

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**  
**Departamento de Engenharia de Minas**  
**Curso de Especialização em Engenharia de Recursos Minerais**

Otávio Augusto Leite Oliveira

**ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA UTILIZADO NO**  
**BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS**

Belo Horizonte

2023

Otávio Augusto Leite Oliveira

**ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA UTILIZADO NO  
BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS**

Monografia de especialização apresentada ao Departamento de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Recursos Minerais.

Autor: Otávio Augusto Leite Oliveira

Orientador: Prof. Dr. Pedro Benedito Casagrande

Belo Horizonte

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS

UF **mg**

## ATA DA DEFESA DE MONOGRAFIA DO ALUNO OTÁVIO AUGUSTO LEITE OLIVEIRA

Realizou-se, no dia 26 de julho de 2023, às 15:00 horas, na plataforma MS TEAMS da Universidade Federal de Minas Gerais, a defesa da Monografia intitulada "**ESTIMATIVA DO VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA UTILIZADO NO BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS**", apresentada por OTÁVIO AUGUSTO LEITE OLIVEIRA, número de registro 2021697520, graduado em ENGENHARIA CÍVIL, como requisito parcial para a obtenção do certificado de Especialista em ENGENHARIA DE RECURSOS MINERAIS, à seguinte Comissão Examinadora: Professor Pedro Benedito Casagrande - Orientador, Professor Michel Melo Oliveira (Universidade Federal de Minas Gerais), Professor Leandro Azevedo da Silva (Universidade Federal de Minas Gerais).

A comissão considerou a defesa da monografia:

Aprovada

Reprovada

Nota: **76,66**

Finalizando os trabalhos, lavrei a presente ata que, lida e aprovada, vai assinada por mim e pelos membros da Comissão.

Belo Horizonte, 26 de julho de 2023.

 Documento assinado digitalmente  
PEDRO BENEDITO CASAGRANDE  
Data: 27/07/2023 14:29:39-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Pedro Benedito Casagrande (Doutor)

 Documento assinado digitalmente  
MICHEL MELO OLIVEIRA  
Data: 11/09/2023 13:50:46-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Professor Michel Melo Oliveira (Doutor)

Assinado eletronicamente por:  
LEANDRO AZEVEDO  
CPF: \*\*\*.601.617-\*\*  
Data: 22/09/2023 11:53:12 -03:00



Professor Leandro Azevedo da Silva (Mestre)

Esse documento foi assinado por PEDRO BENEDITO CASAGRANDE, MICHEL MELO OLIVEIRA e LEANDRO AZEVEDO .  
Para validar o documento e suas assinaturas acesse <https://asp.assinaturasempapel.com.br/validate/KSTMK-WWGA8-ASMWF-QU5NB>



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por me conceder saúde, discernimento e sabedoria para que esse objetivo pudesse ser alcançado.

Aos meus familiares por reconhecerem minha ausência de suas vidas para dedicar aos estudos.

À minha amada esposa Regina pela compreensão e apoio incondicional de sempre.

Ao meu orientador Pedro Casagrande, pelo apoio ao desenvolvimento desse projeto.

Aos meus companheiros de trabalho da Mineração USIMINAS, pelo incentivo e suporte dado no desenvolvimento desse trabalho. Em especial ao coordenador de geologia, o geólogo Sidney Wallace Marques dos Santos e ao especialista em geologia, o hidrogeólogo Wander Pawlowski Queiroz, o qual considero meu coorientador, pelo conhecimento compartilhado, pelas valiosas sugestões e agradáveis discussões acerca dos recursos hídricos.

Por fim, os meus sinceros agradecimentos aos professores do CEERMIN pela dedicação magistral no ensino, em especial aos membros da banca, pela honra de ser avaliado com grandiosa inteligência.

## RESUMO

Entender a dinâmica da água em diferentes condições do seu ciclo possibilita o entendimento do que pode ser feita para otimizar o aproveitamento de forma racional desse recurso tão necessário e valioso a vida na Terra, bem como o desenvolvimento de atividades econômicas. O presente trabalho teve como objetivo estimar o volume de água de chuva aproveitada no beneficiamento de minério da Mineração Usiminas. Nos meses em que ocorrem os maiores índices pluviométricos, o consumo de água nova proveniente de poços e cursos d'água reduz, evidenciando o reaproveitamento de água de chuva no processo. Tal prática aliada a recirculação de água no processo de beneficiamento, possibilita o reaproveitamento de aproximadamente 93%, o que corresponde a aproximadamente 1,8 milhão de m<sup>3</sup>/mês.

**Palavras-chave:** gestão de recursos hídricos; pluviometria; reaproveitamento.

## ABSTRACT

Understanding the dynamics of water in different conditions of its cycle makes it possible to understand what can be done to rationally optimize the use of this resource, which is so necessary and valuable to life on Earth, as well as the development of economic activities. This study aimed to estimate the volume of rainwater used in the processing of ore at Mineração Usiminas. In the months when the highest rainfall rates occur, the consumption of new water from tube wells and watercourses reduces, demonstrating the reuse of rainwater in the process. This practice, combined with the recirculation of water in the processing process, makes it possible to reuse approximately 93%, which corresponds to approximately 1.8 million m<sup>3</sup>/month.

**Keywords:** water resources management; pluviometry; reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo da Água. ....	19
Figura 2 - Pluviômetro <i>Ville de Paris</i> . ....	22
Figura 3 - Coletor de um pluviômetro. ....	22
Figura 4 - Localização Mineração Usiminas. ....	30
Figura 5 - Localização das minas, vias de acesso e terminais de carga. ....	31
Figura 6 - Uso e ocupação do solo na bacia de contribuição do reservatório. ....	39
Figura 7 - Correlação entre a pluviometria fornecida pela Estação e o pluviômetro da MUSA. ....	42
Figura 8 - Extrato balanço hídrico mensal. ....	42
Figura 9 - Consumo de água nova x pluviometria, destacando os mínimos no consumo de água nova. ....	44
Figura 10 - Produção x volume de água recirculada x volume de água nova. ....	45
Figura 11 - Consumo de água por tonelada produzida x consumo de água nova. ....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperatura média mensal da estação Ibirité/MG.....	33
---	----



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Metodologia de estimativa de recarga. ....	41
Quadro 2 - Uso e ocupação do solo. ....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pluviometria total mensal. ....	34
Tabela 2 - Dados da estação pluviométrica de Ibirité/MG.....	36
Tabela 3 - BHnorm - entrada dos dados. ....	37
Tabela 4 - Bhnorm – Resultados.....	38

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CN	Coeficiente de Escoamento Superficial
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ITM	Instalação de Tratamento de Minérios
MUSA	Mineração Usiminas S.A.
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1. Objetivo geral .....	<b>16</b>
2.2. Objetivos específicos.....	<b>16</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
3.1. Distribuição da água no planeta .....	<b>17</b>
3.2. Ciclo Hidrológico.....	<b>18</b>
3.3. Balanço hídrico.....	<b>19</b>
3.4. Precipitação.....	<b>21</b>
3.5. Interceptação.....	<b>23</b>
3.6. Evapotranspiração.....	<b>23</b>
3.7. Infiltração.....	<b>24</b>
3.8. Estimativa da recarga dos aquíferos .....	<b>26</b>
3.9. Condutividade Hidráulica.....	<b>27</b>
3.10. Escoamento superficial.....	<b>27</b>
<b>4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA</b> .....	<b>29</b>
4.1. História recente .....	<b>29</b>
4.2. Escoamento da produção.....	<b>31</b>
4.3. Geologia Regional e Local.....	<b>32</b>
<b>5. LEVANTAMENTO DE DADOS HIDROMETEREOLÓGICOS</b> .....	<b>33</b>
5.1. Balanço hídrico: método de Thornthwaite e Mather (1955).....	<b>34</b>
5.2. Uso e ocupação.....	<b>39</b>
5.3. Estudos hidrológicos.....	<b>40</b>
5.3.1. Condutividade Hidráulica .....	<b>40</b>

5.3.2. Precipitação .....	41
5.3.3. Escoamento superficial .....	43
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>44</b>
<b>7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>52</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico e o crescimento da população, o uso de recursos naturais como matéria-prima se faz necessário para atender a as necessidades desta geração. Os recursos naturais são extraídos e beneficiados para suprir as diferentes necessidades humanas que são essenciais para sua sobrevivência.

Com a crescente demanda de água, com os níveis de poluição dos rios cada vez maiores e, além disso, a dificuldade da renovação dos recursos hídricos de forma natural devido a atividade humana vem motivando o desenvolvimento de estudos que visam a utilização dos recursos hídricos de forma mais racional (SILVA, 2004).

A gestão dos recursos hídricos tem provocado mudanças no processo produtivo das mineradoras. Nos últimos anos, as mineradoras têm buscado alternativas para o uso consciente dos recursos, como forma de demonstrar compromisso ambiental e, conseqüentemente atrair investimentos.

O risco de escassez hídrica tem se mostrado cada vez mais inevitável. As empresas têm se comprometido a adaptar os processos para integrar a produção as boas práticas de preservação ambiental, responsabilidade social e transparência empresarial (ESG). A sigla em inglês *environmental, social and governance*, refere-se às melhores ações ambientais, sociais e de governança de uma empresa.

Os critérios ESG fazem parte dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS representam um plano de ações propostas pela ONU, as quais constituem a principal referência na formulação e implementação de políticas públicas para os governos se orientarem na busca de dignidade e qualidade de vida no planeta, sem comprometer o meio ambiente e, conseqüentemente, as gerações futuras, que devem ser atingidas até 2030. Para as empresas, o reconhecimento da sociedade como organização que promove o desenvolvimento sustentável tornou-se um objetivo.

Apesar dos conceitos estarem relacionados, de terem objetivos em comum e serem utilizados até mesmo como sinônimos em algumas situações, ESG e sustentabilidade não se trata da mesma coisa. A sustentabilidade é um conceito mais abrangente, que visa garantir o atendimento das necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade e necessidades das gerações futuras de suprirem as próprias necessidades. Engloba também ações e políticas que atuam nos riscos e oportunidades para as organizações, meio ambiente e sociedade, visando a garantir um futuro sustentável.

De fato, é notória a evolução do setor de mineração, porém ainda há muito a ser feito. O principal desafio do setor é envolver os públicos com os quais se relaciona no planejamento, na busca e na promoção de ações de sustentabilidade.

No setor de mineração, tem-se uma dualidade no que diz respeito a água. De um lado temos um recurso importante que se faz necessário para o desenvolvimento dos processos e operações e, de outro lado, temos um importante elemento potencialmente problemático que pode implicar em custos adicionais consideráveis.

Entender a interação dos recursos hídricos com o processo, é o caminho ideal para o sucesso das operações em uma mineração. A viabilidade técnica e econômica da lavra está diretamente relacionada ao conhecimento contexto hidrológico e hidrogeológico em que está inserida.

Assim, as empresas mais conscientes dessa interação planejam e buscam ferramentas adequadas para os problemas que podem surgir com a água, desde a fase de pesquisa mineral até o fechamento de mina, possibilitando implementar medidas preventivas e corretivas mais adequadas e por sua vez, mais efetivas.

O uso de água na mineração ocorre em todas as etapas da produção. A atividade extrativa interfere direta ou indiretamente os recursos hídricos, alterando a quantidade e/ou qualidade do recurso. Dessa forma, a água é

insumo mais importante no setor mineral, devido a sua disponibilidade e características físicas e químicas.

Em algumas unidades de processamento de minérios, a água é recuperada e recirculada possibilitando reduzir o consumo de água nova (poços de captação) e, conseqüentemente, minimizar a quantidade de efluentes no meio ambiente e os custos operacionais (LUZ, 2010). Em consonância, para que seja possível aperfeiçoar o uso e interferências nos recursos hídricos, cada vez mais as empresas estudam e propõem alternativas para o reuso, a reciclagem e recirculação, com foco na sustentabilidade.

Dessa forma, o presente trabalho monográfico apresenta uma estimativa do volume de água de chuva utilizado nas Instalações de Tratamento de Minérios (ITM) da Mineração USIMINAS, utilizando dados históricos de precipitação e de produção, permitindo uma avaliação e o estabelecimento de um índice de consumo de água nova por tonelada produzida. É importante salientar que esse índice está atrelado aos conhecidos ciclos de sazonalidade (exemplo: ano hidrológico), exigindo tempo para o atingimento de metas de reciclagem e recirculação.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

O presente estudo tem por objetivo apresentar com vistas na gestão de recursos hídricos, estimativa do volume de água de chuva utilizado no beneficiamento minérios na Mineração Usiminas entre 2014 e 2022, em uma de suas minas (mina Oeste).

### **2.2. Objetivos específicos**

Para o alcance do objetivo desse estudo, foi abordado os seguintes tópicos:

- Aquisição de dados pluviométricos das estações locadas próxima a área de estudo e da estação instalada na área de estudo, além do levantamento de dados climáticos;
- Estimar por meio de uma revisão bibliográfica, as perdas (infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial etc.);
- Realizar a avaliação dos dados após as perdas e comparar com a produção de minérios, de modo a entender a variação no consumo de água nova em decorrência do período chuvoso;
- Propor técnicas que permitam a reduzir cada vez mais o consumo de água nova proveniente dos poços de captação, nos processos produtivos.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Utilizando a série histórica de dados de pluviometria, é possível entender o seu comportamento nos diferentes cenários de cada ano. É sabido que as minas com maiores afluências, estão diretamente relacionadas as áreas que possuem os maiores índices pluviométricos. As áreas que são afetadas sazonalmente por chuvas intensas, podem oferecer incrementos de vazão durante este período.

Um dos estudos que permitem interpretar a dinâmica da água em uma determinada região, é o balanço hídrico. Esse estudo permite compreender por meio da análise do ciclo hidrológico, qual a variação do armazenamento dentro do ciclo, através da diferença entre as entradas e as saídas. Para obter resultados mais confiáveis, é necessário levar em consideração às interferências locais e regionais do clima, da litologia e da geologia estrutural.

Dessa forma, é possível determinar o volume de água escoado dentro de bacia durante os diferentes cenários em cada ano, permitindo estimar o volume de água de chuva utilizado nas instalações de tratamento de minério de uma mineração, visando a redução do consumo de água nova de poços de captação, possibilitando uma otimização do aproveitamento do recurso hídrico precipitado durante o ano.

#### **3.1. Distribuição da água no planeta**

A água é de fundamental importância no equilíbrio da vida no nosso planeta. Embora de todo o quantitativo de água existente no planeta, a parcela dos recursos de água doce merece destaque por ser esse um recurso indispensável ao homem. Com o aumento da população mundial, há também uma maior necessidade de utilização desse recurso natural.

De acordo com Shiklomanov (1998), do volume de água disponível na Terra, aproximadamente 1386 milhões de km<sup>3</sup>, 2,5% desse valor corresponde a parcela de água doce. Dessa parcela (aproximadamente 35 milhões de km<sup>3</sup>), 69% estão concentradas nas geleiras, sendo considerada de difícil acesso. Do

restante, 30% são águas subterrâneas e apenas 1% encontra-se nos rios (BRASIL, 2018).

No Brasil, a demanda por água é crescente. A previsão é que haverá um aumento na demanda de 24% até o ano de 2030. Quanto a disponibilidade de água, o Brasil é um país privilegiado. Entretanto, a sua ocorrência, a demanda e a infraestrutura para abastecimento e conservação, é desigual no território o ano todo (ANA, 2019). A região Norte detém a maior disponibilidade hídrica do país. Por outro lado, apresenta baixa densidade demográfica e conseqüentemente, pouca demanda do recurso.

### **3.2. Ciclo Hidrológico**

O ciclo hidrológico é um sistema pelo qual a água circula entre seus reservatórios oceânico, terrestre e atmosférico. A energia solar desempenha um papel fundamental, sendo responsável pela circulação da água entre os reservatórios oceânico e terrestre. Por meio dela, a água evapora das superfícies líquidas (oceanos, mares, rios e lagos), para as camadas mais altas da atmosfera na forma de vapor.

Os fatores climáticos (temperatura do ar, ventos e umidade relativa do ar) são responsáveis pelo movimento da massa de ar úmido, antes mesmo que ocorra a formação de nuvens e precipitação. A gravidade é também protagonista nesse processo. Ela é responsável pelas precipitações (granizo, chuva, orvalho e neve).

Quando ocorre precipitação sobre os oceanos, a água termina o ciclo e está pronta para retornar a atmosfera por meio da evaporação. Quando precipita sobre a superfície terrestre, a água pode seguir por diferentes caminhos. Uma porção da precipitação pode infiltrar e percolar no solo ou em rochas, podendo essa formar ou abastecer os aquíferos e retornar a superfície por meio das regiões encharcadas ou pantanosas, ou através de nascentes ou alimentar os rios e lagos.

Quando a capacidade de infiltração do solo for excedida pela ocorrência de chuvas intensas, o excedente esco superficialmente em direção a um curso

d'água. Parte da porção que infiltra ou escoar, termina por evaporar. Parte da água presente no solo é absorvida pelas raízes das plantas. Essa, através de um processo fisiológico, dispensa água na forma de vapor para a atmosfera, sendo esse processo chamado de transpiração. A combinação da evaporação mais a transpiração, é conhecida como evapotranspiração.

É de grande relevância salientar que água superficial, subterrânea e atmosférica, apesar das diferentes nomenclaturas, tratam ainda do mesmo recurso, a água. O que acontece é que em determinadas situações, ela se apresenta em diferentes estados físico. A figura 1, apresenta de forma didática o ciclo da água, evidenciando a afirmativa de que água é uma só.

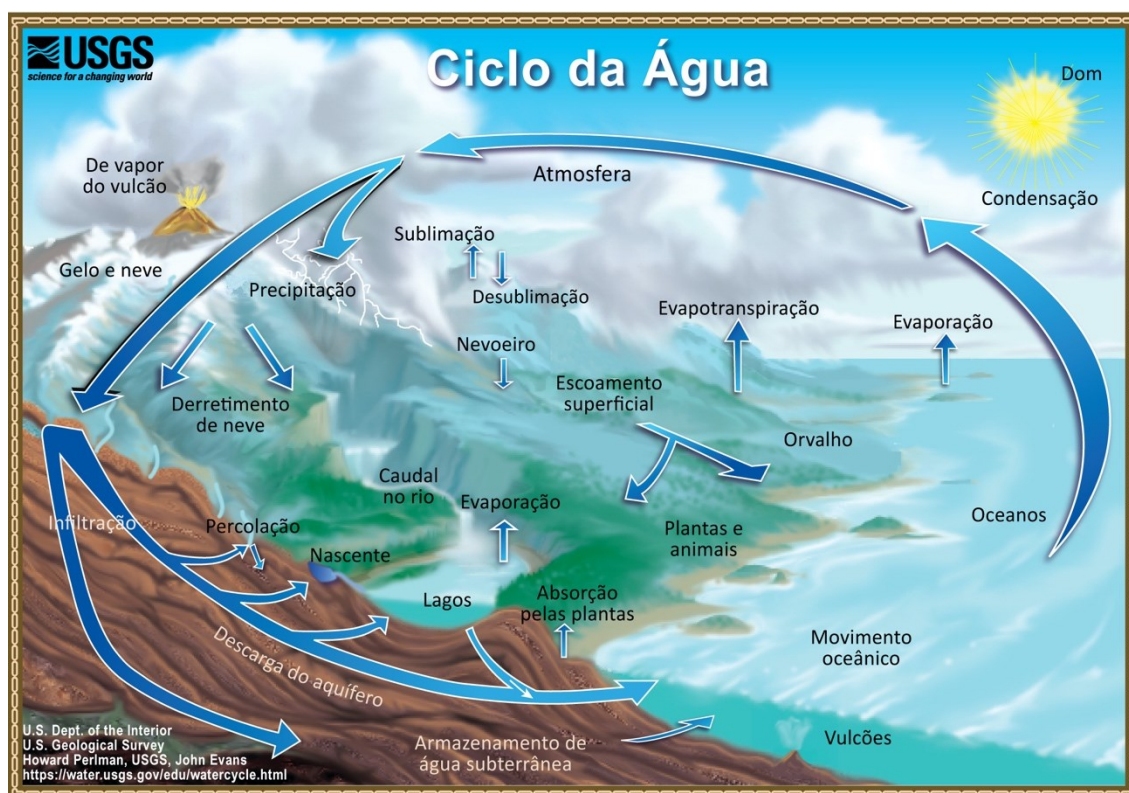


Figura 1 - Ciclo da Água.

Fonte: USGS, 2018. Link: <https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-da-gua-water-cycle-portuguese>. Acesso em: 24/04/2023.

### 3.3. Balanço hídrico

O balanço hídrico é uma ferramenta de gestão capaz de identificar e avaliar a variação no tempo das quantidades de água, seja superficial ou subterrânea, armazenada em uma bacia, bem como os respectivos fluxos, como o

escoamento, a precipitação e a evapotranspiração, permitindo obter informações conclusivas sobre o regime hidrológico e das diferentes possibilidades de uso dos recursos hídricos (FILL *et al.*, 2005). Essa ferramenta permite orientar a gestão, o planejamento e o uso da água nas bacias hidrográficas, com o objetivo de garantir a segurança hídrica.

Para a contabilização do balanço hídrico, diversas escalas podem ser consideradas. Na escala macro, o “balanço hídrico” é o próprio “ciclo hidrológico”, cujo resultado representará a quantidade de água disponível no sistema (SENTELHAS & ANGELOCCI, 2012).

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), a equação do balanço hídrico obedece ao princípio da conservação da massa ou o princípio da continuidade, onde a diferença entre as entradas e saídas é corresponde à variação do armazenamento dentro do sistema. Dessa forma, é importante definir uma área de trabalho que seja possível considerar somente a precipitação como a única entrada de água (FEITOSA *et al.*, 2008).

Segundo Hirata e Wahnfried (2005), os componentes do balanço hídrico podem ser medidos *in situ* ou ainda estimados indiretamente. Comumente somente a precipitação é medida de forma direta. Os valores dos componentes podem ser obtidos em sistemas próprios como também importadas de outros sistemas, ou de órgãos que faz uso de tais informações.

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), de modo a estimar a recarga em uma determinada região, a equação que avalia o balanço hídrico em uma bacia pode ser calculada conforme a equação a seguir.

$$P - ETR - R - I = \Delta S$$

Em que  $P$  representa a precipitação pluviométrica (mm),  $ETR$  a evapotranspiração real,  $R$  o deflúvio,  $I$  infiltração e  $\Delta S$  as variações no armazenamento.

### 3.4. Precipitação

O processo pelo qual a água (condensada) presente na atmosfera por meio da gravidade, atinge a superfície terrestre é chamado de precipitação pluviométrica ou chuva. A precipitação é uma das medidas mais relevantes do ciclo hidrológico, sendo essa considerada o ponto de partida das análises hidrológicas das bacias hidrográficas.

De acordo com Feitosa *et al.* (2008), são diversas as condições que se fazem necessárias para a ocorrência de precipitação. São elas: a existência de massa de ar com temperatura a ponto de orvalho, a massa de ar deve ser condensada provocando a mudança de estado para líquida ou gasosa, as gotas precisam se aderir para a formação de gotas de chuva e devem ter tamanho suficiente para não serem evaporadas antes de alcançar a superfície do solo.

Segundo Hirata e Wahnfried (2005), a precipitação é obtida geralmente de forma direta. Entretanto, esse componente também pode ser estimado de forma indireta, que utiliza a calibração para combinar as estimativas de precipitação de vários satélites (HUFFMAN *et al.*, 2007). Os dados de precipitação disponíveis no país podem ser acessados por meio do Portal *HIDROWEB*. Essa ferramenta integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e disponibiliza o acesso ao banco de dados fluviométricos, pluviométricos, climatologia, qualidade da água e sedimentos, coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN (BRASIL, 2023).

A precipitação é medida por meio de pluviômetros. O modelo mais difundido e comercializado no Brasil é o pluviômetro *Ville de Paris* (Figura 2). Esse instrumento dispõe de um reservatório que acumula a água captada, para posterior aferição com o auxílio de uma proveta graduada (FEITOSA *et al.*, 2008). Esse possui capacidade de reservar cerca 5 litros, o que corresponde a 125 mm de altura da lâmina d'água.

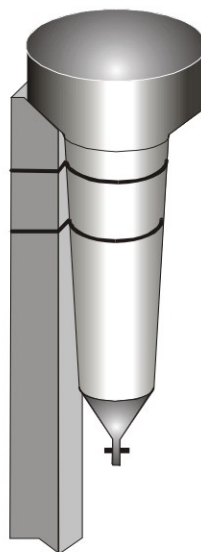


Figura 2 - Pluviômetro *Ville de Paris*.

Fonte: Varejão-Silva (2006).

O coletor do pluviômetro (Figura 3) deve ter área conhecida (geralmente  $400\text{ cm}^2$ ), sendo essa utilizada para o cálculo da altura da lâmina d'água ( $h$ ). O coletor de formato cilíndrico é o mais recomendado, visto a semelhança das condições de exposição ao vento em qualquer direção. O chanfro na borda externa, impede que as partículas que colidiram com essa, acabe por penetrar no reservatório (VAREJÃO-SILVA, 2006).

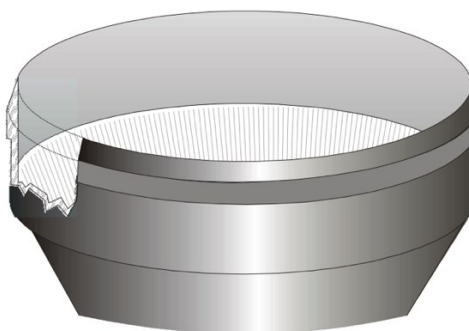


Figura 3 - Coletor de um pluviômetro.

Fonte: Varejão-Silva (2006).

Como o equipamento registra de forma discreta, foi adaptado ao seu uso os equipamentos digitais, o que determinou que esse dispositivo seja na atualidade, o mais difundido no mercado.

Além dos pluviômetros, existem também os pluviógrafos. Esses registram graficamente a intensidade da chuva por meio da altura da lâmina d'água e o período de duração (FEITOSA *et al.*, 2008).

No balanço hídrico, os dados de precipitação de uma bacia, são compostos pela média dos dados que compreende a área de estudo. No Brasil, o ano hidrológico para a região sudeste vai de outubro a setembro. Define-se por meio desse, o período da estação chuvosa (outubro a março) e a estação seca (abril a setembro).

### **3.5. Interceptação**

Ao processo de retenção de parte da precipitação, antes que essa possa atingir o solo, é denominada interceptação. A maior parcela de água interceptada, retorna à atmosfera como evaporação, é denominada Precipitação incidente. Precipitação interna é a parcela da água que atravessa cobertura superior da floresta (dossel), incluindo as gotas que passam diretamente e as gotas provenientes de respingos. Parte da água que passa por essa barreira, escoar pelo tronco em direção a superfície. Precipitação efetiva é a parcela que chega ao solo efetivamente. Devido a dificuldade do monitoramento da parcela que é interceptada pela vegetação presente na área de estudo, essa será desconsiderada nesse trabalho.

A interceptação depende de diversos fatores como: as características da precipitação, o clima, o tipo e a densidade da vegetação e ainda, o período do ano. Sendo assim, é necessário identificar tais características visto que a interceptação pode influenciar a disponibilidade de água para o solo. Entretanto, apesar de sua relevância, a interceptação é uma das variáveis do balanço hídrico mais subestimadas nos estudos.

### **3.6. Evapotranspiração**

O termo evapotranspiração é utilizado para expressar a transferência de vapor d'água para a atmosfera, sendo esse a junção da evaporação da umidade existente no substrato (solo ou água) com a transpiração proveniente da



atividade fisiológica dos seres que vivem que o habitam (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Medir diretamente a evapotranspiração é considerado um procedimento oneroso. Esse envolve equipamentos como os evapotranspirômetros, que consistem em um recipiente impermeável, contendo uma certa porção de solo, que permite compreender o balanço hídrico da amostra (ROSSATO e TOMASELLA, 2005).

De acordo com Thornthwaite (1948), evapotranspiração potencial (ETP) é compreendida como a "chuva ideal" para que uma determinada região não apresente nem excesso nem deficiência hídrica durante o ano. Segundo Feitosa *et al.* (2008), evapotranspiração real (ETR) pode ser estimada por meio da diferença entre a precipitação (P) e a evapotranspiração potencial (ETP), como apresentado a seguir:

$$\text{se } P - ETP > 0 \rightarrow ETR = ETP$$

$$\text{se } P - ETP < 0 \rightarrow ETR = P$$

A evapotranspiração é utilizada no balanço hídrico na mesma unidade de medida da precipitação como altura da lâmina de água expressa em milímetros. Dessa forma, um milímetro de evapotranspiração é equivalente a um litro para cada metro quadrado de área, transferido da superfície para a atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006).

### **3.7. Infiltração**

Define-se como infiltração a passagem da água presente na superfície para o interior do solo. O movimento da água infiltrada é exercido pelas forças de pressão e gravitacional. Esse movimento ocorre quando a taxa de infiltração do solo é maior que a intensidade das chuvas. Essa taxa normalmente decresce com o tempo, devido ao carreamento de sólidos suspensos que preenchem e obstruindo os interstícios porosos do perfil de solo provocando bloqueios, fenômeno esse chamado de colmatação.

Alguns fatores são podem influenciar diretamente na capacidade de infiltração de água nos solos (CARVALHO e SILVA, 2006). São eles:

-Distribuição granulométrica de um solo: o tamanho das partículas influi diretamente na porosidade de um solo;

-Grau de umidade: um solo seco tem maior capacidade de infiltração que um solo úmido;

-Condições de superfície (compactação): o estágio de compactação da superfície do solo, seja ela antrópico ou natural, torna o solo mais ou menos impermeável;

-Ação das chuvas: as chuvas podem ocasionar em compactação da superfície de um solo, por meio do carreamento de materiais finos, reduzindo a capacidade de infiltração;

-Alteração da macroestrutura: os fenômenos naturais podem modificar a estrutura de um solo como os deslizamentos, a presença de animais, a ação do sol, a decomposição das raízes das plantas ou também, por meio do preparo do solo para cultivo (aeração);

-Cobertura vegetal: a presença de vegetação pode aumentar a capacidade de infiltração, devido a presença de animais e insetos e ainda, por dificultar o escoamento, dificultar a perda de umidade do solo;

-Temperatura: a temperatura do solo influencia na temperatura da água e consequentemente na sua viscosidade;

-Porosidade dos solos: a presença de ar retido nos espaços vazios intergranulares, pode retardar a infiltração.

A infiltração pode ser avaliada no local com o auxílio de infiltrômetros, não sendo essa uma medida apurada (FEITOSA *et al.*, 2008). Segundo Carvalho e Silva (2006), a taxa de infiltração corresponde a altura da lâmina d'água que permeia a superfície do solo, em um determinado tempo, sendo expressa em altura por unidade de tempo ( $\text{mm.h}^{-1}$ ) (CARVALHO e SILVA, 2006). A equação

a seguir apresenta a taxa de infiltração, que corresponde a variação da parcela que infiltra pelo tempo decorrido.

$$TI = \frac{dI}{dt}$$

em que:

$TI$  = taxa de infiltração da água no solo ( $\text{mm.h}^{-1}$ );

$I$  = infiltração acumulada (mm) e;

$t$  = tempo (h).

Mediante as chuvas intensas, o excedente a capacidade de infiltração, ou seja, a porção de água que não infiltra em consonância com os fatores mencionados, escoar superficialmente em direção a um curso d'água.

### **3.8. Estimativa da recarga dos aquíferos**

De acordo com Mourão (2007), os aquíferos desempenham as funções de armazenamento e transmissão de água. Esses funcionam como reservatórios e condutores do fluxo de água subterrânea. Os poros formação uma rede que liga os pequenos canais, além de provocarem o acúmulo de água.

A recarga de um aquífero pode ocorrer de forma difusa ou concentrada. A recarga difusa é aquela proveniente da infiltração em grandes áreas. Já a recarga centrada é aquela associada a infiltração em corpos d'água superficiais (Healy 2010, Dias 2021). As duas formas podem ser expressas em taxa, composta por unidade de volume ou comprimento por unidade de tempo (exemplo:  $\text{m}^3/\text{ano}$ ,  $\text{mm}/\text{ano}$ ).

A fonte principal da recarga é a infiltração de água pluvial nas camadas mais intemperizadas. Na presença de uma camada superficial formada por sedimentos coluvionares de canga, essa favorece em um ambiente de elevada porosidade e permeabilidade e conseqüentemente, mais efetivo na recarga. De acordo com Beato *et al.* (2005), a infiltração é potencializada pela elevada precipitação, relevo pouco acidentado e ocupação arbórea com o emaranhado radicular.

### 3.9. Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica (K) é medida pela capacidade de uma formação de solo ou de rocha transmitir água e é dada em unidade de comprimento por unidade de tempo. Para a obtenção desse parâmetro, utilizam-se ensaios laboratoriais e de campo. De acordo com Freeze e Cherry (1979) os valores de K podem ser obtidos em função da granulometria do material. É necessário destacar que a granulometria influencia na porosidade de uma formação, porém, um alto índice de porosidade não garante uma elevada condutividade hidráulica. Para tal, é necessário que haja conectividade entre os poros (DIAS, 2021).

A Formação Cauê, devido a sua invariabilidade litológica notada sobretudo por itabiritos e minérios de ferro, apresenta uma diversificação da composição e aspectos mineralógicos, favorecem um aquífero fortemente anisotrópico, com diferenças marcantes de porosidade e permeabilidade.

### 3.10. Escoamento superficial

O escoamento superficial ou deflúvio ou ainda *run-off*, é o processo pelo qual a parcela da água de chuva precipitada na superfície, escoar em direção a um curso d'água (FEITOSA *et al.*, 2008). Rossato e Tomasella (2005) ressaltam que tanto escoamento superficial quanto o subterrâneo, abastecem indiretamente lagos e oceanos e desaguam nos cursos d'água.

O escoamento superficial é tido como uma resposta rápida ao regime de chuvas e cessa pouco tempo depois dessa e correspondem ao excedente hídrico ao excedente hídrico quando a capacidade de infiltração de um solo é excedida. Os fatores que influem sobre escoamento, de acordo com UTFPR (2010) são:

-Físicos: área, topografia, rugosidade, taxa e capacidade de infiltração, viscosidade, impermeabilização do solo, entre outros;

-Hidrológicos: duração, distribuição e intensidade da chuva;

-Vegetativas: interceptação e retenção da vegetação, dificultando o transporte da água no solo coberto;

-Condições iniciais: umidade do solo e escoamento inicial durante a precipitação.

O escoamento superficial é obtido aplicando-se o coeficiente de escoamento superficial - *Curve Number* (CN) à precipitação mensal, na bacia de contribuição. Tucci (1993) apresenta valores genéricos de CN, considerando os grupos hidrológicos de solos, os quais são considerados difíceis de serem caracterizados e obtidos diretamente.

## **4. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA ÁREA**

### **4.1. História recente**

Em 2008, a USIMINAS adquiriu o controle total da Mineração J. Mendes Ltda e de suas controladas Somisa (Siderúrgica Oeste de Minas Gerais Ltda) e Global Mineração Ltda, para a lavra de minério de ferro na Serra de Itatiaiuçu, situadas no quadrilátero ferrífero em Minas Gerais. Tal aquisição foi justificada na época como uma estratégia a longo prazo, em continuidade com o plano de expansão de suas usinas de Ipatinga e Cosipa (atualmente usina de Cubatão).

Após a aquisição, a USIMINAS continuou a lavra dos itabiritos friáveis existentes nas minas denominadas: Minas Oeste (antiga SOMISA), Central (antiga J.Mendes) e Leste (antiga Global), de uma forma mais adequada, objetivando melhorar as práticas de mineração. Até aquele momento, a lavra era notadamente artesanal, seletiva, de fácil extração e, conseqüentemente, baixo custo de beneficiamento.

Entre os anos de 2008 e 2015, a Usiminas subsidiou uma extensa pesquisa geológica, com aproximadamente 79 mil metros de sondagem em seus títulos minerários, objetivando a reavaliação da qualidade e quantidade de seus recursos, de modo que seja possível determinar a melhor rota de processo para a adequação de seus produtos as necessidades dos clientes.

No ano de 2010, a partir de uma parceria da Usiminas com o grupo japonês Sumitomo Corporation, foi formada a Mineração Usiminas S.A. (MUSA). Nessa joint venture, a Sumitomo Corporation adquiriu 30% da mineradora.

Com a entrada da Sumitomo Corporation e apoio da empresa em todo o processo, o investimento para expansão foi aprovado, esse que consiste na construção de duas plantas de beneficiamento, sendo uma na mina Oeste e outra na mina Central.

A Mineração Usiminas S.A. possui quatro minas no Quadrilátero Ferrífero (ver localização na Figura 4), onde atualmente opera três minas - Oeste, Central e Leste. A mineradora conta ainda uma participação indireta no capital (11,41%)

da MRS Logística para prestação de serviços de transporte ferroviário de produtos em terminais de embarque de minério.

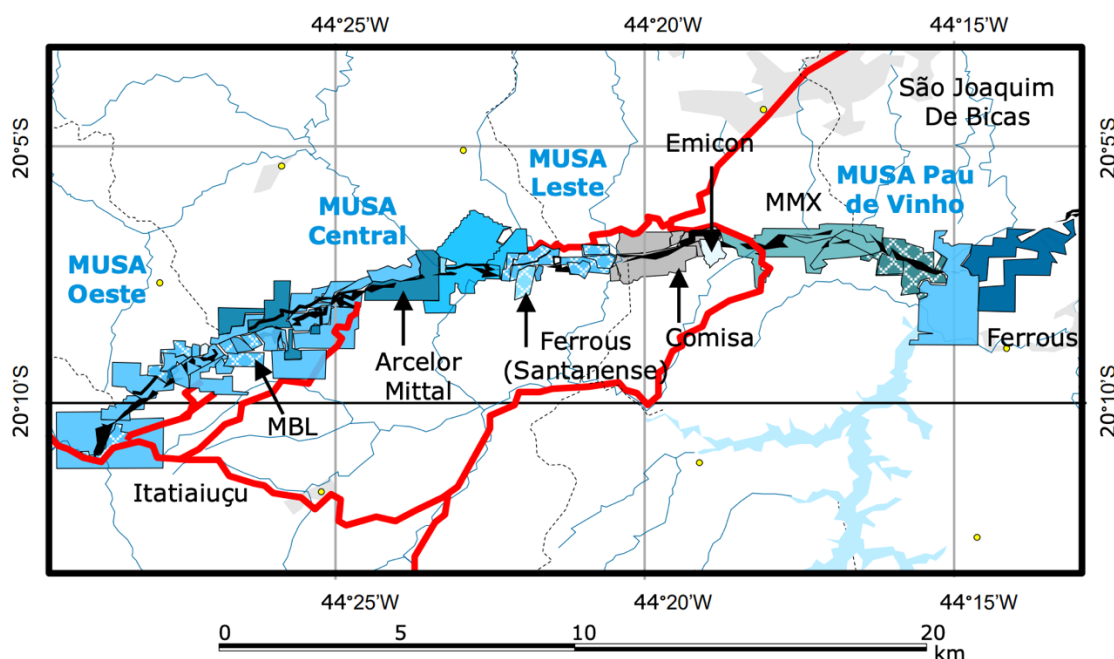


Figura 4 - Localização Mineração Usiminas.

Fonte: Mineração Usiminas, 2021. Link: <https://ri.usiminas.com/resultados-e-divulgacoes/central-de-resultados/>. Acesso em: 23/04/2023.

Em 2013 entrou em operação a Instalação de Tratamento de Minério (ITM) Samambaia e, em 2014, foi o startup da ITM Flotação. Um dos objetivos das plantas é o aproveitamento de finos da barragem da antiga J. Mendes. Com as unidades em produção, a alimentação das plantas passou a variar, de acordo com as características do processo. Em determinado momento a alimentação é realizada apenas com ROM ou com uma mistura de ROM + finos anteriormente estocados em pilhas (denominados reprocessados) ou rejeito fino das barragens, dependendo da ITM, com a obtenção dos produtos granulado, sinter feed, pellet feed e concentrado.

O projeto de expansão da MUSA contempla a instalação da Planta de Filtragem dos finos (Dry Stacking) inaugurada em dezembro de 2021 que substitui a utilização de barragens de rejeitos, e prevê a implantação do projeto Decanter em 2023 e para 2024/25, a construção da Planta de Compactos.

## 4.2. Escoamento da produção

Os produtos da Mineração Usiminas são distribuídos via transporte rodoviário até os terminais ferroviários localizados em Itaúna (Modal Terminal de Granéis Ltda.) e Sarzedo (Terminal de Cargas Sarzedo Ltda.), conforme mostra a figura 5.

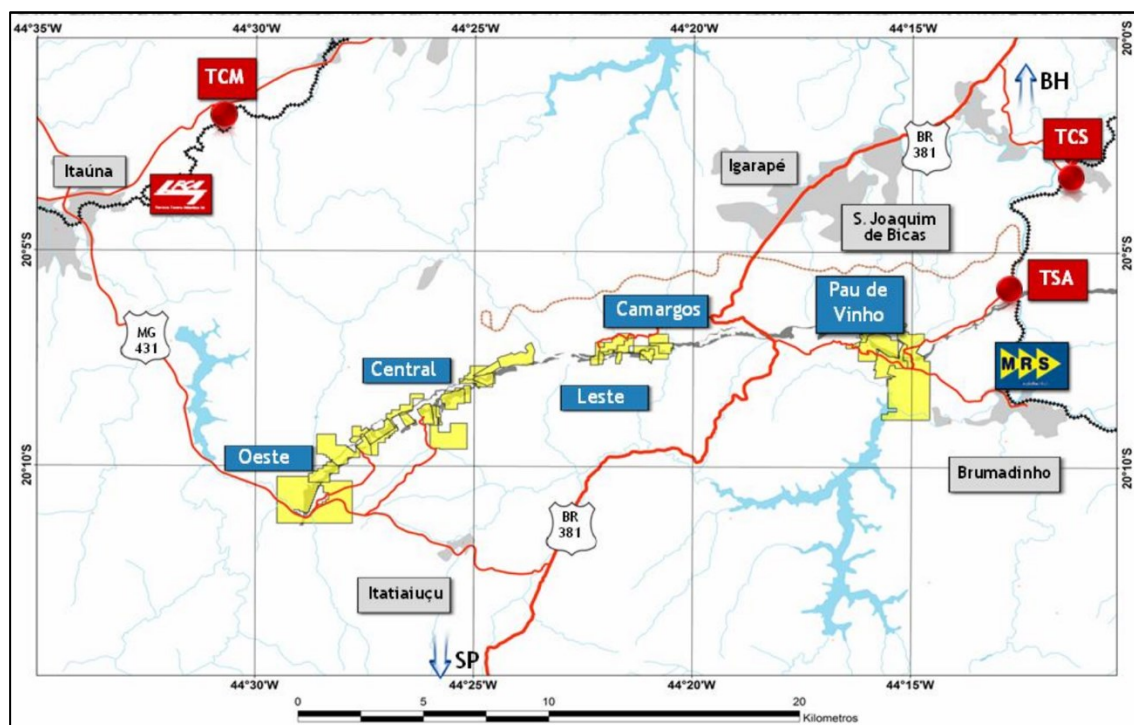


Figura 5 - Localização das minas, vias de acesso e terminais de carga.

Fonte: Mineração Usiminas (2013).

Para o Modal Terminal de Granéis Ltda., o trajeto é realizado pela rodovia MG-431 em direção a Itaúna e, nesta cidade, toma-se a MG-050 em direção a Mateus Leme, acessando logo o Modal. Deste terminal, os produtos seguem pela Ferrovia Centro-Atlântica (FCA) até a Usina de Ipatinga.

O Terminal de Cargas de Sarzedo - TCS é acessado também pela rodovia MG-431, porém no sentido de Itatiaiuçu até se encontrar com a BR-381 (Rodovia Federal Fernão Dias) e, então, segue-se por esta rodovia, no sentido de Belo Horizonte até uma rodovia secundária, e por esta, no sentido de Mário Campos, o terminal é acessado pouco antes do perímetro urbano desta cidade. Do TCS, seguem pelo sistema MRS Logística S.A, administradora da malha ferroviária, até a Usina de Cubatão ou para o porto.



### **4.3. Geologia Regional e Local**

A Serra de Itatiaiuçu, na qual a Mineração Usiminas detém suas reservas de minério de ferro, está localizada no prolongamento a oeste da Serra do Curral, na chamada Serra Azul.

De acordo com Alkmim (2009):

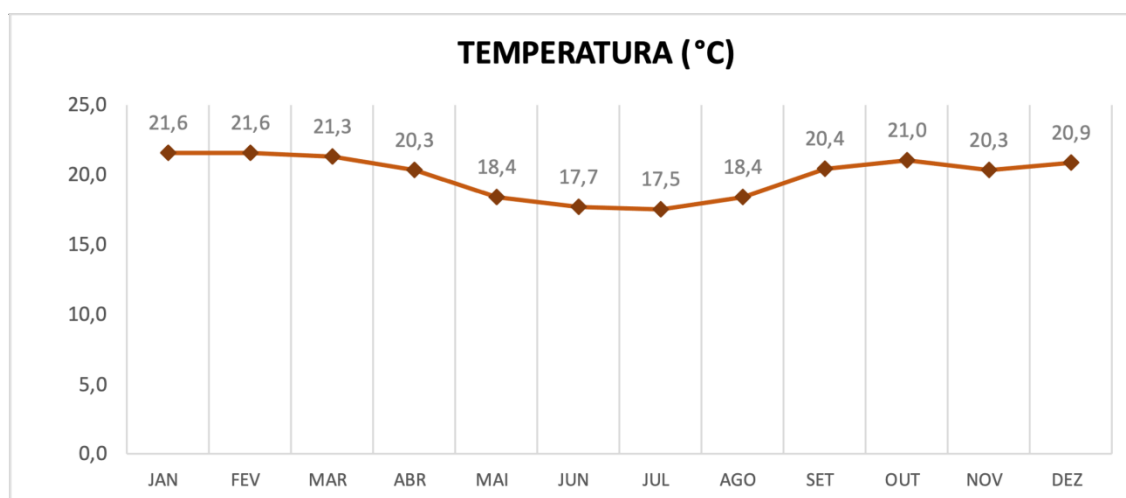
regionalmente a área está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero, que constitui uma sequência vulcano-sedimentar de idade Arqueana a Paleozóica. O Quadrilátero Ferrífero tem grande importância econômica em âmbito nacional e mundial pela ocorrência, não só de jazidas e reservas, mas também de minas que produzem, entre outros, minérios de Ferro, Ouro, Manganês, Magnesita, Asbesto e Esmeralda.

## 5. LEVANTAMENTO DE DADOS HIDROMETEREOLÓGICOS

Foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), os dados históricos de temperatura média mensal. No site, acessasse o Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP). Nele, seleciona-se a os dados a serem requeridos, a estação mais próxima da área de interesse, a região abrangida e o período que se deseja visualizar os dados (INMET, 2023).

A estação mais próxima da área de estudo é a de IBIRITE (ROLA MOÇA) código A555. A escolha do período corresponde ao início da operação da estação. Os dados recebidos correspondem a temperatura média mensal no período. O gráfico 01, apresenta a média histórica de cada mês, no período de maio de 2008 a dezembro de 2022.

Gráfico 1 - Temperatura média mensal da estação Ibirité/MG.



Fonte: Autor, adaptado de INMET (2023).

Para obter a série histórica da pluviometria da região, utilizou-se o portal online *HIDROWEB*, gerenciado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A Estação Hidrometeorológica código 2044026, denominada Fazenda Coqueiros, localizada no município de Itaúna, é a mais próxima da área de estudo e, dentre as opções, a que apresenta a maior disponibilidade temporal sem falhas. Essa verificação pode ser feita diretamente no portal, pesquisando a região em que se deseja as informações e, por meio das estações localizadas próximas a região, é possível medir a distância.

A série histórica da precipitação da estação, tem início em maio de 1974. A base de dados, contempla o total de chuva mensal correspondente ao período. A planilha pode ser observada o anexo 1.

Além da série histórica de dados da estação, foram utilizados também a série histórica de precipitação medida pelo pluviômetro instalado na área de estudo. Os dados obtidos por meio de um pluviômetro estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Pluviometria total mensal.

Pluviometria total (mm) - Pluviômetro MUSA													
Ano/mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total anual
2014	89,7	47,1	86,4	110,8	58,1	4,2	46,8	6,7	5,0	67,4	163,2	74,0	759,4
2015	49,8	191,8	382,0	26,1	37,6	13,6	0,0	0,0	111,7	35,5	250,2	183,0	1.281,3
2016	504,6	117,3	170,1	20,9	23,8	67,6	0,0	0,0	39,2	75,3	269,9	196,3	1.485,0
2017	109,7	143,5	164,6	11,2	26,8	25,6	0,0	0,0	32,4	176,5	265,9	259,6	1.215,8
2018	230,5	153,9	165,7	16,1	0,0	0,0	0,0	22,2	265,1	303,0	247,2	258,6	1.662,3
2019	82,4	383,6	110,1	135,4	75,4	11,0	0,0	0,0	73,8	76,5	213,3	312,7	1.474,2
2020	455,8	271,0	194,6	96,3	34,9	0,0	2,2	13,2	16,8	137,2	111,6	318,0	1.651,6
2021	153,5	399,5	86,5	7,0	19,7	0,0	0,0	18,3	5,6	350,7	177,5	355,5	1.573,8
2022	800,8	347,6	8,3	15,8	29,6	0,9	0,0	1,5	34,9	175,5	156,1	247,0	1.818,0

Fonte: Autor, adaptado de Mineração Usiminas (2023).

### 5.1. Balanço hídrico: método de Thornthwaite e Mather (1955)

Para a avaliação do clima da área de estudo, realizou-se uma comparação dos dados históricos disponíveis em fontes públicas. O primeiro levantamento foi realizado junto ao site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). O segundo, utilizou-se os dados de temperatura (°C) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e precipitação (mm) do portal online *HIDROWEB*.

Um dos métodos para o cálculo do balanço hídrico foi proposto por Charles Warren Thornthwaite (1948), sendo posteriormente modificado por John Russ Mather (1955). O método propõe estimar a evapotranspiração para uma condição padronizada de meses com 30 dias e 12 horas diárias de brilho solar. A equação de Thornthwaite proposta em 1948 é descrita na equação:

$$ETP = 16 \left( 10 \frac{T_i}{I} \right)^a \quad 0^\circ C \leq T_i \leq 26^\circ C$$

em que:

$T_i$  = temperatura média do ar.

O índice I é determinado pelo regime climático local e o expoente  $a$  é calculado em função de I, os quais estão indicados nas equações a seguir.

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 T_i)^{1,514} \quad T_i > 0^\circ C$$

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,7912 \cdot 10^{-2} I + 0,49239$$

A principal função desse método é servir de fundamento para uma classificação climática, sendo esse reconhecido e denominado de balanço hídrico climatológico (BHC). Esse tem sido empregado por possibilitar estimativa da variação do tempo em que a água presente no solo fica armazenada. Estimam também da evapotranspiração real, déficit e excedente hídrico (ROSSATO e TOMASELLA, 2005).

O método desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), permite determinar o balanço hídrico de um local, sem que haja a necessidade de realizar medias diretas das condições do solo (PEREIRA, 2005). De acordo com Rossato e Tomasella (2005, p.5) o balanço hídrico climatológico considera que a taxa de água que se perde por meio da evapotranspiração varia de forma linear com o armazenamento de água no solo.

A medida da capacidade de água disponível (CAD) representa a quantidade máxima de um solo no armazenamento de água. Para a realização do BHC, é necessário definir capacidade de água disponível (CAD) no solo, a total de precipitação (P) e a estimativa de evapotranspiração potencial (ETP) (PEREIRA, 2005).

Selecionando através do mapa do Brasil o estado de Minas Gerais, aparecem as cidades que possuem dados registrados. Dessa forma, o município de Ibirité (latitude: 20,01 S; longitude: 44,50 W e altitude: 814 m) é o que possui mais se aproxima da área de estudo, sendo esse considerado para a obtenção dos valores de temperatura e precipitação. A tabela 2 mostra os valores médios mensais obtidos no período de 1961 a 1990. Considere: T = temperatura; P =

precipitação; ETP = evapotranspiração potencial; ARM = armazenamento de água no solo; ETR = evapotranspiração real; DEF = deficiência hídrica e EXC = excedente hídrico.

Tabela 2 - Dados da estação pluviométrica de Ibité/MG.

Mês	T	P	ETP	ARM	ETR	DEF	EXC
	(°C)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Jan	22,6	290	104	100	104	0	186
Fev	22,9	167	98	100	98	0	69
Mar	22,5	170	101	100	101	0	69
Abr	22,4	68	92	79	89	3	0
Mai	18,0	32	55	62	48	7	0
Jun	16,9	17	45	47	32	13	0
Jul	16,5	15	44	36	27	17	0
Ago	18,4	11	57	22	24	33	0
Set	20,5	44	74	17	50	24	0
Out	21,7	136	91	62	91	0	0
Nov	22,0	227	95	100	95	0	94
Dez	22,1	302	102	100	102	0	200
<b>TOTAIS</b>	<b>246,5</b>	<b>1.479</b>	<b>958</b>	<b>825</b>	<b>862</b>	<b>96</b>	<b>617</b>
<b>MÉDIAS</b>	<b>20,5</b>	<b>123</b>	<b>80</b>	<b>69</b>	<b>72</b>	<b>8</b>	<b>51</b>

Fonte: Autor, adaptado de EMBRAPA (2023).

Como citado anteriormente, além do balanço hídrico climatológico disponível no site da Embrapa (2023), foi realizado o balanço utilizando a planilha de Balanço Hídrico Normal Mensal (BHnorm), desenvolvida por Rolim *et al.*, (1998). Para o cálculo eletrônico, é necessário imputar os valores de temperatura (°C), precipitação (mm), a latitude e a capacidade de água disponível (CAD) da área de estudo.

Uma vez imputado dos dados, a planilha retorna com a evapotranspiração potencial (ETP), a diferença da precipitação com a evapotranspiração potencial (P-ETP), armazenamento de água no solo (ARM), evapotranspiração real (ETR), déficit hídrico (DEF), excedente hídrico (EXC), além dos gráficos que facilitam a visualização dos resultados.

A planilha permite o input de dados anuais (janeiro a dezembro). A CAD adotada para toda a área de estudo foi de 100 mm, valor esse tabelado para todo o território nacional devido a sua aplicabilidade em uma variedade de culturas e diferentes aplicações hidrológicas (D'ANGIOLELLA e SILVA, 2014). Utilizando as informações de temperatura média (°C) e precipitação total

mensal (mm), disponível nas plataformas do INMET e *HIDROWEB* respectivamente (conforme mencionado anteriormente), define-se a referência para cálculo. A tabela 3 mostra a planilha BHnorm, onde os dados inseridos estão destacados na cor amarela.

Tabela 3 - BHnorm - entrada dos dados.

Meses	Nº de dias	T (°C)	P (mm)	N horas	I	a	ETP Thornthwaite (1948)
Jan	30	21,6	275,2	13,35	9,16	2,14	97,43
Fev	28	21,6	228,4	13,01	9,16	2,14	88,67
Mar	31	21,3	152	12,48	8,97	2,14	91,37
Abr	30	20,3	48,8	11,8	8,34	2,14	75,42
Mai	31	18,4	34	11,18	7,19	2,14	59,8
Jun	30	17,7	13,7	10,73	6,78	2,14	51,1
Jul	31	17,5	5,4	10,64	6,66	2,14	51,13
Ago	31	18,4	6,9	10,96	7,19	2,14	58,64
Set	30	20,4	64,9	11,55	8,41	2,14	74,6
Out	31	21	155,3	12,21	8,78	2,14	86,71
Nov	30	20,3	206,1	12,85	8,34	2,14	82,12
Dez	31	20,9	245	13,28	8,72	2,14	93,33

Fonte: Autor, adaptado de Rolim *et al.* (2023).

Na tabela 4 pode-se observar os valores obtidos na planilha BHnorm. Dentre os resultados, destaca-se o excedente hídrico (EXC), que indica a parcela de água remanescente que não infiltrou no solo na área de estudo, e que servirá de base para os demais cálculos de reaproveitamento de água de chuva.

Tabela 4 - Bhnorm – Resultados.

Meses	Nº de dias	T (°C)	P (mm)	N horas	I	a	ETP Thornthwaite (1948)	P-ETP (mm)	NEG-AC	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Jan	30	21,6	275,2	13,3	9,2	2,1	97,43	177,8	0	100	0	97,4	0	177,8
Fev	28	21,6	228,4	13	9,2	2,1	88,67	139,7	0	100	0	88,7	0	139,7
Mar	31	21,3	152	12,5	9	2,1	91,37	60,6	0	100	0	91,4	0	60,6
Abr	30	20,3	48,8	11,8	8,3	2,1	75,42	-26,6	-26,6	76,63	-23,37	72,2	3,2	0
Mai	31	18,4	34	11,2	7,2	2,1	59,8	-25,8	-52,4	59,21	-17,43	51,4	8,4	0
Jun	30	17,7	13,7	10,7	6,8	2,1	51,1	-37,4	-89,8	40,73	-18,48	32,2	18,9	0
Jul	31	17,5	5,4	10,6	6,7	2,1	51,13	-45,7	-135,5	25,78	-14,95	20,3	30,8	0
Ago	31	18,4	6,9	11	7,2	2,1	58,64	-51,7	-187,3	15,37	-10,41	17,3	41,3	0
Set	30	20,4	64,9	11,6	8,4	2,1	74,6	-9,7	-197	13,95	-1,42	66,3	8,3	0
Out	31	21	155,3	12,2	8,8	2,1	86,71	68,6	-19,2	82,53	68,59	86,7	0	0
Nov	30	20,3	206,1	12,8	8,3	2,1	82,12	124	0	100	17,47	82,1	0	106,5
Dez	31	20,9	245	13,3	8,7	2,1	93,33	151,7	0	100	0	93,3	0	151,7
<b>TOTAIS</b>		<b>239,4</b>	<b>1435,7</b>	<b>144</b>	<b>97,7</b>	<b>25,7</b>	<b>910,32</b>	<b>525,4</b>		<b>814</b>	<b>0</b>	<b>799,4</b>	<b>110,9</b>	<b>636,3</b>
<b>MÉDIAS</b>		<b>20</b>	<b>119,6</b>	<b>12</b>	<b>8,1</b>	<b>2,1</b>	<b>75,86</b>	<b>43,8</b>		<b>67,9</b>		<b>66,6</b>	<b>9,2</b>	<b>53</b>

Fonte: Autor, adaptado de Rolim *et al.* (2023).

Através da Tabela 4, é possível identificar que o período chuvoso da área de estudo está compreendido entre os meses de outubro e abril, que é responsável pelo excedente hídrico (EXC). O valor de EXC de 636,3 mm/ano, corresponde a aproximadamente 45% do total anual precipitado.

## 5.2. Uso e ocupação

As bacias de contribuição dos reservatórios foram delimitadas sob a topografia e ortofotos disponibilizadas pela empresa. O levantamento topográfico disponibilizado foi transformado em Modelo Digital de Elevação através do software QGIS. Delimitada pelo divisor de águas, a área da bacia de contribuição do reservatório. Através da Figura 6 pode-se observar que o somatório das áreas classificadas como Campo e Mata, ocupam respectivamente 28,3 e 11,1% da área total (2,52 km<sup>2</sup>). Nota-se também que área de Campo, ocupa a maior parcela da área total, valor esse que supera a área ocupada com rejeito (26,5%).

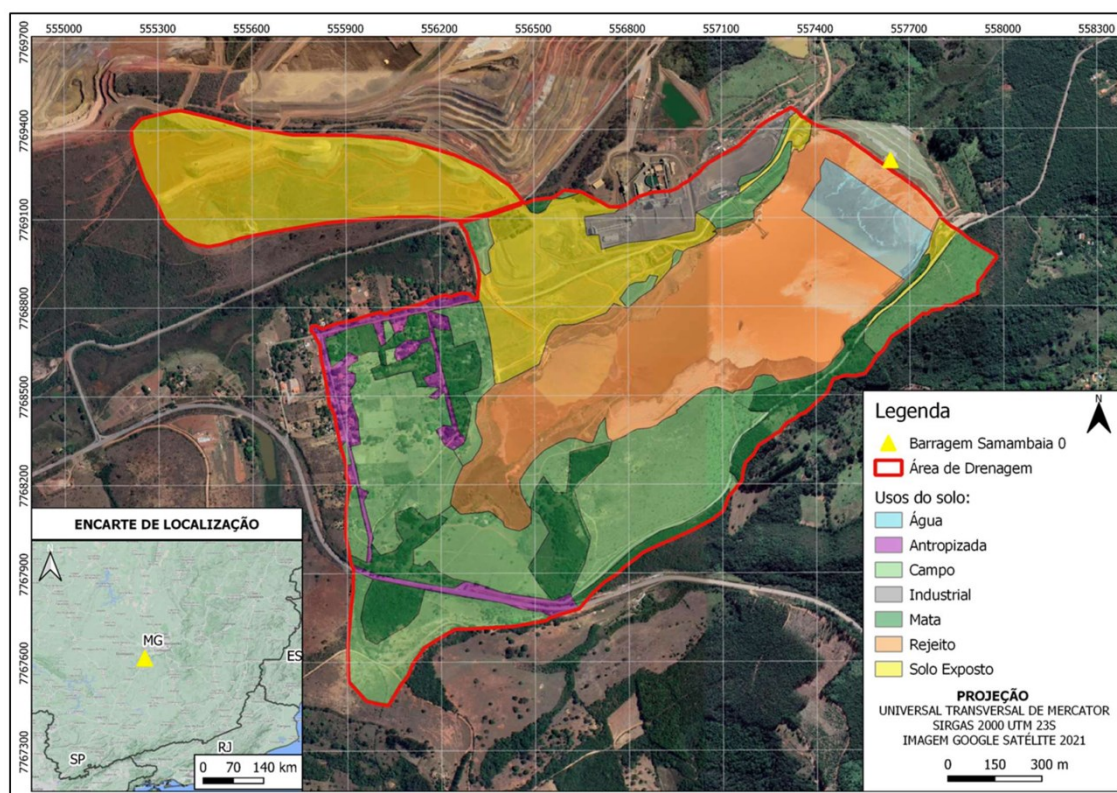


Figura 6 - Uso e ocupação do solo na bacia de contribuição do reservatório.

Fonte: HidroBR, 2022.



### **5.3. Estudos hidrológicos**

A avaliação dos dados hidrológicos foi realizada considerando todas as bacias de contribuição dos reservatórios. Por se tratar de uma mesma região, adotou-se os dados de precipitação da estação locada na mineração. Como esse trabalho monográfico conta com os dados de produção, adotou-se os valores totais mensais precipitados no período de 2014 a 2022.

#### **5.3.1. Condutividade Hidráulica**

Para a estimativa da condutividade hidráulica dos solos, utilizou-se os estudos de Beato *et al.* (2005), Mourão (2007) e Pessoa *et al.* (2018). Foi utilizado ainda conhecimentos dos profissionais da mineração a respeito das litologias da área. A proposta foi feita com base nas diferentes zonas de recarga levando em consideração as características inerentes de cada unidade hidroestratigráficas, bem como o solo da região de estudo.

No estudo de Mourão (2007), a estimativa de recarga foi realizada por meio de cinco métodos (quadro 1). Os resultados mostram que a Formação Cauê possui valores de taxa de recarga superiores a 38% da precipitação anual.

Quadro 1 - Metodologia de estimativa de recarga.

Método	Parâmetro(s) estimado (s)	Dados usados	Número de dados	Programa computacional ou procedimento usado
Flutuação do nível d'água	Recarga	Séries históricas de monitoramento de nível d'água em piezômetros e indicadores de nível; Porosidade eficaz calculada pelo método da separação das hidrógrafas (1)	57 PZs ou INAs	Programa MRC – Master Recession Curve que analisa a curva de recessão da hidrógrafa de nível d'água. Desenvolvido por Heppner e Nimmo (2005).
Equação de Rorabaugh	Recarga	Séries históricas de monitoramento de vazões; Índice de recessão calculado pelos métodos de separação das hidrógrafas (1 e 2).	56 bacias hidrológicas/hidrogeológicas	Programa RORA que estima a recarga pelo método de deslocamento da curva de recessão a partir dos registros de vazão. Desenvolvido por Rutledge (1998) e modificado por Rutledge (2007).
<i>Green-Ampt</i>	Recarga (potencial)	Condutividade hidráulica saturada do solo; Pressão de sucção do solo; Índice de saturação inicial do solo; Dados pluviométricos; Evapotranspiração	Unidades de cálculo: 56 bacias hidrológicas/hidrogeológicas e 57 PZs ou INAs	Técnica desenvolvida por Green-Ampt (1911, <i>apud</i> CHOW <i>et al.</i> , 1988) que baseia-se na equação de Darcy para cálculo da infiltração no solo.
Balanço hídrico e a fração do escoamento de base	Recarga (potencial)	Fração do escoamento de base no escoamento total; precipitação e evapotranspiração médias anuais	56 bacias hidrológicas/hidrogeológicas	Técnica aplicada por Szilagyi <i>et al.</i> (2003) que se baseia no balanço hídrico adaptado para situações em que a área da bacia hidrogeológica é desconhecida.
Balanço Hídrico	Recarga (potencial)	Dados climatológicos, atributos do meio físico, cobertura vegetal e uso do solo	12 mapas em formato digital raster e 3 planilhas com tabulações a respeito dos dados relativos aos mapas	Programa WETSPASS que efetua o balanço hídrico a partir de diversos atributos do meio, empregando técnica de integração em um Sistema de Informações Geográficas. Desenvolvido por Batelaan e De Smedt (2001).

Fonte: Autor, adaptado de Mourão (2007).

### 5.3.2. Precipitação

O monitoramento dos índices de pluviometria foi realizado com base nos dados da estação pluviométrica 2044026, denominada Fazenda Coqueiros. Adicionalmente, foram considerados os dados de pluviometria registrados pela estação instalada próxima da área de estudo.

A análise de correlação entre os dados medidos mensalmente por estes dois equipamentos (figura 7) se apresentou boa ( $R^2 = 0,9785$ ).

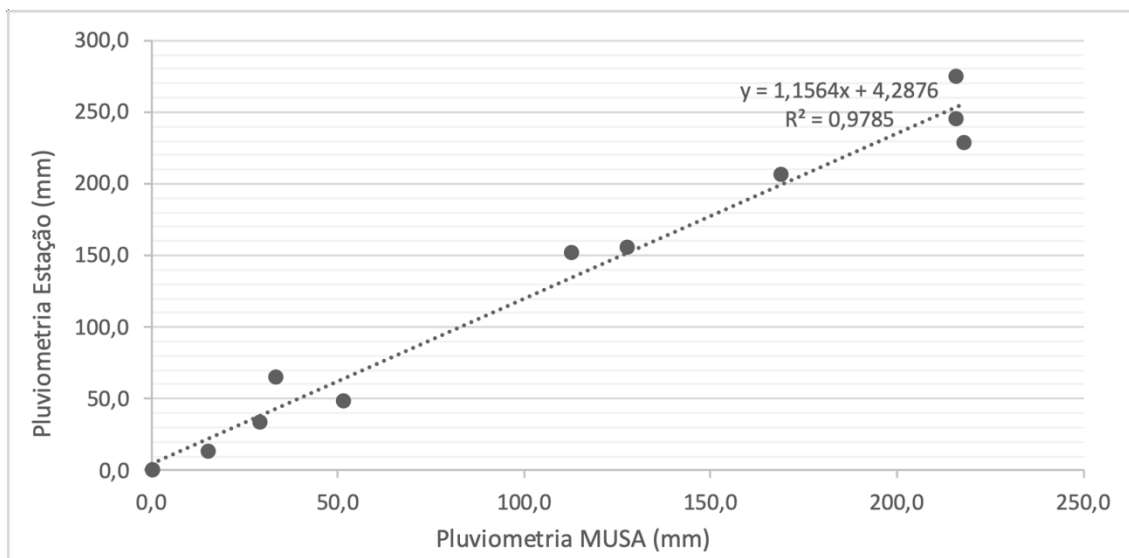


Figura 7 - Correlação entre a pluviosidade fornecida pela Estação e o pluviômetro da MUSA.

Fonte: Autor, 2023.

A partir da altura pluviométrica mensal média, observada nos dados dos dois equipamentos, é possível observar o regime de chuvas. Através do extrato do balanço hídrico climatológico, fica evidente a ocorrência de chuvas entre os meses de outubro a abril, conforme indica a figura 8.

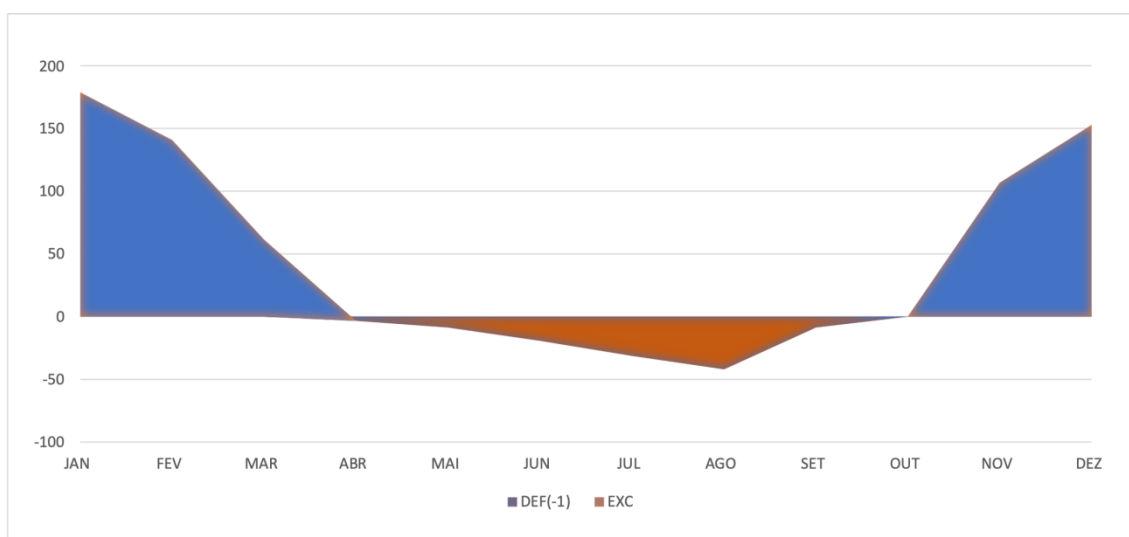


Figura 8 - Extrato balanço hídrico mensal.

Fonte: Autor, 2023.

### 5.3.3. Escoamento superficial

O Technical Release 55 (TR-55) incorporou no estudo apresentado os resultados do *U. S. Soil Conservation Service* (SCS) de janeiro de 1975. Dessa forma, são três as considerações a serem feitas a fim de encontrar o número da curva de *runoff* CN do SCS, também chamado de coeficiente de escoamento superficial. São elas: as características do solo; os estudos regionais e capacidade mínima de infiltração no solo.

No entanto, é importante salientar que ocorre escoamento superficial, quando há precipitação. Assim, a lâmina de água escoada só existe nos meses chuvosos, ou seja, de outubro a abril levando em consideração o extrato do balanço hídrico visto na figura 8.

A área de drenagem da bacia de contribuição é de 2,52 km<sup>2</sup> e a declividade é de 1,26%. Conhecendo-se o uso e ocupação do solo, bem como a porcentagem ocupada em relação e área total, é possível determinar o CN ponderado. O quadro 2 apresenta os dados utilizados para o cálculo do CN.

Quadro 2 - Uso e ocupação do solo.

CN II		USO E OCUPAÇÃO DO SOLO - ÁREA (%)
Área antropizada	85	7,35
Rejeito	82	26,49
Mata	60	11,13
Campo	63	28,24
Desmatada	66	23,66
Lago	100	3,13
CN II TOTAL		<b>70,3</b>

Fonte: HidroBR, 2022.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram realizadas avaliações dos dados de consumo de água nova, recirculação de água e produção de minério na Mineração Usiminas (apenas mina Oeste), no período de 2014 a 2022. A seguir são apresentados os resultados desse estudo.

Os gráficos foram gerados para facilitar a visualização do comportamento e realizar as interpretações pertinentes. Na figura 9, nos períodos destacados com círculos na cor laranja, fica evidente a redução do consumo em períodos chuvosos, independente da variação na produção e no volume de água recirculada.

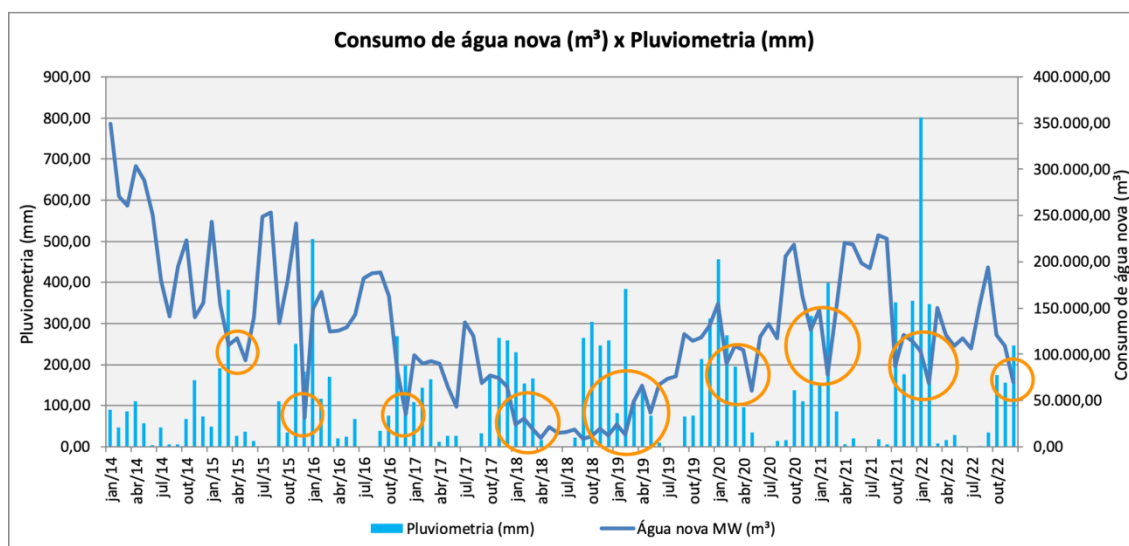


Figura 9 - Consumo de água nova x pluviometria, destacando os mínimos no consumo de água nova.

Fonte: Autor, 2023.

Os dados de produção, volume de água recirculada e volume de água nova apresentaram uma boa relação (figura 10).

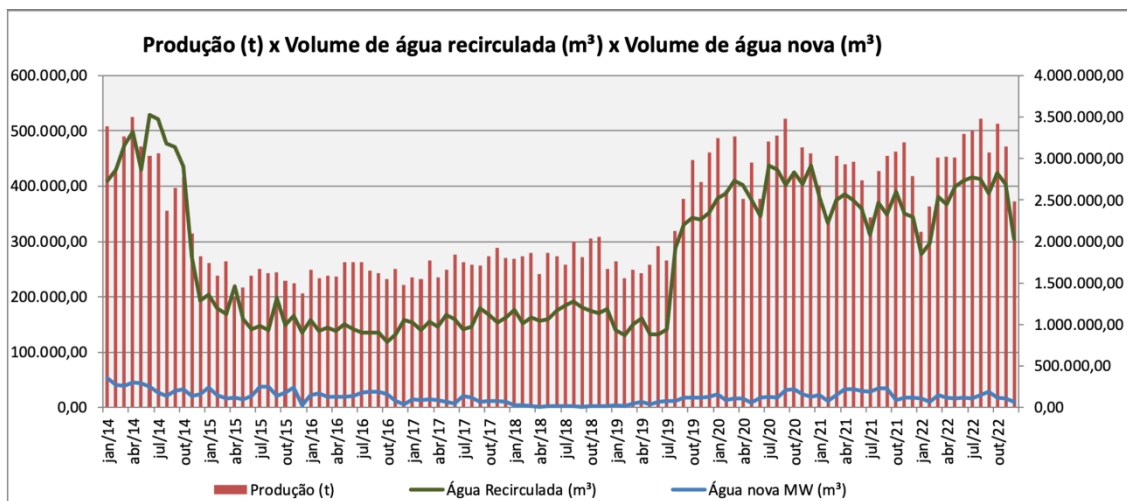


Figura 10 - Produção x volume de água reciclada x volume de água nova.

Fonte: Autor, 2023.

Comparando o índice de volume de água por tonelada produzida ( $\text{m}^3/\text{t}$ ) e o percentual de água nova (figura 11), nota-se uma estabilização no consumo de água nova (%) a partir de 2018, o que sugere um provável acerto da operação da ITM com os minérios alimentados.

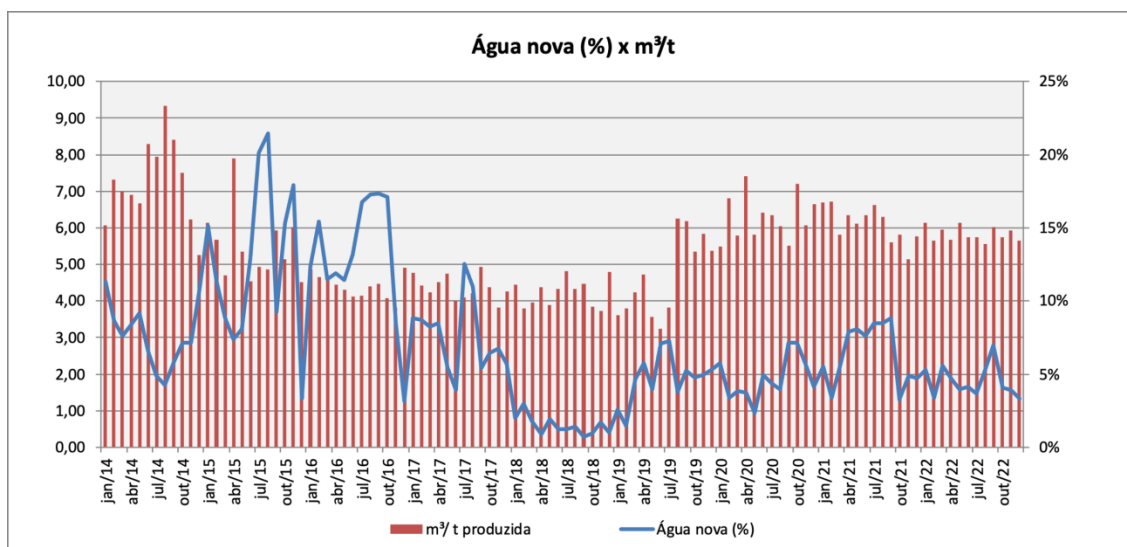


Figura 11 - Consumo de água por tonelada produzida x consumo de água nova.

Fonte: Autor, 2023.

Os dados brutos utilizados nesse estudo estão apresentados no anexo 2. Para a análise, foi considerado como constante o valor de  $5,4 \text{ m}^3/\text{t}$  (volume de água necessário para produzir uma tonelada de produto). Tal valor corresponde a média de todo período analisado.

A análise foi feita considerando o consumo de água nova em três cenários: consumo médio nos meses que tiveram registros de chuvas e valores mínimos de consumo de água nova, consumo em todo período analisado e consumo médio em meses que o total de chuvas é igual ou maior que 100 mm, comparado aos meses com ocorrências de chuva abaixo de 100 mm.

Nos meses do período chuvoso (outubro a abril) que tiveram os menores consumos (abaixo de 88.000 m<sup>3</sup>), o consumo médio de água nova gira em torno de 3% do total necessário para o beneficiamento de minério.

Em todo o período analisado, o consumo médio de água nova no beneficiamento de minério é de 6,5% (aproximadamente 125.000 m<sup>3</sup>/mês). Sendo assim, é possível compreender que a recirculação de água está na ordem de 93% (aproximadamente 1,8 milhão de m<sup>3</sup>/mês).

Comparando-se a média no consumo de água nova nos meses com registro total de chuvas superior a 100 mm (linhas em destaque na cor azul no anexo 2) com os meses em que o total de chuvas ficou abaixo de 100 mm, é possível inferir que a redução no consumo está na ordem de 30%, valor esse que evidencia a substituição de água nova por água de chuva pelo beneficiamento.

## 7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

É possível perceber na avaliação dos dados brutos de consumo de água por tonelada produzida, que a Mineração Usiminas mostra forte engajamento no que diz respeito a sustentabilidade ambiental. A empresa segue mantendo a taxa de recirculação de água consumida pelo beneficiamento de minério próxima de 93%.

Na metodologia utilizada, verificou-se que além do benefício da não utilização da água nova, a reutilização do recurso no processo, evidencia a eficiência da gestão de sua qualidade e disponibilidade.

Os resultados obtidos nesse estudo ressaltam a importância no monitoramento desse insumo, de modo que seja possível aumentar a taxa de recirculação, frente a qualquer cenário de produção e pluviometria.

A metodologia para o entendimento das perdas no balanço hídrico, possibilitou uma avaliação das condições naturais da área de estudo, permitindo a compreensão da parcela do recurso disponível para recirculação.

Propõe-se a quantificação das parcelas do balanço hídrico por métodos diretos, através de ensaios de campo e de instrumentos, visando aumentar a eficiência de uso do recurso e ainda entender a dinâmica de recarga hídrica nas minas da MUSA.

Desta forma, é de fundamental importância que a empresa mantenha a prática sustentável de otimização do recurso hídrico, com a maximização do reuso também em outras atividades, de modo a minimizar o consumo do recurso hídrico bem como a redução de descartes.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (Brasil). Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019.

ÁGUA NO PROCESSAMENTO MINERAL. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios, 5ª Edição – Capítulo 18 – pág. 797-827. Editores: Adão B. da Luz, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina A. França. Rio de Janeiro Agosto/2010

AMORIM NETO, M. S. A. Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather (1955). Comunicado Técnico Embrapa, n. 34, p. 1-89, 1989.

Beato D. A. C., Monsorens A. L. M., Bertachinni A. C. 2005. Hidrogeologia. In: Projeto Apa Sul RMBH Estudos do meio físico: área de proteção ambiental sul da região metropolitana de Belo Horizonte. Belo Horizonte, CPRM/SEMAD, 101p.

BRASIL. Ministério de Desenvolvimento Regional. Água no mundo, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/ptbr/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/cooperacao-internacional/agua-no-mundo>> Acesso em: 23 abr. 2023.

BRASIL. HidroWeb. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), 2023. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>> Acesso em: 23 abr. 2023.

LUZ, Adão Benvindo da; SAMPAIO, João Alves; FRANÇA, Sílvia Cristina Alves. Tratamento de Minérios. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 896 p.

SILVA, F.A.N.G Processo de Flotação por Ar Dissolvido no Tratamento de Efluente da Indústria Mineral. Artigo 2004 JIC, p. 1-2.

CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. Infiltração. In: HIDROLOGIA. [S. l.: s. n.], Agosto 2006. cap. 5, p. 60-80. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>> Acesso em: 23 abr. 2023.

D'ANGIOLELLA, G.; SILVA, J. F. Balanço hídrico climatológico do Brasil. Disponível em: < <https://cbmet.com/>> . Acesso em: 25 abr. 2023.

DIAS, J. C. S. Avaliação da dinâmica de infiltração e caracterização das cangas de Capão Xavier, Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. 2021. 131 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em: <<https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/13351#:~:text=Cristina%20dos%20Santos,-,Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20din%C3%A2mica%20de%20infiltra%C3>

[%A7%C3%A3o%20e%20caracteriza%C3%A7%C3%A3o%20das%20cangas%20de,Preto%2C%20Ouro%20Preto%2C%202021.>](#) Acesso em: 25 abr. 2023.

FEITOSA, F. A. C. et al. Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações. Rio de Janeiro: CPRM, 2008.

FILL, H.D.; SANTOS, I.; FERNANDES, C.; TOCZECK, A.; OLIVEIRA, M.F. Balanço hídrico da bacia do rio Barigüi-PR. Raega, v. 9, nov. 2005. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3447/2724> > Acesso em: 23 abr. 2023.

HIDROBR, 2022. Estudo de ruptura hipotética (Dam Break) Barragem Samambaia 0. Relatório interno Mineração Usiminas.

HUFFMAN, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): QuasiGlobal, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. Journal of Hydrometeorology, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 38–55, 2007. Disponível em: <[https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/8/1/jhm560\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/hydr/8/1/jhm560_1.xml)> Acesso em: 23 abr. 2023.

INMET.Banco de Dados Meteorológicos do INMET: BDMEP. [S. l.], 2022. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/> >. Acesso em: 25 abr. 2023.

MARTINS, F. B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D. F.; REBIOTA, M. S. Classificação Climática de Koppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba-PR, Ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais – 2018. Disponível em:<<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/download/60896/36669> > Acesso em: 25 abr. 2023.

MINERAÇÃO USIMINAS. Institucional Mineração Usiminas S. A. 2013.

MINERAÇÃO USIMINAS. RESULTADOS 1T21. Disponível em:<<https://ri.usiminas.com/resultados-e-divulgacoes/central-de-resultados/>>. Acesso em: 23 abr. 2023.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. Bragantia, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005. Disponível em: <[Pessoa, P. F. P. ; Fernandes, R. A. ; Kimura, G. ; Atman, Dora ; Gonçalves, L. G. M. ; ROSA, E. S. ; Lucas, R. S. . Aplicação do Método MIHA para a Avaliação de Reservas Renováveis de Águas Subterrâneas: Estudo de Caso da Bacia do Rio Itabirito/MG. In: XX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2018, Campinas - SP. Anais do XX Congresso Brasileiro de](https://www.scielo.br/j/brag/a/x8tcTGb4PdPsgHWjBNkw6rs/?lang=pt#:~:text=O%20balan%C3%A7o%20h%C3%ADdrico%20climatol%C3%B3gico%20(BHC,diretas%20das%20condi%C3%A7%C3%B5es%20do%20solo.></a> Acesso em: 25 abr. 2023.</p>
</div>
<div data-bbox=)

Águas Subterrâneas, 2018. Disponível em: <  
<https://www.abas.org/xxcabas/anais/11240.pdf> > Acesso em: 25 abr. 2023.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6. n.1, p.133-137, 1998. Disponível em: <  
[http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos\\_sentelhas\\_1998/1998\\_RBAgro\\_6\(1\)\\_133-137\\_PlanilhasBH.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/agmfacil/artigos/artigos_sentelhas_1998/1998_RBAgro_6(1)_133-137_PlanilhasBH.pdf)> Acesso em: 25 abr. 2023.

ROLIM, G. S.; CAMARGO, M. B. P.; LANIA, D. G.; MORAES, J. F. L. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. Bragantia, v. 66, n. 4, p. 711- 720, 2007. Disponível em: <  
<https://www.scielo.br/j/brag/a/NpCWHvyYzzHDFTp6LVyGg5g/#>> Acesso em: 25 abr. 2023.

SENTELHAS,P.C.;PEREIRA,A.R.;MARIN,F.R.;ANGELOCCI,L.R.;ALFONSI,R.R.;CARAMORI,P.H.;SWART,S.Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil- 500 balanços hídricos de localidades brasileiras. Piracicaba: ESALQ, 1999. 1 CD-ROM.

SENTELHAS, Paulo Cesar; ANGELOCCI, Luiz Roberto. Balanço Hídrico: Climatológico Normal e Sequencial, de Cultura e para Manejo da Irrigação. São Paulo, 2012. Disponível em:  
[http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula9\\_2012.pdf](http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/Aula9_2012.pdf) Acesso em: 21 abr. 2023.

SHIKLOMANOV, I.A. (ed.). World water resources: a new appraisal and assessment for the 21st century. State Hydrological Institute, St. Petersburg and UNESCO, Paris, 1998. Disponível em: <  
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000112671>> Acesso em: 21 abr. 2023.

THORNTHWAITE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. Geographical Review, Estados Unidos, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1).

TOMASELLA, Javier; ROSSATO, Luciana. BALANÇO HÍDRICO: Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. Disponível em: <  
[http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/11.08.13.25/doc/09\\_Balan%EDo\\_h%EDdrico.pdf](http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1915/2005/11.08.13.25/doc/09_Balan%EDo_h%EDdrico.pdf)> Acesso em: 21 abr. 2023.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: ABRH, 1993.

TUCCI, C.E.M. 1995. Drenagem Urbana, ABRH, UFRS, Rio Grande do Sul

USGS. O ciclo da água. Disponível em: <  
<https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-da-gua-water-cycle-portuguese> >  
Acesso em: 24 abr. 2023.

UTFPR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC. Apostila de hidrologia aplicada. Curitiba: UTFPR, 2010.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e climatologia. INMET, Brasília. 2006. 463p. Disponível em: <  
[https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)> Acesso em: 24 abr. 2023.

WAHNFRIED, I.; HIRATA, R. Comparação de Métodos de Estimativa de Recarga de Aquíferos em Uma Planície Aluvionar na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (São Paulo). Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 15–25, 2005. Disponível em: <  
<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=28&SUMARIO=459> > Acesso em: 21 abr. 2023.

## ANEXO

## ANEXO 1 - Pluviometria total estação hidrometeorológica Fazenda do Coqueiros.

Pluviometria total (mm) - Estação 2044026													
Ano/mês	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Total anual
1974					10,4	38,4	0	4,6	0	146,2	50,1	327,6	577,3
1975	150	174,5	66,8	86,2	57,5	15,2	43,4	0	12,7	127,9	383,9	184,4	1302,5
1976	327,6	192,0	152,7	14,8	47,7	2,4	77,6	37,6	195,2	132,5	194,6	298,6	1673,36
1977	282	11,2	95,6	56	12	3,4	0,5	0	52,9	55,1	329,7	168,2	1066,6
1978	298,4	260,2	106,2	181	79,1	0	52,4	5,5	9,8	130,9	259,2	160,1	1542,8
1979	500,4	415,1	128,3	42	101,8	0	27,4	26,6	30,8	112,3	226,3	362,2	1973,2
1980	407,3	99,2	79,8	196,9	1,4	68,6	0	0	36,7	30,5	247	317,4	1484,8
1981	311,3	41,6	159,3	44,6	14,2	47,6	0	25,6	0	158,1	475,1	247,1	1524,5
1982	343,9	62,4	347,5	62,1	38	7,5	6,8	0	21,4	158	84,2	361,9	1493,7
1983	526,3	269,2	281,5	207	92,5	19,5	33	0,7	63	226	360,5	410,5	2489,7
1984	112,4	37,1	169,6	92,6	22	0	3,1	51	154,2	107,5	205,6	375,4	1330,5
1985	555,4	134,8	328,6	19	23	5	0	2	64,4	51,2	194,6	504,6	1882,6
1986	265,2	222,6	123,4	31,1	26,8	11,2	22,8	50	6,8	7,6	98,8	691,4	1557,7
1987	184,6	94	141,4	84,8	19,8	37,2	5,8	6,4	85,4	63	176,8	493,8	1393
1988	243	246,4	138	79,8	32,6	7,2	0	0	48,2	110,4	110,2	268,6	1284,4
1989	120,6	331,8	201	5,2	5,2	57,8	30	23,2	51,8	108,8	196,1	484,2	1615,7
1990	144,1	131	102,6	73,6	55,5	0	23,1	48,6	30,8	29,8	107	190,7	936,8
1991	658,2	142	222,6	152	8,8	0	2	0	45	97,3	83,4	242	1653,3
1992	411,7	554,5	270,5	64,8	124,1	46,7	0	0,2	11,6	144,8	86,5	191,9	1907,3
1993	165,2	266,3	126,2	77,4	7,2	61,5	0	8,6	71,5	62,4	119	246,8	1212,1
1994	523,8	18,3	292,6	37,5	89,6	8,6	2,2	0	4,2	36,8	135,2	479,2	1628
1995	156	287,3	166,8	101,7	67,4	5,2	0	0	60,7	151,2	231,3	309,3	1536,9
1996	198,4	147,7	138,3	21,8	35,6	3,5	50,8	13,7	142,7	73,2	354	428	1607,7
1997	416,5	116,5	121,5	86,8	30,2	54,3	1,9	0	122	127,2	134,4	259,4	1470,7
1998	223,3	251,5	3,9	34,4	75,3	2,4	0	19,8	16	109,2	148,5	284,1	1168,4
1999	177,6	93,1	295,9	8,1	5,8	11,6	0,9	0	17,3	49,7	274	392,5	1326,5
2000	393	148,7	152	33,3	6,1	0	15,9	20,5	67,6	39,5	264,3	249,1	1390
2001	196,1	17,8	87,3	5,7	29,5	0	11,7	83,4	48,3	122,1	224	336,4	1162,3
2002	402,95	188,7	64,4	2,2	13,3	0	25,3	2	78	94,7	185,3	352,3	1409,15
2003	609,8	24,3	65,35	8,5	26,6	0	0	17,3	12	19,2	198,7	264	1245,75
2004	521,1	274,9	66,3	114,9	40,8	5,7	41,9	0	2,3	61,7	134,9	311,1	1575,6
2005	432,4	173,3	219,3	28,1	102,6	13,5	0	0	82,1	22,1	261,7	166	1501,1
2006	182,3	132,3	239,2	52,2	22,3	14,5	3,4	9,4	88,6	139,4	298,4	267,7	1449,7
2007	411,8	55,3	67,1	56,5	24	0	17,6	0	0	80,5	88,1	120,2	921,1
2008	274,5	301,3	179,4	98,6	1,2	2,1	0	20,3	83,6	97,6	130,2	515,5	1704,3
2009	294,1	202,6	226,8	23,9	12,3	55,4	0	22,7	47,1	225,4	110,4	442,9	1663,6
2010	85,7	42	232,4	31,2	21,8	0	0,3	0	48,7	174,4	283,3	141,4	1061,2
2011	236,3	68	237,4	104,2	1	11,7	0	0	0,9	123	316,7	513,3	1612,5
2012	266,9	71,1	74,9	46,7	43	40,6	0	0	32,9	12,1	229,3	74,3	891,8
2013	274,4	107,7	145,4	102,8	52,8	0	11,3	5	18,05	40,75	171,2	135,2	1064,6
2014	48,8	31,3	27	61,6	21,5	3,5	39,1	5,7	3,2	69,4	194,6	103	608,7
2015	46,7	164,2	243	10,1	25,9	11,7	0	0	89,8	52,4	143,4	70,8	858
2016	560,4	208	55,2	21	12,2	69,2	0	1,9	41,7	54,1	225,3	183	1432
2017	69,8	158,7	98,6	8,3	19	23,1	0	0	6,8	160	123	269,7	937
2018	199,7	134,7	119,5	17,5	3,6	0	0	26,2	47,8	250,2	252,4	194,1	1245,7
2019	71,4	405,8	93,7	108	80,2	11	0,3	0,9	56,2	66,3	131,4	293,5	1318,7
2020	91,85	310,1	260,9	145,6	58,2	17,6	1,2	0	8,4	116,9	97,6	261,3	1369,65
2021	112,3	211,2	108,7	0,9	17,8	0,2	0	19,2	12,4	225,1	220,5	312	1240,3
2022	740,6	336,3	7,3	89,6	20,8	0	0	0,8	31,2	151,3	131,2	254	1763,1

Fonte: Autor, adaptado de *HIDROWEB* (2023).

**ANEXO 2 - Tabela base com os dados brutos de Produção (t), Água nova (m<sup>3</sup>) e Água recirculada (m<sup>3</sup>) (continua).**

	Água nova MW (m <sup>3</sup> )	Água nova MW (%)	Água Recirculada MW (m <sup>3</sup> )	Água Total MW (m <sup>3</sup> )	Produção MW (t)	m <sup>3</sup> de água / t produzida	Pluviometria MW
jan/14	348.995,0	11%	2.734.285,4	3.083.280,4	508.389,0	6,1	89,7
fev/14	270.988,5	9%	2.867.027,3	3.138.015,8	429.413,0	7,3	47,1
mar/14	260.322,0	8%	3.164.701,4	3.425.023,4	490.533,0	7,0	86,4
abr/14	303.202,0	8%	3.326.193,0	3.629.395,0	525.115,0	6,9	110,8
mai/14	288.257,0	9%	2.859.998,1	3.148.255,1	472.216,0	6,7	58,1
jun/14	250.457,0	7%	3.526.801,5	3.777.258,5	455.564,0	8,3	4,2
jul/14	179.743,0	5%	3.471.304,0	3.651.047,0	460.061,0	7,9	46,8
ago/14	141.164,3	4%	3.182.003,7	3.323.168,1	356.142,0	9,3	6,7
set/14	195.157,5	6%	3.140.997,0	3.336.154,5	396.820,0	8,4	5,0
out/14	223.527,0	7%	2.902.887,1	3.126.414,1	416.545,0	7,5	67,4
nov/14	140.527,0	7%	1.820.823,0	1.961.350,0	314.660,0	6,2	163,2
dez/14	155.941,0	11%	1.286.554,6	1.442.495,6	273.832,0	5,3	74,0
jan/15	243.360,0	15%	1.364.233,0	1.607.593,0	261.519,0	6,1	49,8
fev/15	153.487,0	11%	1.195.971,0	1.349.458,0	237.475,0	5,7	191,8
mar/15	109.923,0	9%	1.127.912,0	1.237.835,0	263.667,0	4,7	382,0
abr/15	116.910,0	7%	1.461.000,0	1.577.910,0	200.000,0	7,9	26,1
mai/15	93.420,0	8%	1.062.947,0	1.156.367,0	216.395,0	5,3	37,6
jun/15	140.020,0	13%	944.635,0	1.084.655,0	238.841,0	4,5	13,6
jul/15	248.812,0	20%	986.212,3	1.235.024,3	250.496,0	4,9	0,0
ago/15	253.356,0	21%	927.995,0	1.181.351,0	242.701,0	4,9	0,0
set/15	133.626,0	9%	1.315.802,0	1.449.428,0	244.075,0	5,9	111,7
out/15	180.528,0	15%	997.371,0	1.177.899,0	229.506,0	5,1	35,5
nov/15	241.917,0	18%	1.107.513,0	1.349.430,0	223.832,0	6,0	250,2
dez/15	31.036,0	3%	902.090,8	933.126,8	206.313,0	4,5	183,0
jan/16	149.115,8	12%	1.056.468,2	1.205.584,0	248.216,0	4,9	504,6
fev/16	167.786,6	15%	920.311,4	1.088.098,0	233.269,0	4,7	117,3
mar/16	124.934,2	11%	964.566,3	1.089.500,5	237.843,4	4,6	170,1
abr/16	125.115,0	12%	926.173,0	1.051.288,0	236.407,4	4,4	20,9
mai/16	128.904,0	11%	1.000.637,7	1.129.541,7	262.456,0	4,3	23,8
jun/16	142.779,0	13%	943.204,0	1.085.983,0	263.365,0	4,1	67,6
jul/16	182.233,6	17%	904.630,6	1.086.864,2	262.653,0	4,1	0,0
ago/16	187.725,1	17%	898.519,7	1.086.244,8	247.339,0	4,4	0,0
set/16	188.937,0	17%	899.470,5	1.088.407,5	243.426,0	4,5	39,2
out/16	162.714,5	17%	787.191,1	949.905,6	232.798,0	4,1	75,3
nov/16	81.277,2	8%	878.956,9	960.234,1	251.152,4	3,8	269,9
dez/16	34.692,0	3%	1.057.891,1	1.092.583,1	222.157,7	4,9	196,3
jan/17	99.390,0	9%	1.025.993,2	1.125.383,2	235.477,0	4,8	109,7
fev/17	89.481,0	9%	934.837,1	1.024.318,1	231.677,0	4,4	143,5
mar/17	92.620,0	8%	1.032.672,1	1.125.292,1	265.091,0	4,2	164,6
abr/17	89.921,1	8%	972.067,0	1.061.988,1	234.661,0	4,5	11,2
mai/17	64.757,6	5%	1.116.151,7	1.180.909,3	248.912,0	4,7	26,8
jun/17	43.449,6	4%	1.060.796,3	1.104.245,9	275.635,0	4,0	25,6
jul/17	134.575,9	13%	939.035,4	1.073.611,3	261.898,0	4,1	0,0
ago/17	119.671,6	11%	969.233,4	1.088.905,0	258.009,0	4,2	0,0
set/17	68.647,0	5%	1.195.530,5	1.264.177,4	256.119,0	4,9	32,4
out/17	76.840,0	6%	1.117.526,8	1.194.366,8	272.902,0	4,4	176,5
nov/17	74.321,3	7%	1.028.232,9	1.102.554,2	288.032,0	3,8	265,9
dez/17	65.655,3	6%	1.088.513,9	1.154.169,2	270.741,1	4,3	259,6
jan/18	23.764,0	2%	1.176.655,3	1.200.419,3	269.505,7	4,5	230,5
fev/18	30.806,0	3%	1.008.709,2	1.039.515,2	272.867,0	3,8	153,9
mar/18	19.433,0	2%	1.088.040,9	1.107.473,9	278.922,0	4,0	165,7
abr/18	9.522,0	1%	1.042.000,8	1.051.522,8	240.823,0	4,4	16,1
mai/18	21.212,0	2%	1.065.793,0	1.087.005,0	279.146,1	3,9	0,0
jun/18	14.919,0	1%	1.167.362,0	1.182.281,0	272.675,7	4,3	0,0
jul/18	15.600,0	1%	1.224.719,0	1.240.319,0	257.622,0	4,8	0,0
ago/18	18.604,0	1%	1.276.996,0	1.295.600,0	299.536,0	4,3	22,2
set/18	8.480,0	1%	1.205.304,0	1.213.784,0	271.997,0	4,5	265,1
out/18	11.370,0	1%	1.162.778,0	1.174.148,0	305.889,0	3,8	303,0
nov/18	19.510,0	2%	1.132.285,0	1.151.795,0	308.905,0	3,7	247,2
dez/18	12.310,0	1%	1.186.259,0	1.198.569,0	250.442,0	4,8	258,6

**ANEXO 2 - Tabela base com os dados brutos de Produção (t), Água nova (m<sup>3</sup>) e Água recirculada (m<sup>3</sup>) (continuação).**

	Água nova MW (m <sup>3</sup> )	Água nova MW (%)	Água Recirculada MW (m <sup>3</sup> )	Água Total MW (m <sup>3</sup> )	Produção MW (t)	m <sup>3</sup> de água / t produzida	Pluviometria MW
jan/19	24.392,0	3%	929.773,1	954.165,1	263.968,0	3,6	82,4
fev/19	13.128,0	1%	873.648,6	886.776,6	233.301,0	3,8	383,6
mar/19	49.090,0	5%	1.002.631,5	1.051.721,5	248.606,0	4,2	110,1
abr/19	65.907,0	6%	1.077.843,8	1.143.750,8	242.493,0	4,7	135,4
mai/19	36.478,0	4%	879.577,1	916.055,1	257.389,0	3,6	75,4
jun/19	67.331,0	7%	880.560,0	947.891,0	292.120,0	3,2	11,0
jul/19	73.395,0	7%	939.624,0	1.013.019,0	265.272,7	3,8	0,0
ago/19	76.035,0	4%	1.914.620,4	1.990.655,4	318.813,0	6,2	0,0
set/19	122.044,0	5%	2.206.380,0	2.328.424,0	377.132,9	6,2	73,8
out/19	114.676,0	5%	2.283.645,6	2.398.321,6	447.459,4	5,4	76,5
nov/19	118.179,0	5%	2.259.688,8	2.377.867,8	407.242,8	5,8	213,3
dez/19	130.610,0	5%	2.344.931,8	2.475.541,8	461.197,4	5,4	312,7
jan/20	154.307,0	6%	2.517.497,1	2.671.804,1	486.329,2	5,5	455,8
fev/20	90.145,0	3%	2.581.357,8	2.671.502,8	392.081,3	6,8	271,0
mar/20	109.283,0	4%	2.727.933,3	2.837.216,3	490.114,1	5,8	194,6
abr/20	104.422,0	4%	2.686.017,1	2.790.439,1	376.997,5	7,4	96,3
mai/20	61.021,0	2%	2.509.303,0	2.570.324,0	442.186,1	5,8	34,9
jun/20	119.245,0	5%	2.301.426,0	2.420.671,0	377.780,0	6,4	0,0
jul/20	132.600,0	4%	2.914.563,0	3.047.163,0	480.655,0	6,3	2,2
ago/20	117.420,0	4%	2.861.826,0	2.979.246,0	492.291,6	6,1	13,2
set/20	205.645,1	7%	2.679.739,0	2.885.384,1	522.538,7	5,5	16,8
out/20	218.558,5	7%	2.832.018,0	3.050.576,5	423.688,0	7,2	137,2
nov/20	162.694,8	6%	2.692.598,0	2.855.292,8	469.915,0	6,1	111,6
dez/20	126.757,0	4%	2.920.692,0	3.047.449,0	459.291,0	6,6	318,0
jan/21	148.528,6	6%	2.543.977,0	2.692.505,6	401.852,6	6,7	153,5
fev/21	77.728,0	3%	2.228.574,0	2.306.302,0	343.382,3	6,7	399,5
mar/21	148.640,2	6%	2.498.661,0	2.647.301,2	455.544,4	5,8	86,5
abr/21	220.323,4	8%	2.574.081,0	2.794.404,4	439.991,6	6,4	7,0
mai/21	218.604,9	8%	2.496.175,0	2.714.779,9	443.976,8	6,1	19,7
jun/21	198.348,8	8%	2.399.730,0	2.598.078,8	410.112,4	6,3	0,0
jul/21	192.942,9	8%	2.081.498,0	2.274.440,9	342.852,4	6,6	0,0
ago/21	228.605,0	8%	2.464.884,0	2.693.489,0	426.869,3	6,3	18,3
set/21	225.484,9	9%	2.322.464,0	2.547.948,9	454.182,4	5,6	5,6
out/21	87.385,0	3%	2.601.562,0	2.688.947,0	462.616,2	5,8	350,7
nov/21	120.608,6	5%	2.340.599,0	2.461.207,6	479.640,4	5,1	177,5
dez/21	114.349,3	5%	2.296.179,0	2.410.528,3	418.528,8	5,8	355,5
jan/22	103.813,4	5%	1.845.671,0	1.949.484,4	317.622,7	6,1	800,8
fev/22	69.057,7	3%	1.984.391,0	2.053.448,7	363.067,6	5,7	347,6
mar/22	150.241,7	6%	2.539.604,0	2.689.845,7	451.607,7	6,0	8,3
abr/22	121.210,8	5%	2.452.831,0	2.574.041,8	453.306,3	5,7	15,8
mai/22	109.289,5	4%	2.661.321,0	2.770.610,5	451.274,5	6,1	29,6
jun/22	117.030,5	4%	2.727.776,0	2.844.806,5	495.050,7	5,7	0,9
jul/22	105.986,7	4%	2.769.129,0	2.875.115,7	500.331,4	5,7	0,0
ago/22	152.847,6	5%	2.750.366,0	2.903.213,6	522.454,1	5,6	1,5
set/22	193.915,8	7%	2.585.163,0	2.779.078,8	461.159,2	6,0	34,9
out/22	120.711,8	4%	2.822.844,0	2.943.555,8	512.473,1	5,7	175,5
nov/22	109.475,9	4%	2.688.605,0	2.798.080,9	471.819,0	5,9	156,1
dez/22	69.455,0	3%	2.031.611,0	2.101.066,0	372.164,4	5,6	247,0

Fonte: Autor, 2023.