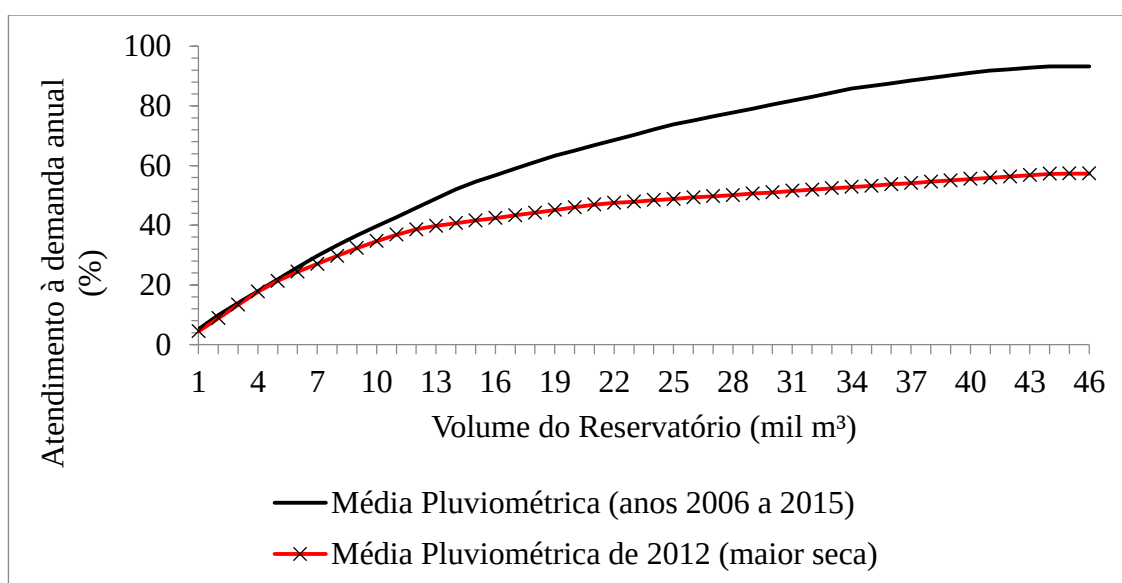


GRÁFICO 4.4 – Volume do reservatório e o percentual de atendimento a demanda anual considerando cenários 5 e 6

FONTE – Autor.

Adotando-se o volume do reservatório em 30.000 m³, tem-se o seguinte comportamento para a captação e armazenamento da água de chuva, que pode ser verificado nas tabelas TAB. 4.6 e 4.7.

Na tabela TAB. 4.6 nota-se o valor de precipitação mensal, o VAPEL foi de 18.841 m³ adotado para todos os meses, a área de captação foi de 180.000 m². O volume captável de água de chuva apresenta potencial de captação no mês. O volume captado está limitado ao volume do reservatório, que no caso é de 30.000 m³. A coluna (VC-VAPEL) apresenta a diferença entre o volume captado e o VAPEL, sendo que os valores positivos nos meses de janeiro, março, novembro e dezembro indicam o atendimento pleno da demanda.

É possível atingir a capacidade máxima do reservatório nos meses de março, novembro e dezembro, sendo que em janeiro o valor captável se aproxima do volume do reservatório. A média de atendimento a demanda anual é de 80,5%. Os meses com pior captação são junho, julho e agosto, com atendimento a demanda abaixo de 12,0%.

TABELA 4.6
Comportamento de um reservatório com 30.000 m³ para o Cenário 5

Meses	Precipitação Média (mm)	VAPEL (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume Captável (m ³)	VC Volume Captado (m ³)	VC - VAPEL (m ³)	% Demanda atendida
Jan.	163	18.841	180.000	24.897	24.897	6.056	132,1%
Fev.	95	18.841	180.000	14.549	14.549	-4.292	77,2%
Mar.	223	18.841	180.000	34.134	30.000	11.159	159,2%
Abr.	93	18.841	180.000	14.214	14.214	-4.627	75,4%
Mai	44	18.841	180.000	6.747	6.747	-12.094	35,8%
Jun.	12	18.841	180.000	1.805	1.805	-17.036	9,6%
Jul.	3	18.841	180.000	490	490	-18.351	2,6%
Ago.	14	18.841	180.000	2.142	2.142	-16.699	11,4%
Set.	55	18.841	180.000	8.461	8.461	-10.380	44,9%
Out.	122	18.841	180.000	18.590	18.590	-252	98,7%
Nov.	266	18.841	180.000	40.698	30.000	11.159	159,2%
Dez.	288	18.841	180.000	44.033	30.000	11.159	159,2%
TOTAL	1.378	226.092	-	210.760	181.895	Média % atendida	80,5%

Fonte: Autor.

Na TAB. 4.7 nota-se o valor de precipitação mensal, o VAPEL e a área de captação são iguais ao da TAB. 4.6. É possível atingir a capacidade máxima do reservatório no mês de janeiro, sendo que em dezembro o valor captável se aproxima do volume do reservatório. A média de atendimento a demanda anual é de 51,0%. Os meses com pior captação são junho e julho, com atendimento a demanda igual à zero por cento. Nos meses de janeiro e dezembro os valores de ‘VC-VAPEL’ são positivos, indicando atendimento pleno a demanda.

TABELA 4.7
Comportamento de um reservatório com 30.000 m³ para o Cenário 6

Meses	Precipitação Média (mm)	VAPEL (m ³)	Área de Captação (m ²)	Volume Captável (m ³)	VC Volume Captado (m ³)	VC - VAPEL (m ³)	% Demanda atendida
Jan.	288	18.841	180.000	44.064	30.000	11.159	159,2%
Fev.	27	18.841	180.000	4.131	4.131	-14.710	21,9%
Mar.	80	18.841	180.000	12.240	12.240	-6.601	65,0%
Abr.	61	18.841	180.000	9.333	9.333	-9.508	49,5%
Mai	70	18.841	180.000	10.710	10.710	-8.131	56,8%
Jun.	0	18.841	180.000	0	0	-18.841	0,0%
Jul.	0	18.841	180.000	0	0	-18.841	0,0%
Ago.	32	18.841	180.000	4.896	4.896	-13.945	26,0%
Set.	27	18.841	180.000	4.131	4.131	-14.710	21,9%
Out.	39	18.841	180.000	5.967	5.967	-12.874	31,7%
Nov.	82	18.841	180.000	12.546	12.546	-6.295	66,6%
Dez.	140	18.841	180.000	21.420	21.420	2.579	113,7%
TOTAL	846	226.092	-	129.438	115.374	Média % atendida	51,0%

Fonte: Autor.

4.3. Qualidade da água de chuva precipitada

A análise laboratorial de qualidade da água coletada indica que há presença de coliformes nas duas amostras estudadas. Como a finalidade deste insumo é para utilização industrial no processo de laminação a quente, tal parâmetro se torna irrelevante, não sendo avaliado conforme Bhattacharyya (1979) em estudo feito para a *United States Environmental Protection Agency*. Na amostra de 0,5mm, a cor aparente e os sólidos suspensos totais também se apresentaram superiores ao das normas de referência. Tal fato pode ser explicado pela ausência de precipitações nos 32 dias anteriores à coleta das amostras, resultando no

acúmulo de poeiras, fezes de aves, dentre outros. O parâmetro *pH* e dureza, ficaram dentro dos valores referências, conforme mostra a TAB. 4.8.

TABELA 4.8

Comparação dos resultados da qualidade da água precipitada e os valores de referência

Parâmetro	Método ²	Unidade	Amostra 0,5mm de chuva	Amostra 1,0 mm de chuva	Incerteza Expandida (U) ³	Valores de Referências	
						ABNT NBR-15527	Trovati (2004)
Coliformes Totais ¹	SMEWW 9223 B	P/A ⁴ em 100mL	Presença	Presença	--	Ausência	--
Escherichia coli ¹	SMEWW 9223 B	P/A ⁴ em 100mL	Presença	Ausência	--	Ausência	--
Cloro Residual Livre ¹	SMEWW 4500-Cl ₂ D	mg/L	0,18	< 0,03	± 0,02	0,5 a 3,0	--
Cor Aparente ¹	SMEWW 2120 B	uH	50,0	10,0	--	<15,0	--
Dureza ¹	SMEWW 2340 C	mgCaCO ₃ /L	59,10	14,20	± 1,04	--	< 400
pH ¹	SMEWW 4500-H ⁺ B	--	7,44	7,45	± 0,08	6,0 a 8,0	6,5 a 8,5
Sólidos Dissolvidos Totais ¹	SMEWW 2540 C	mg/L	80,0	35,0	± 4,7	--	< 2800

1 - Parâmetros com Competência Reconhecida pela Rede Metrológica de Minas Gerais; 2 - *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* 22. ed., 2012; 3 - A incerteza expandida relatada é baseada em uma incerteza padronizada combinada, multiplicada por um fator de abrangência k=2, para um nível de confiança de aproximadamente 95%; 4 – P/A = Presença/ Ausência.

Fonte: Autor.

Por estes padrões de qualidade da água, sugere-se que não seja necessário tratamento adicional da água de chuva para este fim industrial. Como os galpões da laminação são altos, conforme ilustrado na FIG. 3.3 não haverá influência de folhas de árvores que possam interferir na qualidade da água de chuva ou obstruir os sistemas de coleta e distribuição.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A realização deste estudo mostrou que é possível o uso da água de chuva em processos de laminação a quente, para repor a água perdida por evaporação durante o processo. O uso da água de chuva aumenta a segurança operacional de forma sustentável, uma vez que se torna uma fonte extra de obtenção deste insumo fundamental no processo siderúrgico.

O potencial de captação de água de chuva nos telhados dos galpões das áreas de laminação de chapas grossas e laminados a quente da planta estudada, varia de 129.000 m³ a 210.000 m³ por ano, com os índices pluviométricos do ano de maior seca e a média pluviométrica entre os anos de 2006 a 2016.

Após as simulações realizadas considerando vários cenários de produção de laminados a quentes e de regimes de chuva, a captação da água de chuva mostrou-se suficiente para efetuar a reposição de água evaporada no processo de laminação a quente, parcialmente, porém mostrou que é possível economizar entre 115.000 m³ a 181.000 m³ de água por ano, o equivalente respectivamente a 46 e 72 piscinas olímpicas. Estes volumes referem-se ao ano de maior seca e a média pluviométrica mensal entre os anos de 2006 a 2016, caso tenha um volume útil de 30.000 m³ para armazenamento da água de chuva.

Nos meses de menor captação de água de chuva, maio a setembro, pode-se fazer o gerenciamento do nível da água, armazenando neste reservatório a água captada de outra fonte (água do rio), servindo assim como uma reserva técnica, e sempre que ocorrer algum problema de abastecimento primário, tem-se este volume armazenado permitindo o funcionamento da laminação a quente.

As curvas desenvolvidas usando o método das simulações permitem avaliar qual o volume do reservatório a ser instalado, em função da área disponível para instalação, percentual de atendimento anual a demanda de reposição de água no sistema de águas da laminação. Esta informação é útil para construção de reservatórios em laminações novas ou já em funcionamento.

A captação de água pluvial para uso industrial atende aos requisitos da norma NBR-5527 (ABNT, 2007), além disto, os requisitos de controle de qualidade da água usada no processo

de laminação têm menores exigências do que a referida norma técnica. O principal parâmetro a ser observado é o *pH*, que no caso estudado ficou dentro dos valores recomendados. Importante ressaltar que as indústrias siderúrgicas fazem controle dos níveis de poluentes atmosféricos, reduzindo assim a possibilidade da ocorrência de chuva ácida.

Embora não mencionada, uma análise de viabilidade econômica de se construir um reservatório pluvial de 30.000 m³, pode se tornar inviável ao se levar em consideração somente os custos atuais de tratamento e distribuição do insumo. Porém, ao se aplicar os conceitos e recomendações de boas práticas de governança corporativa, o cenário pode se tornar favorável à empresa, uma vez que este quesito é avaliado e verificado no mercado de capitais por acionistas nacionais e estrangeiros. Outras opções seriam o armazenamento da água captada no reservatório central da usina (geralmente um lago artificial) ou a sua distribuição pelos centros de recirculação de água, alternativas estas a serem avaliadas em outros estudos.

Para trabalhos futuros recomenda-se o estudo do uso da água de chuva dos telhados dos galpões de laminação a frio, uma vez que o processo consome menos água que a laminação a quente, conforme estudo de Johnson (2003). Por fim recomenda-se o estudo e a realização de uma análise probabilística, considerando todos os índices mensais pluviométricos nos últimos dez anos e sua influência na determinação do volume do reservatório de água de chuva, bem como a influência da evaporação e infiltração de água nos reservatórios, no comportamento do sistema de aproveitamento de água de chuva para fins de reposição na laminação a quente.

REFERÊNCIAS

ABM. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METALURGIA, MATERIAIS E MINERAÇÃO. **Mineração debaterá a crise hídrica no primeiro dia da ABM WEEK 2015**. Disponível em: <<http://www.abmbrasil.com.br/news/materias/6080-mineracao-debatera-a-crise-hidrica-no-primeiro-dia-da-abm-week/>>. Acesso em: 20 out. 2015.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva- Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. São Paulo, 2007.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6215: Produtos Siderúrgicos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2011.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, abr./jun. 2008. p. 65

ANNECCHINI, Karla Ponzo Vaccari. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES). 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2005.

ARCELOR MITTAL TUBARÃO. **Sustentabilidade, indicadores, gestão da água**. Disponível em: <<http://tubarao.arcelormittal.com/sustentabilidade/indicadores/>>. Acesso em: 20 out. 2015.

ASPERMINAS. **Sistema móvel de aspersão para despoeiramento**. 2015. Disponível em: <<http://www.asperminas.com.br/aspermovel.html>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

BERTOLO, Elisabete de Jesus Peres. Aproveitamento da água da chuva em edificações. 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Porto (Departamento de Engenharia Civil), Porto, 2006.

BHATTACHARYYA, S. Process water quality requirements for iron and steel making. USEPA- United States Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA/600/2-79/003 (NTIS PB295052), 1979.

COOLDO. **Continuous-casting-machine**. Disponível em: <<http://www.cdoinduction.com/wp-content/uploads/2016/10/continuous-casting-machine-steel-billet.jpg>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

CUPOLILLO, Fúlvio. Diagnóstico hidroclimatológico da bacia do Rio Doce. 2008. 156 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2008.

DRUMOND, Adriana Rocha de Souza. Uso do método “*moss bag*” com *sphagnumcapillifolium* para o biomonitoramento de metais da poluição atmosférica em Ipatinga, Minas Gerais. 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais – Unileste, Coronel Fabriciano, 2012.

ESSAR STEEL HAZIRA. **Aerial view of the Essar Steel complex at Hazira.** Disponível em:

<http://www.essarsteel.com/image_gallery.aspx?cont_id=H1/D8AGhzbU=&path=Media_and_resources_%3E_Media_kit_%3E_Image_gallery>. Acesso em: 10 out. 2015.

ESSAR STEEL HAZIRA. **Making every drop count.** 2013. Disponível em: <http://www.essar.com/article.aspx?cont_id=rsx8C4TuS0c=>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

FERROESTE. **Notícias: Granulação de escória.** 2012. Disponível em: <<http://www.ferroeste.com.br/noticias/52/granulacao-de-escoria>>. Acesso em: 20 dez. 2016.

FRANÇA, André Luiz Felisberto. Minimização do consumo de água e da geração de efluentes líquidos em siderurgia. 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

GIACCHINI, Margolaine. Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GOULD, J. Rainwater is sake to drink? A review of recent findings. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina. Anais. Disponível em:

<http://www.cpsa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 15 jun. 2015.

IAB - INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2014.** Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site2015/downloads/Relatorio_Sustentabilidade_2014.pdf>. Acesso em: 16 set. 2016.

IPATINGA-MG. **Projeto de lei N.º XXX/2015 (Câmara Municipal) - Institui o Código de Obras do Município de Ipatinga e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.ipatinga.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Codigo_de_Obras?cdLocal=2&arquivo=%7BEB225A56-ABDC-CACB-60AB-A37EDA2EAC63%7D.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2016.

JAY SMITH MFG. CO. Rain water Harvesting Products – Brochure, 2010, p. 8 – Disponível em:

<http://www.jrsmith.com/uploads/fileLibrary/JR_RWH_Brochure_SPM2138_201006.pdf>. Acesso em 10 set. 2016.

JOHNSON, Rick. **Water Use in Industries of the Future: Steel Industry.** Washington, D.C: United States Department of Energy, jul. 2003.

KHAN, I. A. Domestic roof water harvesting technology in Thar Desert. In: Rainwater Harvesting Conference, 2001, New Delhi.

LEE, P.; CHOI, H.; LEE, S.; The Effect of Nozzle Height on Cooling Heat Transfer from a Hot Steel Plate by an Impinging Liquid Jet. **Iron and Steel Institute of Japan International ISIJ**, v. 44, n° 4, p. 704–709, 2004.

LEOCÁDIO JÚNIOR, Hormando. Resfriamento de uma placa de aço à alta temperatura por meio de um jato d'água circular. 2008. 119 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Florianópolis, Santa Catarina, 2008.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MIERZWA, José Carlos, HESPANHOL, Ivanildo. **Água na indústria: uso racional e reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

MILANEZ, Bruno. PORTO, Marcelo Firpo de Souza. Gestão ambiental e siderurgia: Limites e desafios da globalização. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 4-21, 2009. Disponível em: <<https://www.revistargsa.org/rgsa/article/view/113/54>>. Acesso em: 10 set. 2016.

NEMEROW, N. L.; DASGUPTA, A. Industrial and hazardous waste treatment. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

PAUL WURTH. Nossas atividades – Produção de coque. Disponível em: <<http://www.paulwirth.com/pt/NOSSAS-ATIVIDADES/Produ%C3%A7%C3%A3o-de-Coque/Introdu%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em 10 abr. 2015.

REMUS, M. A. R., MONSONET, A., ROUDIER, D., SANCHÓ, L. D. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for Iron and Steel Production European Commission Joint Research Centre Institute for prospective technological studies. Seville, Spain, 2013.

SIEMENS. **Siemens modernizes cooling section in hot rolling mill**. 2013. Disponível em: <[http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2013/industry/metals-technologies/imt201310515.htm&content\[\]=IMT&content\[\]=PDMT](http://www.siemens.com/press/en/pressrelease/?press=/en/pressrelease/2013/industry/metals-technologies/imt201310515.htm&content[]=IMT&content[]=PDMT)>. Acesso em: 10 abr. 2015.

SILVA, L. MARTINEZ, C. B. BRITO, H. C. PALOMINO, A. E. C. Aproveitamento de água de chuva em processos de laminação de aço. **Revista Hydro**, Ano XI – n°117 – Julho de 2016. Aranda Editora Técnica e Cultural. São Paulo, 2016.

THOMAS, T. Domestic roof water harvesting in the tropics: the state of the art. In: 11th INTERNATIONAL RAINWATER CATCHMENT SYSTEMS CONFERENCE, 2003,

Mexico. Anais... Disponível em: < <http://eng.warwick.ac.uk/ircsa/pdf/11th/Thomas.pdf>>. Acesso em: 23 abr. 2016.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TROVATI, J. Tratamento de água de resfriamento. Araraquara – SP. 2004. Disponível em: < http://www.snatural.com.br/PDF_arquivos/Torre-Caldeira-Tratamento-Agua.pdf> Acesso em: 12 abr. 2016.

USHA MARTIN. About us - integrated process. 2015. Disponível em: < <http://www.ushamartin.com/about-us/>>. Acesso em 14 jun. 2015

USIMINAS. **Apresentação de resultados 3º trimestre de 2015**. Disponível em: <<http://v4-usiminas.foinvest.com.br/ptb/4948/ApresentaoSite%20RI%203T15.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2016.

_____. **Formulário de Referência 31/12/2009**. Disponível em: < http://v4-usiminas.foinvest.com.br/ptb/2662/FormulriodeRefernciaUsiminasFinal_29062010.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2015.

_____. **Nossos Produtos – Chapas Grossas**. Disponível em: <<http://www.usiminas.com/nossos-produtos/chapas-grossas/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

_____. **Nossos Produtos – Tiras a Quente**. Disponível em: <<http://www.usiminas.com/nossos-produtos/tiras-quente/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

_____. **Relações com investidores - Realeses trimestrais anos 2005 a 2015**. Disponível em: < <http://ri.usiminas.com/ptb/s-10-ptb-2016.html>>. Acesso em: 20 out. 2016.

VAES, G.; BERLAMONT, J. The impact of rainwater reuse on CSO emissions. **Water Science Technology**. v. 39, n. 5, p. 57-64, 1999.

VOLKSWAGEN DO BRASIL. No Dia Mundial da Água, Volkswagen do Brasil comemora redução de 11% no consumo de água em suas fábricas. 2015. Disponível em: <<http://www.vwbr.com.br/ImprensaVW/Release.aspx?id=b3dbcb1f-08bf-40f5-b99d-f945c52114d7>>. Acesso em: 12 dez. 2016

WALLING, F. B., OTTS JR., L. E. Water Requirements of the Iron and Steel Industry - GEOLOGICAL SURVEY WATER-SUPPLY PAPER 1330-H - UNITED STATES GOVERNMENT PRINTING OFFICE, WASHINGTON, 1967.

WORLD STEEL ASSOCIATION. **World Steel in Figures 2015**. Disponível em: <<http://www.worldsteel.org/publications/bookshop/product-details.~World-Steel-in-Figures-2015~PRODUCT~World-Steel-in-Figures-2015~.html>>. Acesso em: 13 out. 2016.