



JUNIO APARECIDO PEREIRA CORREA

**MODELOS MATEMÁTICOS PARA O DIMENSIONAMENTO
PRÁTICO DE RESERVATÓRIOS PARA O
APROVEITAMENTO PREDIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
MINAS GERAIS**

**LAVRAS – MG
2021**

JUNIO APARECIDO PEREIRA CORREA

**MODELOS MATEMÁTICOS PARA O DIMENSIONAMENTO PRÁTICO DE
RESERVATÓRIOS PARA O APROVEITAMENTO PREDIAL DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM MINAS GERAIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

LAVRAS – MG
2021

JUNIO APARECIDO PEREIRA CORREA

**MODELOS MATEMÁTICOS PARA O DIMENSIONAMENTO PRÁTICO DE
RESERVATÓRIOS PARA O APROVEITAMENTO PREDIAL DE ÁGUAS
PLUVIAIS EM MINAS GERAIS**

**MATHEMATICAL MODELS FOR THE PRACTICAL DESIGN OF BUILDING
RAINWATER HARVESTING RESERVOIRS AT MINAS GERAIS STATE - BRAZIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 11 de junho de 2021.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
M.Sc. Flávia Vilela Corrêa
M.Sc. Marina Neves Merlo

UFLA
UFLA
UFLA


Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi
Orientador

**LAVRAS – MG
2021**

RESUMO

Devido ao elevado consumo da água potável, seu uso tem se tornado cada vez mais racional, levando à procura por alternativas eficientes que atenuem tal fato. Entre essas soluções, a captação e aproveitamento da água pluvial mostram-se como alternativa para o presente cenário. Logo, o dimensionamento do sistema é de suma importância para o atendimento da demanda por água não-potável. Ao analisar os diversos métodos preconizados pela antiga NBR 15527 (ABNT, 2007), percebe-se que os volumes encontrados diferem entre si, compreendendo assim, uma etapa complexa. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo a definição de modelos matemáticos empíricos para as mesorregiões do estado de Minas Gerais, que possam auxiliar no dimensionamento prático de reservatórios para o aproveitamento predial de águas pluviais, levando em consideração índices estatísticos ligados à precipitação pluvial em cada região estudada. Para a determinação de modelos consistentes, foram utilizados dados de precipitação da última década e aplicação de uma metodologia comportamental para a determinação dos volumes eficazes. A partir desses resultados, pode-se perceber mudança da tendência de comportamento dos volumes a partir de determinada demanda, levando na elaboração de modelos matemáticos para ambas as tendências. De posse dos modelos elaborados, a avaliação destes foi realizada por meio do coeficiente de determinação (R^2) e raiz do erro quadrático médio, cujos valores apresentados, mostraram que estes são confiáveis para a realização do dimensionamento dos reservatórios, devido à boa aderência aos dados observados.

Palavras-chaves: Hidrologia urbana. Gestão de recursos hídricos. Sustentabilidade. Saneamento descentralizado. Escoamento Superficial.

ABSTRACT

Due to the high consumption of drinking water, its use has become increasingly rational, leading to the search for efficient alternatives that mitigate this fact. Among these solutions, the harvesting of rainwater is an alternative for the present scenario. Therefore, the need to design the system has high importance to meet the non-potable water demand. When analyzing the various methods recommended by the former NBR 15527 (ABNT, 2007), it is noticed that the volumes found differ from each other, thus comprising a complex stage. Then, this work aimed to fit empirical mathematical models for the mesoregions of the state of Minas Gerais, which can help in the practical design of reservoirs for harvesting rainwater in building level, taking into account statistical indexes linked to rainfall in each region studied. For the determination of consistent models, rainfall data from the last decade and application of a behavioral methodology to determine the effective volumes were used. From these results, it is possible to perceive a change in the trend of the behavior of volumes based on a determined demand, leading to the development of mathematical models for both trends. With the elaborated models, their evaluation was carried out by means of the determination coefficient (R^2) and root of the mean square error, whose values presented showed that they are reliable for the design of the reservoirs, due to the good adjustment to the observed data.

Keywords: Urban hydrology. Water resources management. Sustainability. Decentralized sanitation. Surface runoff.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema típico para captação de águas pluviais	6
Figura 2 – Mesorregiões do estado de Minas Gerais	17
Figura 3 – Precipitação média anual do estado de Minas Gerais	18
Figura 4 – Exemplo de resultados da simulação: volume do reservatório (m ³) em função da eficiência de economia de água (%), indicando o volume ótimo do reservatório do sistema de captação e aproveitamento de água pluvial.....	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Noroeste de Minas	20
Gráfico 2 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Norte de Minas	20
Gráfico 3 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Jequitinhonha.....	21
Gráfico 4 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Vale do Mucuri.....	21
Gráfico 5 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba	22
Gráfico 6 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Central de Minas.....	22
Gráfico 7 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte	23
Gráfico 8 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas	23
Gráfico 9 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Campo das Vertentes	24
Gráfico 10 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Zona da Mata	24
Gráfico 11 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Oeste de Minas	25
Gráfico 12 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Vale do Rio Doce.....	25
Gráfico 13 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce.....	34
Gráfico 14 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba e Oeste de Minas	36
Gráfico 15 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte e Campo das Vertentes	37
Gráfico 16 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Sul e Sudoeste de Minas e Zona da Mata	38
Gráfico 17 – Comportamento do volume máximo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce.....	40
Gráfico 18 – Comportamento do volume máximo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba, Oeste de Minas e Central Mineira.....	41
Gráfico 19 – Comportamento do volume máximo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte, Sul e Sudoeste de Minas, Campo das Vertentes e Zona da Mata.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferentes níveis de tratamento de água necessário conforme o uso.	8
Tabela 2 – Classificação e tipo de uso de acordo com o tipo da área de coleta.	9
Tabela 3 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não-potáveis.	9
Tabela 4 – Estações pluviométricas e municípios adotados para cada mesorregião do estado de Minas Gerais.	19
Tabela 5 – Índices estatísticos representativos das séries de precipitação pluvial de cada mesorregião.	27
Tabela 6 – Cenários adotados para o dimensionamento.	28
Tabela 7 – Melhores modelos matemáticos para estimativa do volume ótimo de reservatórios para aproveitamento de água pluviais para cada região de comportamento em cada mesorregião mineira.	39
Tabela 8 – Melhores modelos matemáticos para estimativa do volume máximo de reservatórios para aproveitamento de água pluviais para cada região de comportamento em cada mesorregião mineira.	43
Tabela 9 – Volume do reservatório necessário para atender a demanda estabelecida, de acordo com cada método preconizado pela NBR 15527 (ABNT, 2007).	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivos gerais	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1	Ciclo hidrológico e a urbanização	3
2.2	Panorama atual do consumo de água no meio urbano.....	4
2.3	Aproveitamento de água para fins não-potáveis em edificações.....	5
2.3.1	Instalações hidráulicas de águas pluviais.....	6
2.3.2	Critério de qualidade da água.....	7
2.4	Reservatórios	10
2.4.1	Dimensionamento	11
2.4.1.1	Método de Rippl	11
2.4.1.2	Método da Simulação	12
2.4.1.3	Método Azevedo Netto	13
2.4.1.4	Método Prático Alemão	14
2.4.1.5	Método Prático Inglês	14
2.4.1.6	Método Prático Australiano	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1	Área de estudo	17
3.2	Dados de precipitação	18
3.3	Cenário de dimensionamento	28
3.4	Desenvolvimento de equações empíricas	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
4.1	Modelos matemáticos para determinação do volume ótimo.....	33
4.2	Modelos matemáticos para determinação do volume máximo	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS.....	48
	APÊNDICE	52

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável no planeta tem se tornado cada vez mais escassa e ultimamente desponta como uma das principais preocupações da humanidade. Essa escassez vem sendo associada ao aumento de consumo da água, decorrente de fatores como o crescimento populacional urbano, ao que se atribui um aumento na demanda comercial e industrial; o uso irresponsável da água por parte da população que leva ao desperdício; a ineficiência na gestão dos recursos hídricos por parte do setor público, além das perdas durante os processos de captação, tratamento, armazenamento e distribuição antes de chegar ao consumo final.

Em virtude da possível redução de disponibilidade deste recurso, é necessário pensar em meios de poupar e preservar a água potável. Dentre as várias formas e estratégias utilizadas pelo ser humano, como forma de reduzir o consumo, uma delas é a captação de água da chuva. Esse tipo de sistema além de apresentar baixa complexidade, reduz o escoamento superficial, o risco de erosões e enchentes em áreas urbanas, e ainda, os custos associados às tarifas de água.

Para a implantação desse sistema diversos fatores condicionantes devem ser levados em consideração, em que o regime pluviométrico se apresenta como um fator chave no que tange ao entendimento do desempenho desta técnica, tendo em vista que geralmente quanto maior o volume precipitado e mais regular for a distribuição das precipitações na região, maior será a confiabilidade do sistema. Entretanto, a variabilidade temporal de variáveis hidrológicas, como a precipitação, muitas vezes é negligenciada no dimensionamento de cisternas, uma vez que parte significativa das metodologias empregadas para este fim trabalha com dados de precipitação média anual.

O Brasil possui uma vasta diversificação climática devido a vários fatores como: a extensão territorial, a altitude, a disposição geográfica, a dinâmica das massas de ar e o relevo, o que leva a uma variabilidade do regime pluviométrico para cada região. Dessa forma, o uso de metodologias empíricas de dimensionamento, tem-se, na maioria das vezes, um subdimensionamento da cisterna, levando ao não atendimento da demanda de determinada instalação predial, ou ainda, um superdimensionamento da cisterna, encarecendo o sistema, uma vez que esse item é o mais oneroso.

Sob esta perspectiva, o presente trabalho buscou por meio da análise de séries históricas pluviométricas da última década do estado de Minas Gerais, elaborar uma equação empírica

que dimensione de forma mais assertiva a cisterna que deverá ser empregada na edificação, a fim de atender à demanda de água pluvial em cada mesorregião do estado.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

Definir modelos matemáticos empíricos para cada mesorregião do estado de Minas Gerais, que possam auxiliar no dimensionamento prático de reservatórios para o aproveitamento predial de águas pluviais, a partir de diferentes variáveis hidrológicas relacionadas à precipitação pluvial e demanda por recurso hídrico não-potável em edificações com fins residenciais.

1.1.2 Objetivos específicos

- Levantar dados pluviométricos de cada mesorregião do estado de Minas Gerais por meio de um município da região e determinar índices estatísticos relacionados à precipitação pluvial em cada uma delas;
- Determinar, por meio de um método de simulação o volume do reservatório de água pluvial necessário para atender as condições de demanda de água pluvial para cada mesorregião;
- Ajustar os modelos matemáticos empíricos, combinando diferentes índices estatísticos relacionados à precipitação pluvial com cenários definidos de demanda.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Ciclo hidrológico e a urbanização

A água é essencial para a manutenção da vida no planeta. Logo, considerar a importância dos conhecimentos sobre ela, bem como do funcionamento do seu ciclo, é pensar na sobrevivência do ser humano, na conservação e equilíbrio da biodiversidade, e ainda, nas relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais (BACCI; PATACA, 2008).

Segundo Carvalho e Silva (2006), o conceito de ciclo hidrológico está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Ainda conforme os autores, este ciclo é impulsionado pelo Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e à gravidade, que faz com que a água condensada caia (precipitação) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo).

Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, pode ser interceptada pela vegetação, de onde evapora e retorna à atmosfera (BRAGA et al, 2005). Em adição a essa evaporação da água dos solos, rios e lagos, uma parte da água é absorvida pelas plantas. Essas, por sua vez, liberam a água para a atmosfera através da transpiração. A esse conjunto, evaporação e transpiração, dá-se o nome de evapotranspiração.

Segundo Tucci (2003), quando o homem passa a fazer parte do ciclo hidrológico natural, ele produz alterações que o modifica negativamente, gerando impactos significativos, várias vezes de forma irreversível, para o próprio homem e a natureza, como a água utilizada nas cidades, indústrias e na agricultura que retornam aos rios totalmente contaminadas.

Com a expansão urbana e o conseqüente aumento das áreas impermeabilizadas nas cidades, ocorre grande aumento no volume das águas de drenagem pluvial e diminuição no tempo de concentração na bacia, o que provoca sobrecarga na macrodrenagem, acarretando quase sempre em inundações, erosões nas margens, danos a pontes e estradas, entre outros (AGSOLVE MONITORAMENTO AMBIENTAL, 2007).

O ciclo hidrológico pode sofrer alterações decorrentes do processo de urbanização, como a diminuição da evapotranspiração, devido à retirada da vegetação; o aumento da precipitação, pois as atividades humanas nas áreas urbanas produzem maior número de núcleos

de condensação; a impermeabilização e compactação do solo que ocasionam a redução da infiltração e o aumento do escoamento superficial direto, que resultam, na maior erosão do solo e aumento do processo de assoreamento e também geram mudanças no nível do lençol freático, podendo ocorrer redução ou esgotamento deste (MOTA, 2003). Outros possíveis impactos decorrentes do processo de urbanização são a alteração do clima, os maiores picos de vazão (contribuem para a ocorrência de enchentes) e a degradação da qualidade das águas (FEAM, 2006).

Dessa forma, é possível observar que as alterações no ciclo da água podem acarretar em danos e prejuízos à população. Sendo assim, conhecer as consequências do avanço urbano sobre o ciclo hidrológico, mesmo em pequenas cidades, pode contribuir para a implantação de medidas que minimizem os impactos, sempre buscando o equilíbrio do ciclo da água e também auxiliar na prevenção de problemas futuros, derivados do desenvolvimento e crescimento das cidades.

2.2 Panorama atual do consumo de água no meio urbano

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020), estima-se que 97,5% da água existente no mundo é salgada e não é adequada para o consumo direto nem para a agricultura. Dos 2,5% de água doce, a maior parte (69%) é de difícil acesso, pois está concentrada nas geleiras, 30% são águas subterrâneas (armazenadas em aquíferos) e 1% encontra-se nos rios. Logo, o uso desse bem precisa ser gerido para que não prejudique os diferentes usos que ela tem para a vida humana.

Conforme o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019 (AQUASAT, n.d.) a demanda mundial por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% por ano, desde 1980, e isso, ocorre em virtude do crescimento populacional, o crescente fator da longevidade e o desenvolvimento econômico que tem tornado a água ainda mais escassa. Segundo o secretário-geral da ONU, António Guterres (2020), até 2050, entre 3,5 bilhões e 4,4 bilhões de pessoas viverão com acesso limitado a esse recurso, uma vez que o uso aumentou seis vezes no século passado.

Segundo o Fundo das Nações Unidas para a Infância (PENA, 2020), a atividade agropecuária é o principal responsável pelo uso da água, correspondendo à 73% de toda a água consumida no mundo. Ainda, de acordo com a entidade, depois do setor agrícola tem-se a

atividade industrial, a qual representa 20% do consumo mundial de água, e somente depois vem o uso doméstico, o qual é responsável por cerca de 8% de toda a utilização dos recursos hídricos.

Além do uso nos principais setores da economia, o desperdício de água é outro fator que pode impactar diretamente na disponibilidade de água às futuras gerações. No Brasil, a Secretaria Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018) apontou no índice de perdas na distribuição que 38,5% do volume total de água disponibilizado pelas prestadoras de serviços participantes do programa não foi utilizado pelos consumidores, devido a diversos motivos como vazamentos, falhas nos sistemas de medição ou ligações clandestinas.

A fim de incentivar a conservação da água e voltar-se à elevação da produtividade hídrica, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2020) afirma que, o primeiro passo em direção a esse objetivo é eliminar os subsídios da água que incentivam a ineficiência e o segundo é aumentar o preço da água. Pois, com o preço da água sendo mais representativo que seu valor, promove-se uma mudança para tecnologias, lavouras e formas de proteína animal mais eficientes em termos de economia de água. Além disso, outras medidas de conscientização ocorrem “através de meios de comunicação como jornais, rádios, televisões, panfletos apresentando meios de conservar e economizar a água” (TOMAZ, 2009).

Por fim, para que haja melhorias na conservação da água potável, além de medidas conscientização e aumento de tarifas, é necessário o desenvolvimento de técnicas para a racionalização e reúso de água, enxergando a água da chuva como um potencial hídrico.

2.3 Aproveitamento de água para fins não-potáveis em edificações

Segundo a NBR 15527 – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT, 2007), água da chuva é a água resultante de precipitações atmosféricas coletada em coberturas e telhados, onde não haja circulação de pessoas, veículos ou animais. Com base nessas informações, esta norma se aplica a usos não potáveis nos casos em que a água da chuva pode ser utilizada após tratamentos adequados. Esta água pode ser então utilizada em descargas de bacias sanitárias, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, irrigação de gramados e usos industriais.

Existem diversas técnicas para a captação de água de chuva, e dentre elas sabe-se que a coleta pode ser realizada em telhados e pátios, e armazenada em reservatórios subterrâneos, sendo uma prática mais utilizada em meios rurais, onde se concentram crises de escassez de

água. Contudo, devido à crise hídrica, essa técnica tende a se difundir também nos grandes centros urbanos (PEREIRA, 2019).

2.3.1 Instalações hidráulicas de águas pluviais

As coberturas das edificações são destinadas a proteger determinadas áreas das águas da chuva, e em consequência disto, tem-se um volume de água que deve ser corretamente coletado e transportado para locais permitidos por lei (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

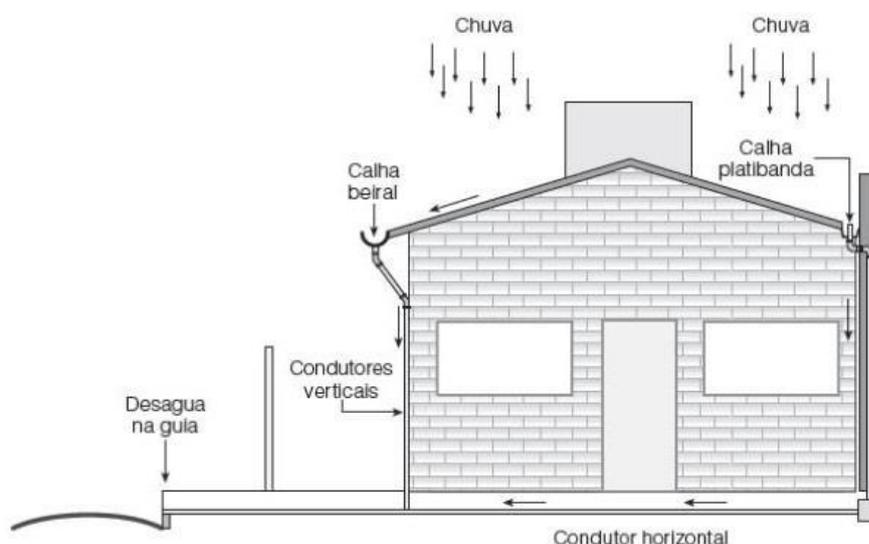
Ainda segundo Carvalho Júnior, a instalação de águas pluviais é utilizada unicamente para o recolhimento e condução das águas das chuvas, não se tolerando nenhuma interligação com outras instalações prediais, como as redes de esgoto.

A norma NBR 10844 – Instalações hidráulicas de águas pluviais (ABNT, 1989) é intendente destas instalações, e fixa exigências e os critérios necessários para garantir níveis aceitáveis de segurança, higiene, funcionalidade, durabilidade, conforto e economia. Entre as principais exigências estão:

- Ser estanques;
- Permitir a limpeza e desobstrução de qualquer ponto no interior da instalação;
- Nos componentes expostos, utilizar materiais resistentes às intempéries; e
- Não provocar ruídos excessivos.

A Figura 1 exemplifica um modelo típico para escoamento de águas pluviais.

Figura 1 – Sistema típico para captação de águas pluviais



Fonte: Carvalho Júnior (2013).

Segundo Favaro (2017), as calhas são condutores horizontais abertos na parte de cima, onde são utilizadas para captação das águas pluviais acumuladas nos telhados e conduzi-las até os condutores verticais. Sua presença é essencial para o bom desempenho da edificação, pois tem a função de proteger o reboco externo, prevenir o apodrecimento do madeiramento dos beirais e surgimento de micro-organismos como fungos, além de direcionar a água da chuva para locais adequados.

Já os condutores verticais são tubulações verticais que possui como finalidade recolher as águas coletadas pelas calhas e encaminhá-las até a parte mais baixa das edificações, lançando-as na superfície do terreno ou nas redes coletoras (CARVALHO JÚNIOR, 2013). De acordo com NBR 10844 (ABNT, 1989) os condutores verticais podem ser instalados internamente ou externamente à edificação, cujas colunas de descida devem, preferencialmente, estar livres de mudanças de direção, mas quando se torna necessário devem ser utilizadas curvas de 90° ou curvas de 45°, com a instalação de peças de inspeção. Além disso, a fim de obter um rendimento adequado utiliza-se o diâmetro interno mínimo de 70 mm.

De acordo com Carvalho Júnior (2013), os condutores horizontais têm a função de receber as águas pluviais dos condutores verticais ou da superfície do terreno e encaminhá-las até os locais permitidos pelos órgãos responsáveis.

Os condutores horizontais assim como os condutores verticais devem ser dimensionados para garantir o correto funcionamento do sistema, além disso, esses condutores carecem de declividade uniforme com valor mínimo de 0,5% (MANO, 2004). Nas tubulações aparentes, devem ser previstos pontos de inspeções sempre que houver ligação com outra tubulação, mudança de declividade ou direção, ou a cada 20 metros retilíneos (CREDER, 2018).

2.3.2 Critério de qualidade da água

A água de chuva tem sido objeto de grande valor em países com carência de água potável, mas o destino final dado às águas captadas através de sistemas prediais pluviais são diversos como irrigação de jardins, combate a incêndio, ar-condicionado, banheiros, lavação de roupas e carros, entre outros. Por essa razão, a depender de onde será aproveitada, existem discussões que colocam em dúvida e que confrontam se a sua finalidade é apropriada, se existem chances de haver contaminação e riscos de saúde associados ao seu uso. Sendo assim,

há aspectos utilizados como parâmetros que avaliam a composição da água e caracterizam se são adequadas para determinados usos (PEREIRA, 2019).

Segundo Hagemann (2009), o significado da qualidade da água envolve fatores como a quantidade e o tipo de impurezas nela contidas, portanto, a condição da água faz com que o uso adequado seja atribuído de acordo com os parâmetros divididos em três padrões: físicos, químicos e biológicos. Os parâmetros físicos são aqueles que indicam a presença de sólidos e gases na composição da água, como temperatura, condutividade, cor e turbidez. Os parâmetros químicos são aqueles com elementos ou compostos químicos na composição, tais como: pH, alcalinidade, dureza, cloreto, ferro, sulfato, manganês e matéria orgânica. Finalmente, existem alguns parâmetros biológicos, incluindo a presença de microrganismos, onde os mais comuns são coliformes totais e coliformes termotolerantes.

A NBR 15527 (ABNT, 2007), estabelece que os padrões de qualidade da água devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista. Esta qualidade é variável dependendo do destino que a água coletada terá. Na Tabela 1 tem-se a separação do uso da água em quatro grupos distintos, e especifica a necessidade de tratamento desta. Já a Tabela 2 classifica a água de acordo com o tipo da área de coleta, como por exemplo, telhados, estradas, entre outros. Entretanto, para usos mais restritivos, deve ser utilizada a Tabela 3.

Tabela 1 – Diferentes níveis de tratamento de água necessário conforme o uso.

Uso da água da chuva	Tratamento da água
Rega de jardins	Não é necessário
Irigadores, combate a incêndio, ar-condicionado	É necessário para manter os equipamentos em boas condições
Fontes e lagoas, banheiros, lavação de roupas e carros	É necessário, pois a água entra em contato com o corpo humano
Piscina/banho, para beber e para cozinhar	A desinfecção é necessária, pois a água é ingerida direta ou indiretamente

Fonte: GROUP RAINDROPS (2002).

Tabela 2 – Classificação e tipo de uso de acordo com o tipo da área de coleta.

Grau de purificação	Área de coleta da chuva	Uso da água da chuva
A	Telhados (lugares não ocupados por pessoas ou animais)	Lavar banheiros, regar as plantas, a água filtrada é potável
B	Telhados (lugares frequentados por pessoas e animais)	Lavar banheiros, regar as plantas, a água não pode ser usada para beber
C	Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento	Mesmo para os usos não potáveis necessita de tratamento
D	Estradas, vias férreas elevadas	Mesmo para os usos não potáveis necessita de tratamento

Fonte: GROUP RAINDROPS (2002).

Tabela 3 – 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 (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio		
^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).

O tratamento da água pluvial pode variar muito dependendo da destinação que esta água terá. A utilização da água coletada para fins não potáveis não requer cautela de purificação, mas pode ser preciso certo grau de filtragem. Para um tratamento simples, podem ser usados processos de sedimentação natural, filtração simples e cloração (MAY, 2004). Em caso de uso da água pluvial para consumo humano, segundo essa mesma norma, para a desinfecção, a critério do projetista, pode-se utilizar derivado clorado, ou ainda tratamentos mais complexos, como a desinfecção por raios ultravioleta, ozônio e outros. Em aplicações onde é necessário um

residual desinfetante, deve ser utilizado derivado clorado, cuja concentração deve estar entre 0,5 mg/L e 3,0 mg/L.

2.4 Reservatórios

Sendo o reservatório um elemento essencial de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva, no seu dimensionamento devem constar alguns importantes critérios, tais como: custos totais de implantação, demanda de água, áreas de captação, regime pluviométrico e confiabilidade requerida para o sistema. Ressalta-se que, a distribuição temporal anual das chuvas é uma importante variável a ser considerada no dimensionamento do reservatório (CASA EFICIENTE, 2007).

De acordo com as características locais e especificidades de uso, o reservatório de armazenamento pode ser elevado, enterrado ou sobre o solo. Uma grande vantagem do reservatório elevado é a inexistência de um sistema de bombeamento de água para o abastecimento da edificação, entretanto, exige uma estrutura para sustentação. Já nos reservatórios sobre ou sob o solo, acontece o inverso, ou seja, não é necessária estrutura de sustentação, porém o abastecimento exige bombeamento ou acesso facilitado à água (MANO, 2004).

Conforme Colla (2008), os materiais mais utilizados na confecção dos reservatórios são: concreto, fibra de vidro, aço inoxidável e polietileno. Entretanto, a seleção do material adequado depende, principalmente, da finalidade do uso da água em razão deles apresentarem grandes variações em relação à durabilidade, segurança e custo.

Os reservatórios frequentemente utilizados para o armazenamento de água pluvial são as cisternas, as quais se caracterizam por apresentarem: poço de inspeção, tubo de ventilação, dispositivo para limpeza e um tubo de descarga. Por meio de investimentos em tecnologias modernas, é possível automatizar o sistema ao utilizar boias eletroeletrônicas. Uma bomba de pressurização dimensionada conforme a edificação é necessária para a alimentação do reservatório superior de água pluvial, que deve ser separado do armazenamento da água potável, a fim de evitar contaminação (MARINOSKI, 2007).

2.4.1 Dimensionamento

“A eficiência e a confiabilidade dos sistemas de aproveitamento de água da chuva estão ligadas diretamente ao dimensionamento do reservatório de armazenamento, necessitando de um ponto ótimo na combinação do volume de reserva e da demanda a ser atendida, que resulte na maior eficiência, com o menor gasto possível” (NGIGI, 1999).

Assim, para realizar o dimensionamento do reservatório de água pluvial faz-se necessário o conhecimento de algumas informações, como: os valores médios mensais de intensidade pluviométricas locais relativas aos últimos anos, com o intuito de estimar os futuros valores de intensidade pluviométrica; a demanda de água em função das atividades a serem desenvolvidas com a água pluvial; a área de contribuição, determinada conforme recomendações da NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais, e; o coeficiente de escoamento superficial ou coeficiente de *runoff*, o qual leva em consideração o material da área de contribuição (CARVALHO JÚNIOR, 2014).

A NBR 15527 (ABNT, 2007), apresenta métodos em caráter informativo que podem ser utilizados, cujas fórmulas e definições das variáveis descritas foram extraídas diretamente do Anexo A desta.

2.4.1.1 Método de Rippl

O Método de Rippl também chamado de Método do Diagrama de Massas, consiste na determinação do volume do reservatório levando em consideração a área de captação e a precipitação registrada local, considerando que toda a água precipitada não seja totalmente armazenada, correlacionando tal volume à demanda mensal da edificação, a qual pode ser constante ou variável (AMORIM; PEREIRA, 2008). Para mais, de acordo com Campos (2004), quanto menor o intervalo nos dados pluviométricos, maior será a precisão no dimensionamento, sendo a utilização de dados diários suficientes. Entretanto, nem sempre há disponível dados diários, levando assim, a utilização de valores mensais, os quais também apresentam resultados satisfatórios.

O cálculo da capacidade do reservatório, se dá por meio do somatório dos volumes de água em determinado tempo t , cujos valores devem ser maiores que zero para entrar neste somatório, conforme Equação 1.

$$V = \sum S_{(t)}, \text{ somente para valores de } S_{(t)} > 0 \quad (1)$$

Em que:

V = volume do reservatório de água pluvial (L);

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório em determinado tempo t (L);

Logo, para a obtenção do volume de água no reservatório, em determinado tempo t , aplica-se a Equação 2.

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)} \quad (2)$$

Onde:

$D_{(t)}$ = demanda de água não potável em determinado tempo t (L);

$Q_{(t)}$ = volume de água pluvial a ser captada em determinado tempo t (L).

O cálculo do volume de água em determinado tempo t , transcorre através da Equação 3.

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (3)$$

Em que:

C = coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

$P_{(t)}$ = precipitação média em determinado tempo t (mm);

A = área de captação (m^2).

2.4.1.2 Método da Simulação

Esse método também é designado como Método de Análise de Simulação de um Reservatório com Capacidade Composta e é baseado na fixação de um volume para o reservatório e na verificação do percentual de consumo que será atendido. De acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2007), não se deve considerar a evaporação da água. Além disso, a norma também adverte para as duas hipóteses que devem ser feitas: a primeira é que o reservatório deve estar cheio no início da contagem do tempo t e a segunda de que os dados históricos devem

representar condições futuras. O dimensionamento é iniciado com o cálculo do volume de água pluvial no reservatório no tempo t, o qual é apresentado na Equação 4.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} - S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (4)$$

Onde:

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t-1;

Após a determinação da capacidade do reservatório pluvial no tempo t, faz-se necessário encontrar um volume V que irá atender a demanda do mês de janeiro, o qual deve atender a seguinte condição: $0 \leq S_{(t)} \leq V$. Se essa condição for atendida para os demais meses do ano, o volume V é o volume do reservatório. Caso contrário, deve-se adotar outro valor de V, até que este atenda a condição para todos os meses do ano (RODRIGUES; LEITE, 2019).

Esse método relaciona os períodos em que o reservatório está suficientemente abastecido com o período que é simulado, isso permite com que se determine a eficiência desse sistema (AMORIM; PEREIRA, 2008).

2.4.1.3 Método Azevedo Netto

O Método de Azevedo Netto, também conhecido como Método Prático Brasileiro, é o primeiro método empírico apresentado pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Nessa metodologia, é estabelecido como volume ideal do reservatório, 4,2% do produto entre o volume de chuva coletada pela área de captação e o período de meses com pouca chuva ou seca, conforme a Equação 5.

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (5)$$

Em que:

P = precipitação média anual (mm);

T = número de meses de pouca chuva ou seca;

A = área de coleta em projeção (m²);

V = volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L).

2.4.1.4 Método Prático Alemão

Trata-se de um método empírico prático que adota como volume do reservatório, o valor mínimo de 6% do volume anual de consumo ou 6 % do volume anual de precipitação aproveitável (DONERLLES et al., 2010). A Equação 6, demonstra o cálculo do volume do reservatório, por meio dessa metodologia.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \quad (6)$$

Onde:

V_{adotado} = volume de água do reservatório (L);

V = volume aproveitável de água de chuva anual (L);

D = demanda anual da água não potável (L).

2.4.1.5 Método Prático Inglês

O método prático inglês é um dos mais simples de serem aplicados, uma vez que adota 5% do volume anual de precipitação que é captado para o cálculo do reservatório, sendo os valores de consumo desprezados por essa metodologia (FONTANELLA, 2010). A Equação 7, demonstra o cálculo que é efetuado.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (7)$$

2.4.1.6 Método Prático Australiano

O último método mostrado na NBR 15527 (ABNT, 2007), refere-se também a um método empírico, e diferentemente do Método de Rippl e do Método das Simulações, para o cálculo do volume produzido mensalmente pela chuva, leva-se em consideração a interceptação da água que molha as superfícies e também as perdas por evaporação, conforme a Equação 8.

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (8)$$

Em que:

C = coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,80;

P = precipitação média mensal (mm);

I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;

A = área de coleta (m²);

Q = volume mensal produzido pela chuva (L).

Para o cálculo do volume do reservatório (Equação 9) é necessário usar o método de tentativa e erro, onde essas são feitas até que os valores sejam otimizados, ou seja, até que seja atendido a confiabilidade entre 90% e 99%, conforme exigido pela norma mencionada acima. Para o primeiro mês considera-se o reservatório vazio.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (9)$$

Onde:

$Q_{(t)}$ = volume mensal produzido pela chuva no mês t;

$V_{(t)}$ = volume de água que está no tanque no fim do mês t;

$V_{(t-1)}$ = volume de d'água que está no tanque no início do mês t;

$D_{(t)}$ = demanda mensal.

Para se determinar a confiança primeiramente calcula-se a falha (Equação 10) e, posteriormente, aplica-se a Equação 11.

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (10)$$

Em que:

P_r = falha;

N_r = número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_{(t)} = 0$;

N = número de meses considerado, geralmente 12 meses.

Logo a confiança será:

$$C = 1 - P_r \quad (11)$$

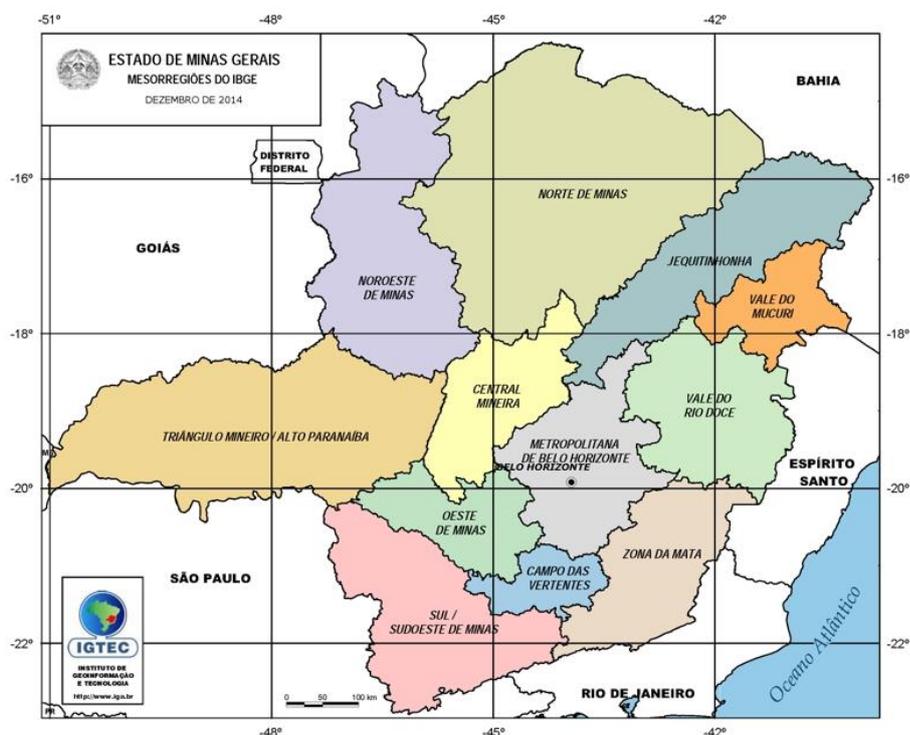
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo foi o estado de Minas Gerais, que está situado entre os paralelos de 14°13'58" e 22°54'00" de latitude sul e os meridianos de 39°51'32" e 51°02'35" a oeste de Greenwich. Possui pouco mais de 21,2 milhões de habitantes segundo o censo de 2020 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o que estabelece o segundo estado mais populoso do país. Minas Gerais também é o quarto estado mais extenso, com uma área de 586.521,123 km², que representa 6,89% do território brasileiro (IBGE, 2020). Possui como limites os estados de São Paulo a sudoeste e sul, Rio de Janeiro a sudeste, Espírito Santo a leste, Bahia a nordeste e norte, Goiás e o Distrito Federal a noroeste e Mato Grosso do Sul a oeste.

O estado de Minas Gerais é dividido em doze mesorregiões geográficas, como apresentado na Figura 2: Noroeste de Minas, Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri, Triângulo Mineiro e Alto Paraíba, Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte, Sul e Sudoeste de Minas, Campo das Vertentes, Zona da Mata, Oeste de Minas e Vale do Rio Doce.

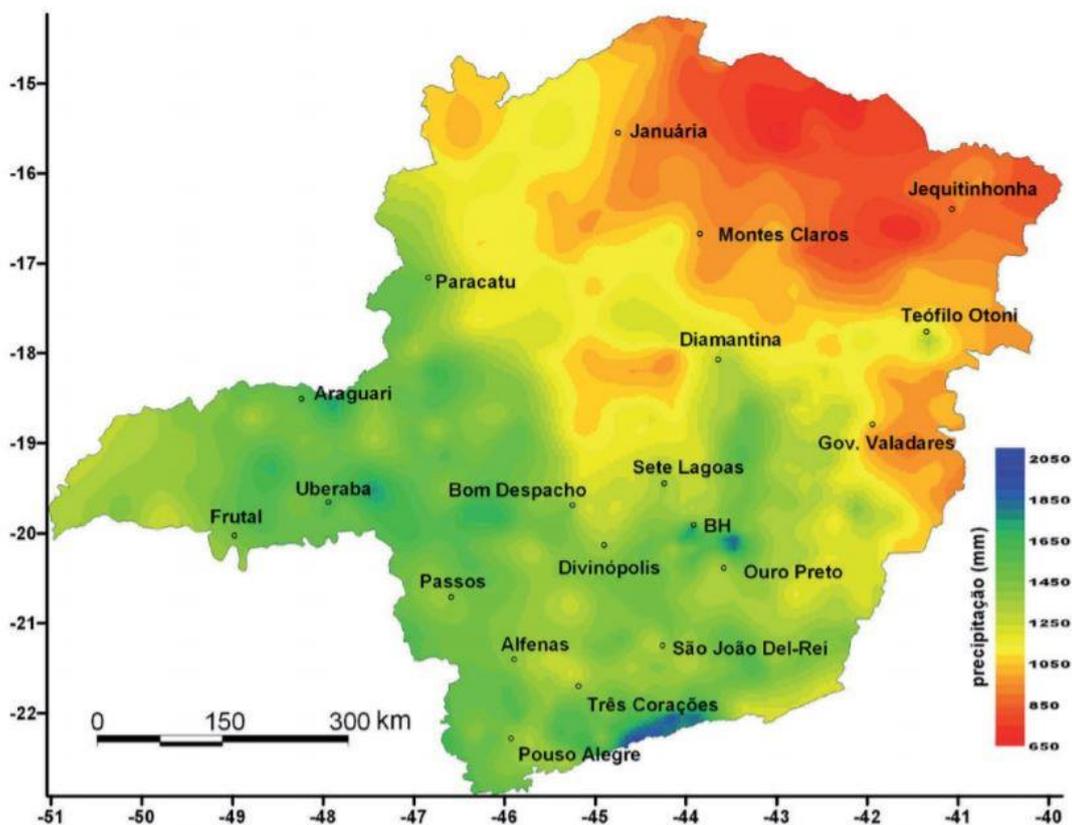
Figura 2 – Mesorregiões do estado de Minas Gerais



Fonte: Governo do estado de Minas Gerais (2014).

Minas Gerais apresenta grande variabilidade na distribuição pluvial (Figura 3), devido a sua posição geográfica e relevo. Seus índices de precipitação variam entre 650 mm no norte de Minas até áreas com precipitação próximas de 2100 mm na região sul/sudoeste de Minas (GUIMARÃES; REIS; LANDAU, 2010).

Figura 3 – Precipitação média anual do estado de Minas Gerais



Fonte: Guimarães, Reis e Landau (2010).

3.2 Dados de precipitação

Os dados pluviométricos foram obtidos por meio do banco de dados do portal HidroWeb, o qual é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Para cada mesorregião de Minas Gerais foi adotado uma estação pluviométrica de um determinado município para estudo, conforme Tabela 4.

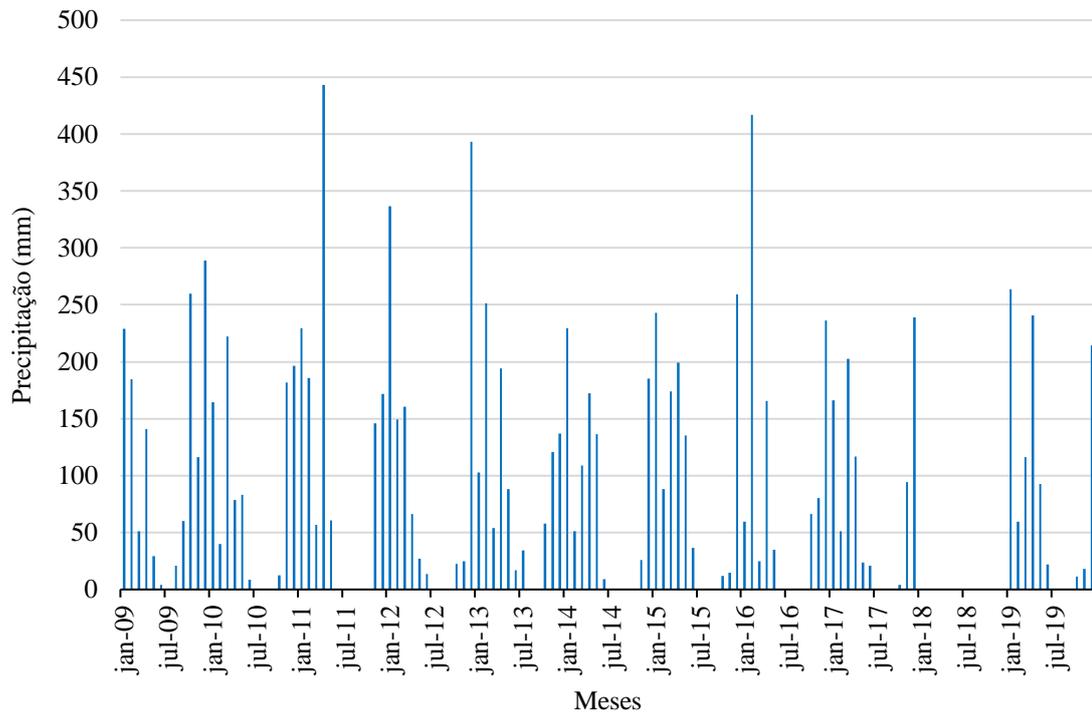
Tabela 4 – Estações pluviométricas e municípios adotados para cada mesorregião do estado de Minas Gerais.

Mesorregião	Estação	Latitude	Longitude	Nome da Estação	Município
Noroeste de Minas	1646001	-16°21'05"	-46°53'23"	Unai	Unai
Norte de Minas	1644028	-16°42'09"	-44°07'02"	São João da Vereda	Montes Claros
Jequitinhonha	1742014	-17°41'27"	-42°31'03"	Capelinha	Capelinha
Vale do Mucuri	1742017	-17°50'44"	-42°04'32"	Malacacheta	Malacacheta
Triângulo Mineiro e Alto do Parnaíba	1846003	-18°42'25"	-46°02'13"	Major Porto	Patos de Minas
Central Mineira	1844009	-18°38'38"	-44°02'53"	Presidente Juscelino - Jusante	Presidente Juscelino
Metropolitana de Belo Horizonte	2043011	-20°23'24"	-43°10'49"	Fazenda Paraíso	Mariana
Sul e Sudoeste de Minas	2146030	-21°22'50"	-46°31'08"	Muzambinho	Muzambinho
Campo das Vertentes	2145007	-21°20'37"	-45°10'13"	Usina Couro do Cervo	Lavras
Zona da Mata	2143011	-21°45'48"	-43°55'04"	Conceição do Ibitipoca	Lima Duarte
Oeste de Minas	2045010	-20°17'41"	-45°32'34"	Arcos (COPASA)	Arcos
Vale do Rio Doce	1941010	-19°29'33"	-41°09'42"	São Sebastião da Encruzilhada	Aimóres

Fonte: Do autor (2021).

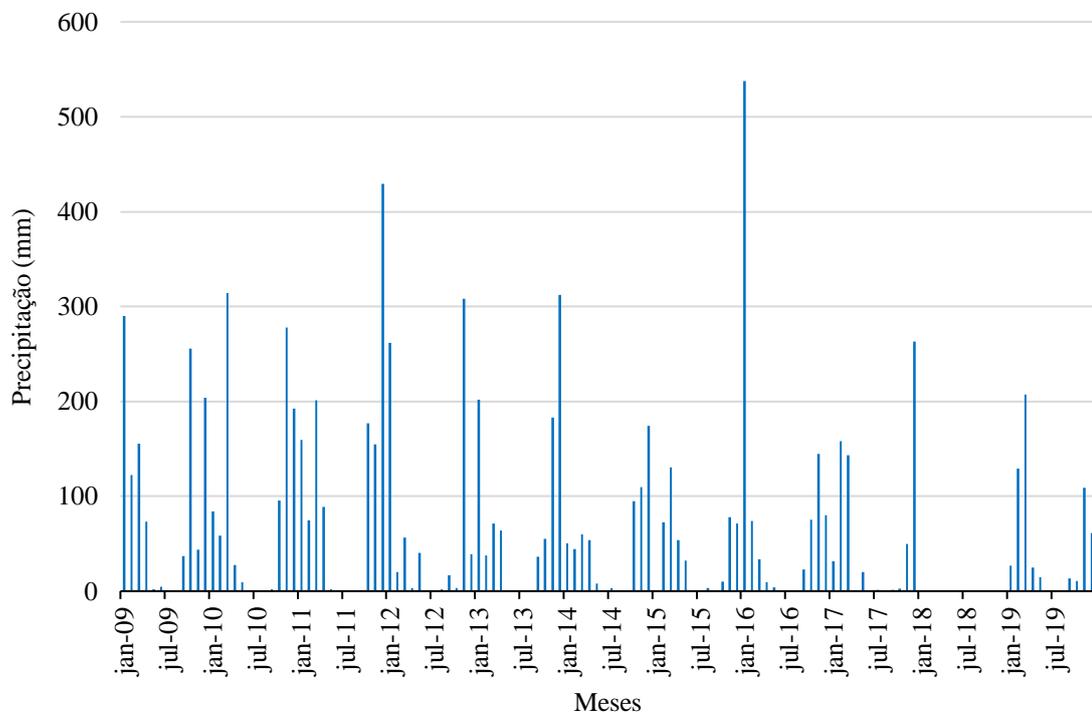
Além disso, foram adotadas séries históricas da última década, ou seja, dados do período de 01/01/2009 a 31/12/2019, com exceção do ano de 2018, já que apenas os municípios escolhidos das mesorregiões do Norte de Minas, Sul e Sudoeste de Minas e Zona da Mata apresentaram dados de precipitação para o mês de novembro deste determinado ano. Os dados de precipitação mensal de cada mesorregião encontram dispostos nos Gráficos 1 a 12.

Gráfico 1 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Noroeste de Minas



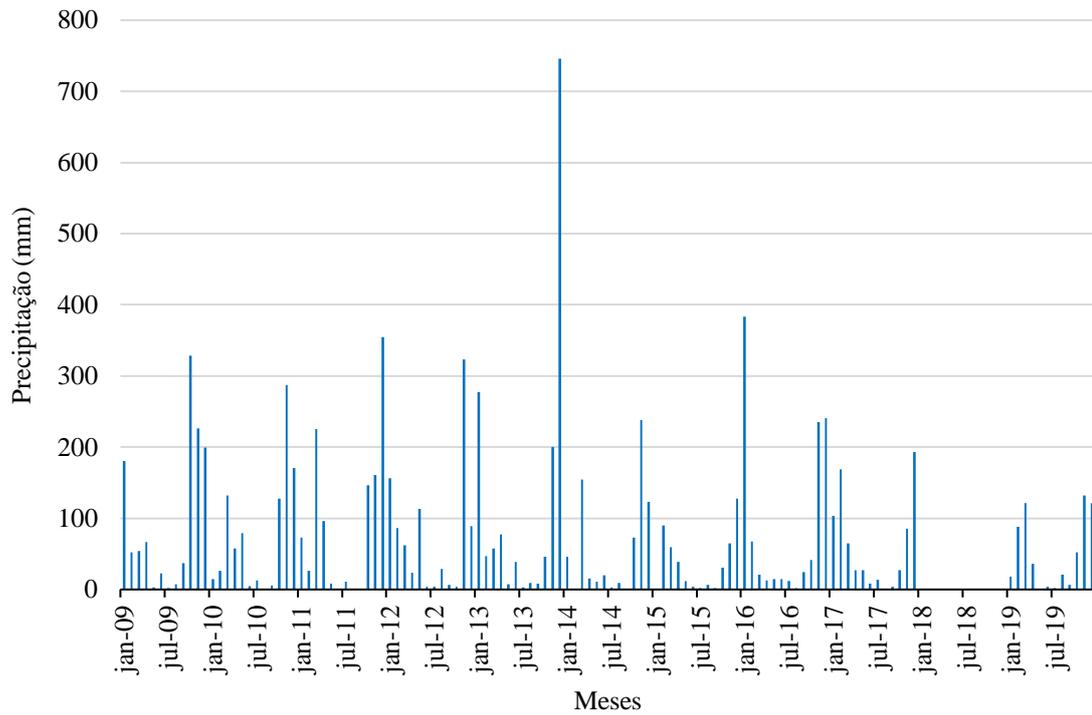
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 2 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Norte de Minas



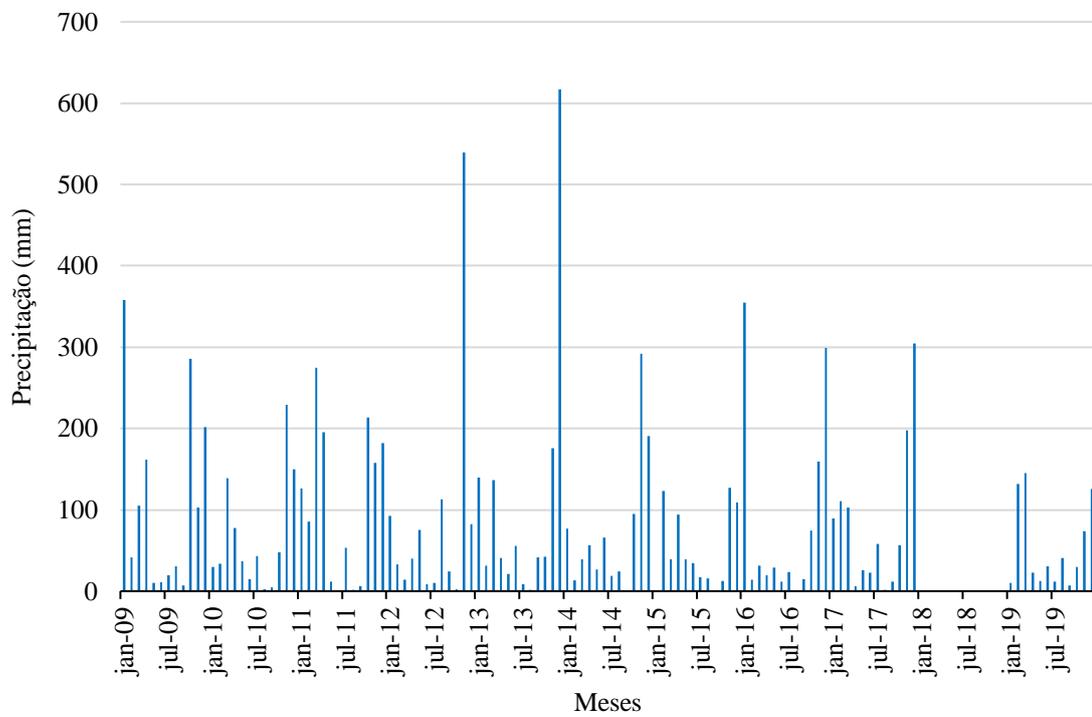
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 3 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Jequitinhonha



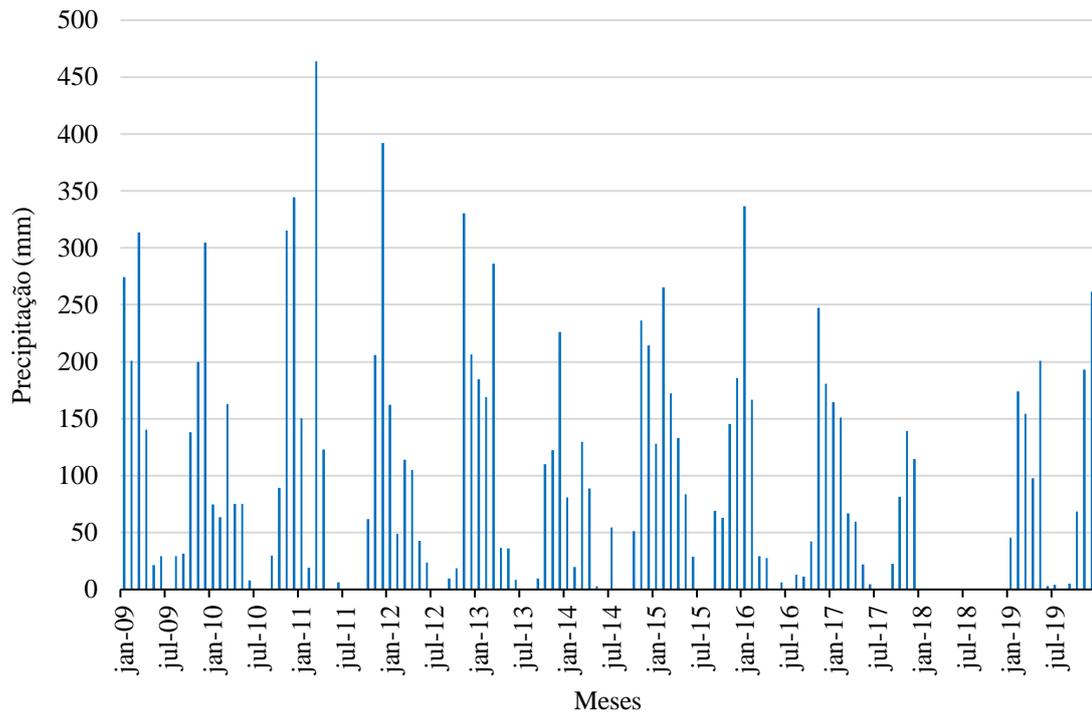
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 4 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Vale do Mucuri



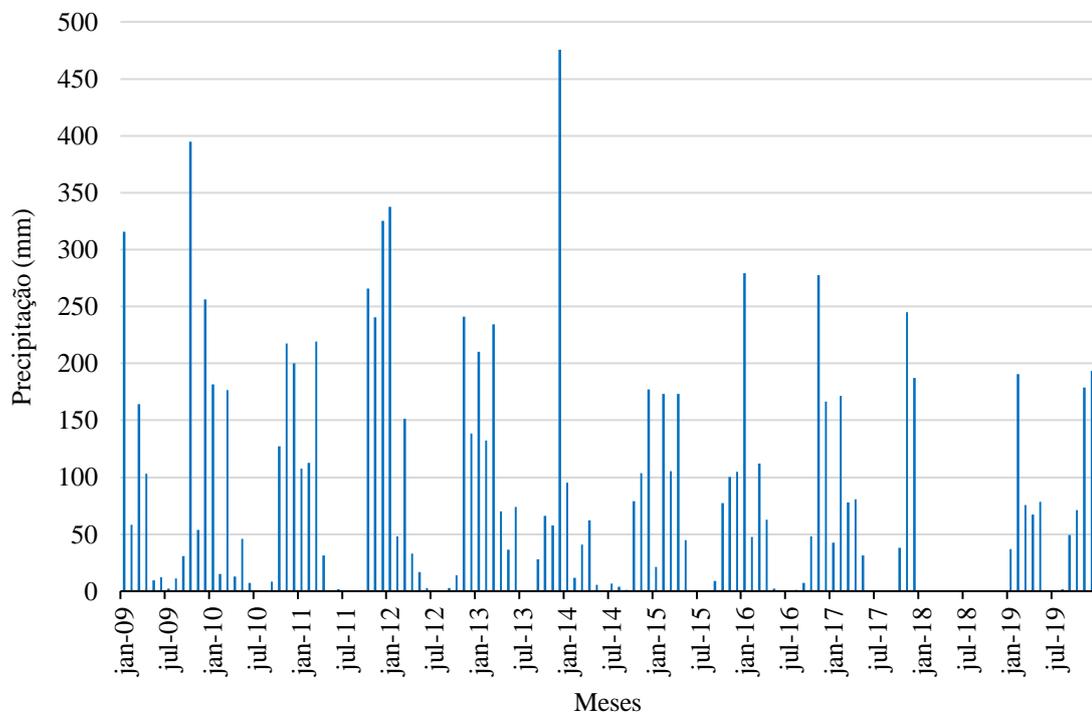
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 5 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba



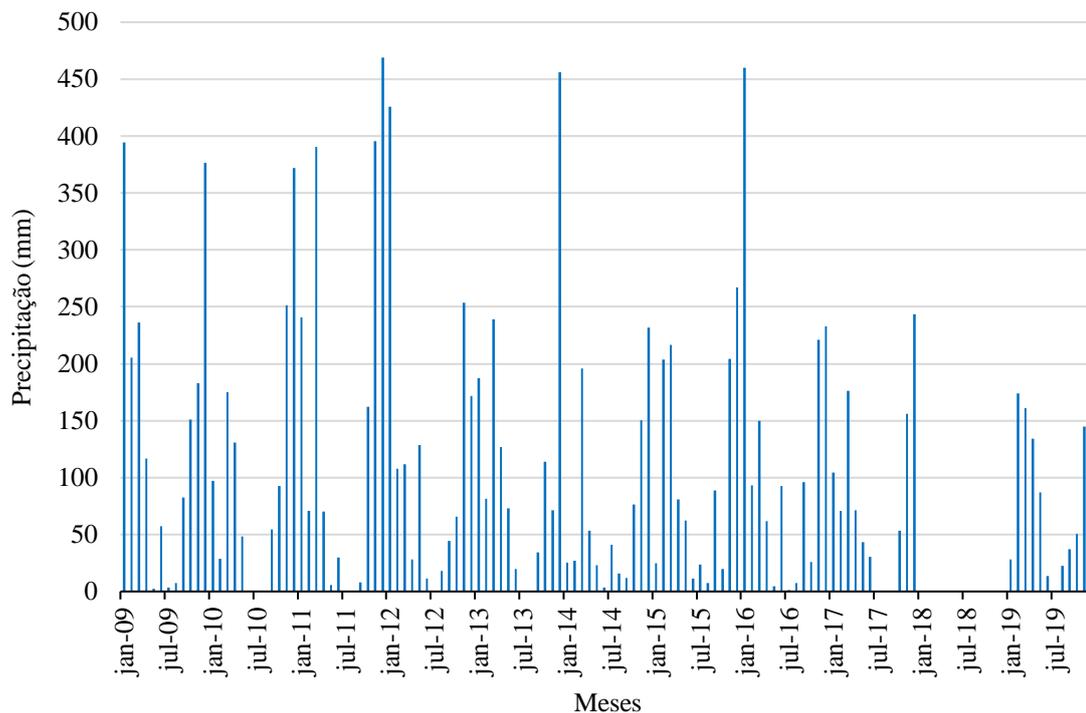
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 6 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Central de Minas



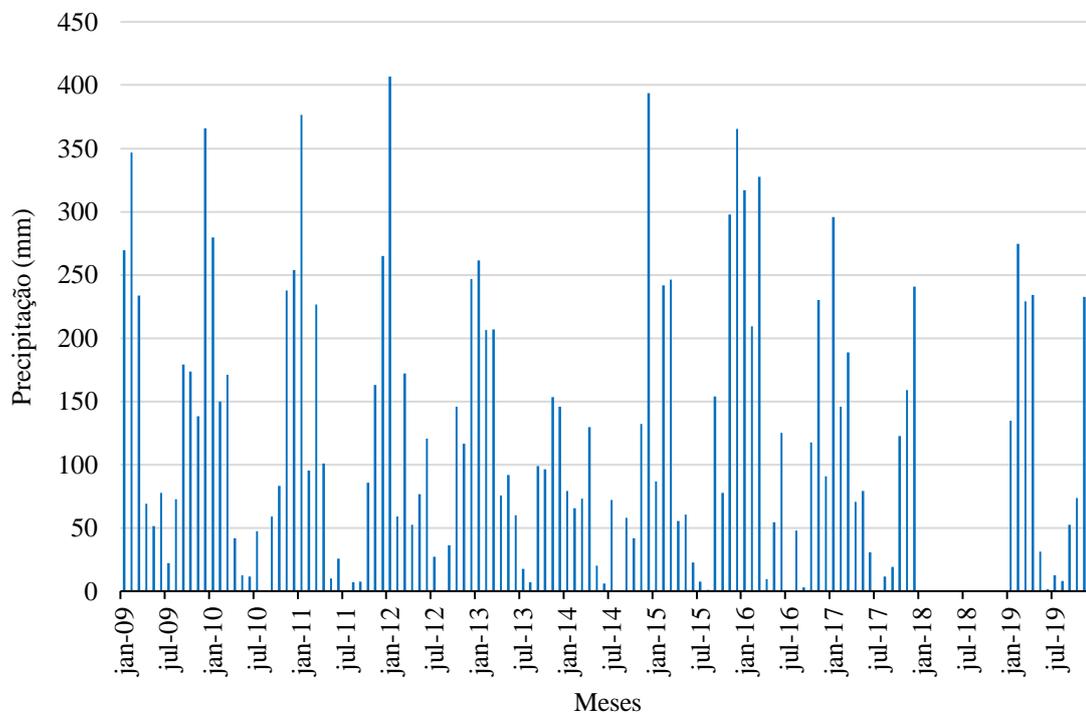
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 7 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte



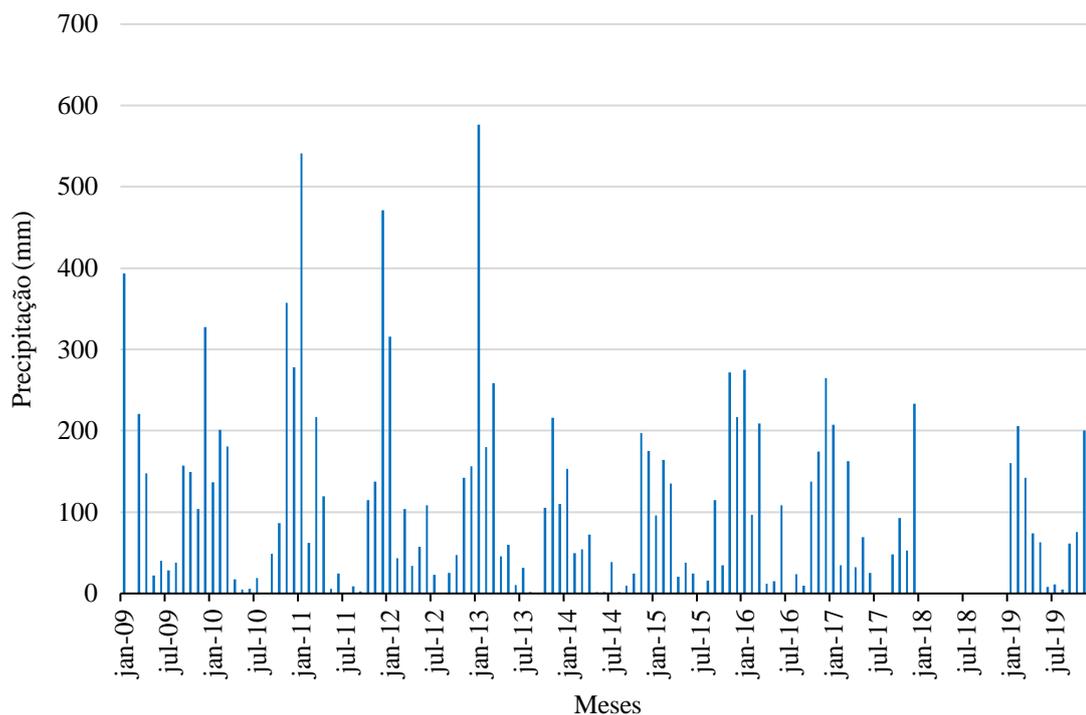
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 8 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas



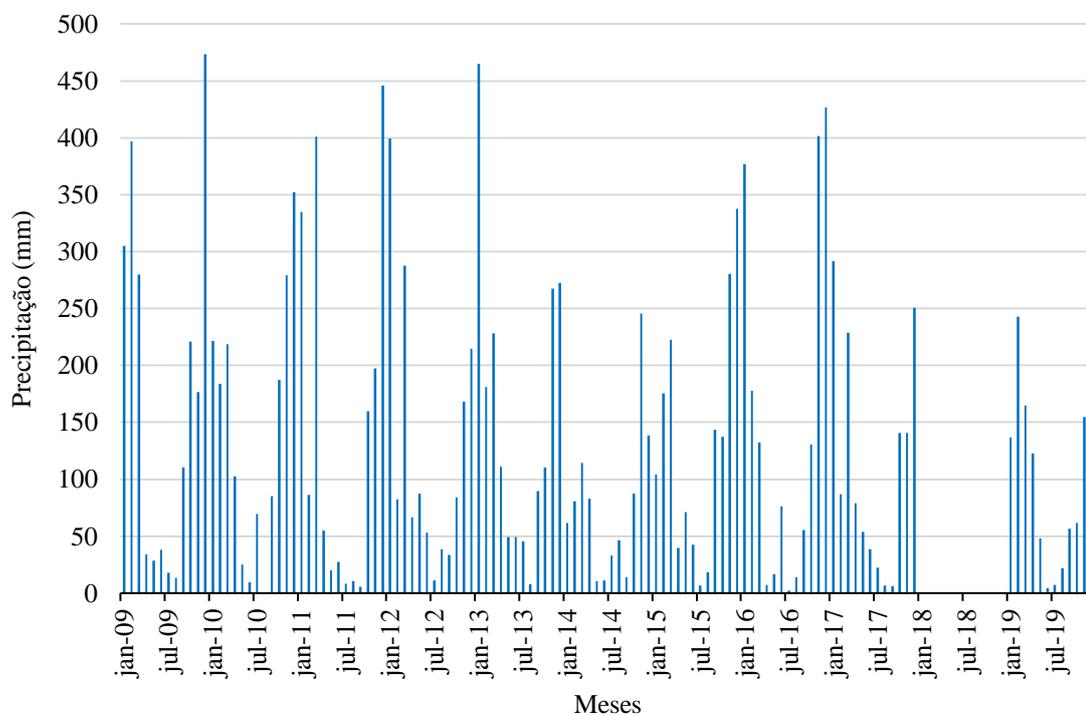
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 9 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Campo das Vertentes



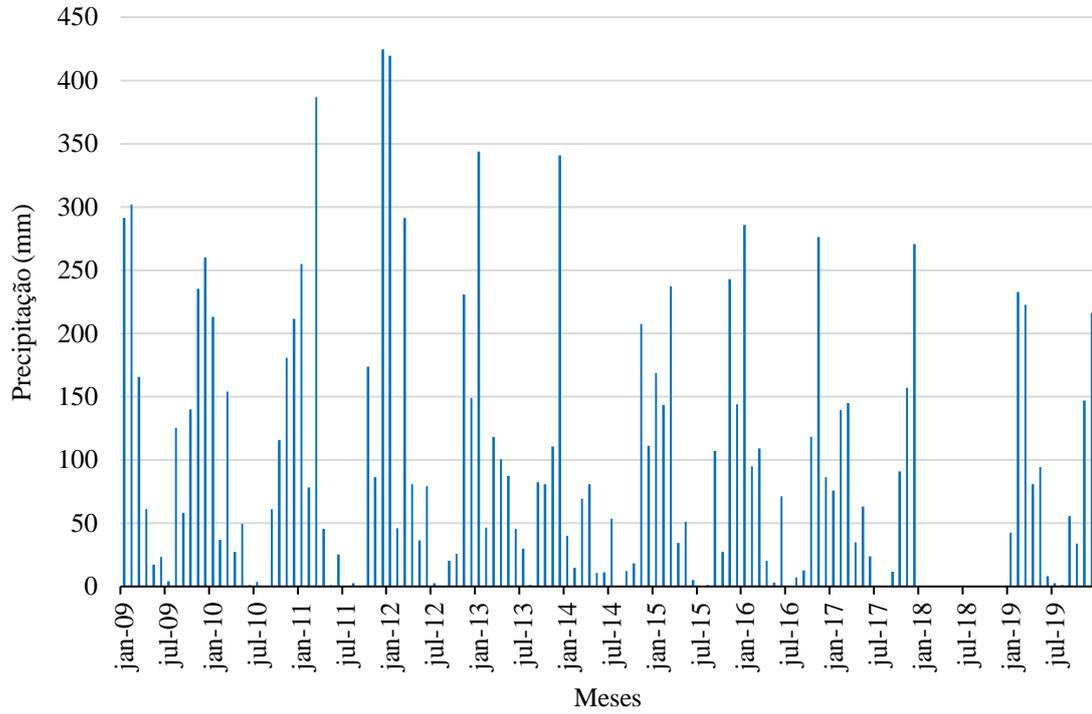
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 10 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Zona da Mata



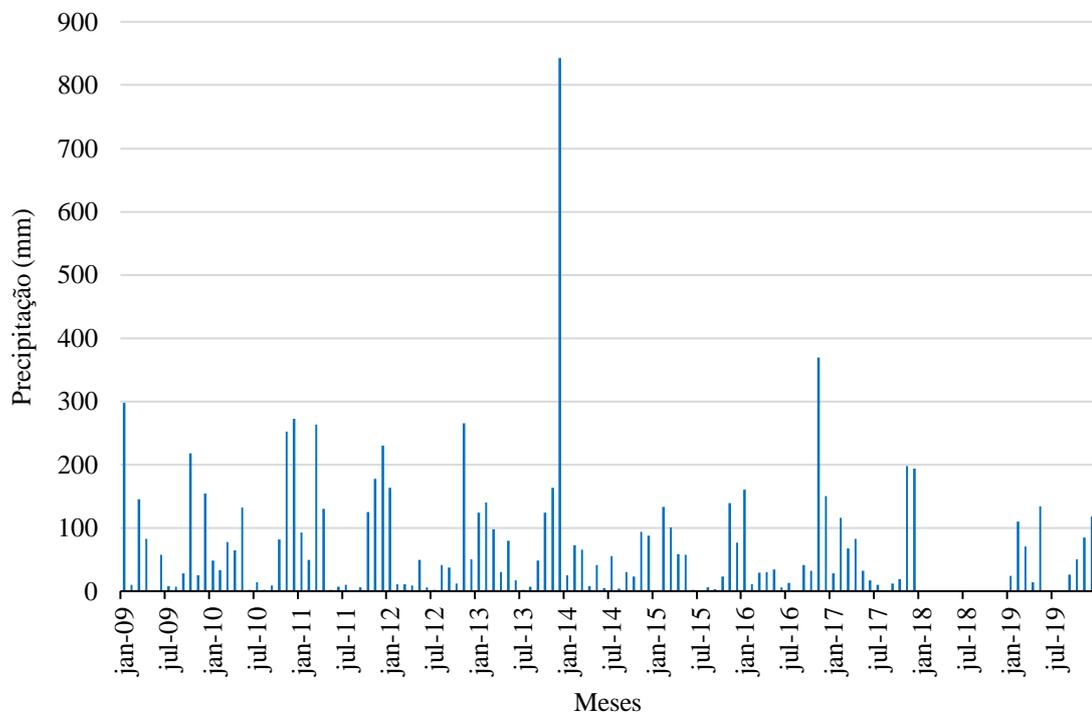
Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 11 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Oeste de Minas



Fonte: Do autor (2021).

Gráfico 12 – Dados de precipitação mensal da mesorregião Vale do Rio Doce



Fonte: Do autor (2021).

Utilizando o *software* Excel®, versão 2019, foi realizada a média aritmética dos valores para a obtenção da precipitação média mensal (P_m) de todos os meses do ano, para cada mesorregião. Para o cálculo da precipitação média anual (P_a), somou-se as médias mensais. Já para a determinação da precipitação média diária (P_d), realizou-se o somatório destas e dividiu pelo número de dias do ano em análise.

Para o cálculo das precipitações médias diárias trimestrais, realizou-se a razão do somatório das precipitações médias diárias a cada três meses pela quantidade de dias presentes em cada trimestre estudado, sendo o primeiro composto pelos meses de janeiro, fevereiro e março, o segundo por abril, maio e junho, o terceiro por julho, agosto e setembro e o último pelos meses de outubro, novembro e dezembro.

Para o cálculo das precipitações médias diárias do período chuvoso ($P_{d,ch}$) e do período de estiagem ($P_{d,se}$), foi estabelecido que os meses em que a precipitação média mensal fosse inferior à 60 mm, esses dados seriam contabilizados para o cálculo da precipitação média diária do período de estiagem, e as precipitações acima de 60 mm, contabilizadas para o período chuvoso. Com isso, após realizar a soma das precipitações dos meses chuvosos, dividiu-se o valor obtido pelo total de dias que compõem essa época. O mesmo raciocínio foi aplicado para o período de estiagem. Após a determinação das precipitações, realizou-se o cálculo do coeficiente de variação (Equação 12), a fim de analisar a homogeneidade dos valores encontrados.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 \quad (12)$$

Em que:

CV = coeficiente de variação, dado em porcentagem;

S = desvio padrão, dado em mm;

\bar{X} = média aritmética dos valores, dado em mm.

Realizou-se ainda o cálculo da amplitude para a precipitação média mensal (A_p), a qual é dada pela diferença entre o maior e menor valor de precipitação média da série estudada, no intuito de avaliar sua dispersão. Os dados estatísticos de precipitação de cada mesorregião encontram-se dispostos na Tabela 5.

Tabela 5 – Índices estatísticos representativos das séries de precipitação pluvial de cada mesorregião.

Mesorregião	P_d (mm)	P_m (mm)	P_a (mm)	P_{d,1°} (mm)	P_{d,2°} (mm)	P_{d,3°} (mm)	P_{d,4°} (mm)	P_{d,ch} (mm)	P_{d,se} (mm)	CV	A_p (mm)
Noroeste de Minas	3,05	92,02	1104,21	5,18	2,92	0,13	3,90	6,01	0,52	0,16	38,85
Norte de Minas	2,34	71,27	855,23	4,22	0,59	0,15	4,42	5,67	0,45	0,33	69,70
Jequitinhonha	2,50	76,23	914,75	3,17	0,93	0,27	5,65	5,63	0,56	0,35	90,04
Vale do Mucuri	2,73	83,07	996,79	3,24	1,38	0,67	5,62	5,69	0,73	0,27	60,11
Triângulo Mineiro e Alto do Parnaíba	3,24	98,70	1184,38	5,29	1,64	0,32	5,75	5,86	0,48	0,21	71,45
Central de Minas	2,82	85,82	1029,85	4,37	1,17	0,18	5,57	5,63	0,51	0,26	68,71
Metropolitana de Belo Horizonte	3,60	109,63	1315,53	5,65	1,78	0,66	6,33	5,90	0,59	0,25	82,29
Sul e Sudoeste de Minas	4,02	122,24	1466,87	7,07	1,99	1,12	5,93	5,92	0,80	0,16	77,39
Campo das Vertentes	3,55	105,63	1267,57	6,18	1,40	0,79	5,54	6,05	0,66	0,27	77,03
Zona da Mata	4,35	132,50	1589,97	7,39	1,61	1,09	7,35	6,62	0,83	0,22	97,37
Oeste de Minas	3,29	100,14	1201,72	5,73	1,40	0,71	5,34	5,58	0,65	0,25	87,92
Vale do Rio Doce	2,42	73,73	884,79	2,86	1,31	0,46	5,06	5,22	0,63	0,39	97,02

Em que:

P_d = Precipitação média diária, dado em mm;

P_m = Precipitação média mensal, dado em mm;

P_a = Precipitação média anual, dado em mm;

P_{d,1°} = Precipitação média diária do 1° trimestre, dado em mm;

P_{d,2°} = Precipitação média diária do 2° trimestre, dado em mm;

P_{d,3°} = Precipitação média diária do 3° trimestre, dado em mm;

P_{d,4°} = Precipitação média diária do 4° trimestre, dado em mm;

P_{d,ch} = Precipitação média diária do período chuvoso, dado em mm;

P_{d,se} = Precipitação média diária do período de estiagem, dado em mm;

CV = Coeficiente de variação da precipitação média diária, adimensional;

A_p = Amplitude da precipitação média mensal, dado em mm.

Fonte: Do autor (2021).

3.3 Cenário de dimensionamento

Para o dimensionamento, foram realizadas simulações adotando as seguintes premissas:

- Área de captação de 100 m²;
- Demanda diária de água potável de 100, 150, 200 e 300 litros per capita;
- Residências compostas por três moradores;
- Porcentagem de substituição de água potável por pluvial de 25%, 35%, 45% e 55%;
- Coeficiente de escoamento superficial igual a 0,80 (Telha cerâmica).

Dessa forma, os cenários estabelecidos nessas condições encontram-se dispostos na Tabela 6.

Tabela 6 – Cenários adotados para o dimensionamento.

Cenário	Demanda de Água Potável (L/hab./dia)	Porcentual de substituição (%)	Demanda de Água Pluvial (L/dia)
1	100	25	75,00
2		35	105,00
3		45	135,00
4		55	165,00
5	150	25	112,50
6		35	157,50
7		45	202,50
8		55	247,50
9	200	25	150,00
10		35	210,00
11		45	270,00
12		55	330,00
13	300	25	225,00
14		35	315,00
15		45	405,00
16		55	495,00

Fonte: Do autor (2021).

Diante de cada um desses cenários, foi aplicado um modelo comportamental, o qual simula a operação do reservatório em um determinado período de tempo, realizando um balanço de massa contínuo, por meio de algoritmos que descrevem sua operação. Dentre os modelos mais simples estão os propostos por Jenkins et al. (1978), os quais são chamados de *Yield After*

Spill (YAS), e *Yield Before Spill* (YBS), que significam Armazenamento Depois do Consumo e Armazenamento Antes do Consumo, respectivamente.

Para o modelo YBS, a demanda é atendida enquanto ainda está chovendo ou logo depois da chuva, uma vez que a água precipitada é contabilizada antes do extravasamento da cisterna. Já para o modelo YAS o volume de água coletado será utilizado no dia seguinte, após o extravasamento do reservatório (SOUZA; ANDRADE NETO; MAIA, 2017). O algoritmo YBS é definido conforme as Equações 13 e 14.

$$Y_{(t)} = \min \left\{ \begin{array}{l} D_{(t)} \\ V_{(t-1)} + Q_{(t)} \end{array} \right. \quad (13)$$

$$V_{(t)} = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{(t-1)} + Q_{(t)} - Y_t \\ S \end{array} \right. \quad (14)$$

Em que:

$Y_{(t)}$ = produção de chuva no sistema, responsável por suprir a demanda no dia t (m^3);

$D_{(t)}$ = demanda de água pluvial no dia t (m^3);

$V_{(t-1)}$ = volume de chuva no reservatório no dia anterior (m^3);

$V_{(t)}$ = volume de chuva no reservatório no dia t (m^3);

$Q_{(t)}$ = volume total de chuva coletado pelo sistema no dia t (m^3);

S = capacidade do reservatório de armazenamento (m^3).

Já algoritmo YAS pode ser visto nas Equações 15 e 16, onde as descrições das variáveis e dos índices nessas equações são iguais as das Equações 13 e 14.

$$Y_{(t)} = \min \left\{ \begin{array}{l} D_{(t)} \\ V_{(t-1)} \end{array} \right. \quad (15)$$

$$V_{(t)} = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{(t-1)} + Q_{(t)} - Y_t \\ S - Y_{(t)} \end{array} \right. \quad (16)$$

Para este estudo foi aplicada a metodologia de balanço contínuo por meio do algoritmo YAS, uma vez que apresenta valores mais conservadores.

Com a aplicação do algoritmo, foi possível determinar o volume máximo do reservatório, bem como sua eficiência frente ao atendimento dos volumes demandados para os cenários em estudo, conforme apresentado por Fewkes (1999) na Equação 17.

$$E = \left(\frac{\sum_{t=1}^T Y_t}{\sum_{t=1}^T D_t} \right) \times 100 \quad (17)$$

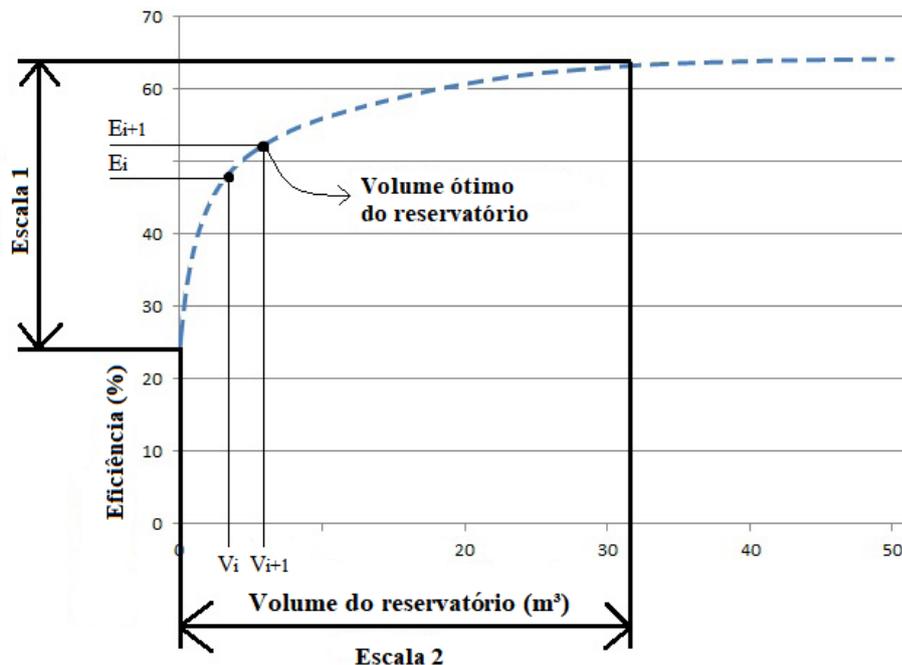
Onde:

E = eficiência do sistema em atender a demanda, dado em porcentagem (%);

T = tempo total da série estudada, dado em dias.

Além disso, foi calculado o volume ótimo de cada cenário, cujo valor é fixado através de considerações dilucidadas pela Figura 4 e pela Equação 18 e encontra-se na maior inclinação da curva de eficiência, onde a partir desse valor a curva apresenta comportamento assintótico (SAMPAIO; ALVES, 2017). Ou seja, o volume ótimo é caracterizado como o volume ideal do reservatório, em que a partir deste valor qualquer incremento de volume não representará ganho de eficiência em mesma proporção.

Figura 4 – Exemplo de resultados da simulação: volume do reservatório (m³) em função da eficiência de economia de água (%), indicando o volume ótimo do reservatório do sistema de captação e aproveitamento de água pluvial



Fonte: Adaptado de Sampaio e Alves (2017).

$$\frac{E_{i+1} - E_i}{V_{i+1} - V_i} \leq \frac{\text{Escala 1}}{\text{Escala 2}} \quad (18)$$

Em que:

E_i = eficiência de economia de água, dado em porcentagem (%);

V_i = volume do reservatório, dado em m³.

Dessa forma, quando é atendida as condições da Equação 18, o volume ótimo admite o valor de V_{i+1} . Nos Apêndices A à L encontram-se dispostos os volumes máximos e ótimos, bem como suas respectivas eficiências para cada mesorregião, cujos valores serão as respostas dos modelos matemáticos desenvolvidos.

3.4 Desenvolvimento de equações empíricas

De posse dos parâmetros estatísticos das precipitações e dos volumes necessários para atender a demanda de cada cenário em estudo, foram desenvolvidas equações empíricas, em nível regional para o estado de Minas Gerais. Para tal feito, foi realizada uma combinação dos parâmetros estatísticos calculados das precipitações com a demanda de cada cenário no intuito de obter o valor mais próximo possível do volume, seja ele máximo ou ótimo, da cisterna. Assim, utilizando a ferramenta solver do *software* Excel®, foi realizado uma regressão não linear pelo método GRG não linear, ajustando os coeficientes das equações para o cenário característico de cada mesorregião.

Para a avaliação dos modelos, foram considerados o coeficiente de determinação (R^2), dado pela Equação 19 e a raiz do erro quadrático médio (REQM) produzido pelos modelos em relação aos dados originais, conforme a Equação 20.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (19)$$

Em que:

\hat{y}_i = valor estimado;

\bar{y} = média das observações;

y_i = valor observado.

$$\text{REQM} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (20)$$

Onde:

n = número total de pares de dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos dados dos volumes ótimos e máximos pôde-se observar que cada mesorregião apresentou dois comportamentos bem característicos em ambos os volumes. A primeira região de comportamento, foi caracterizada pelos dados ascendentes da curva, enquanto a segunda região de comportamento pelos dados descensionais. Essa mudança de comportamento dos dados obtidos ocorreu em determinado valor de demanda, sendo necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos para cada região de tendência desses dados.

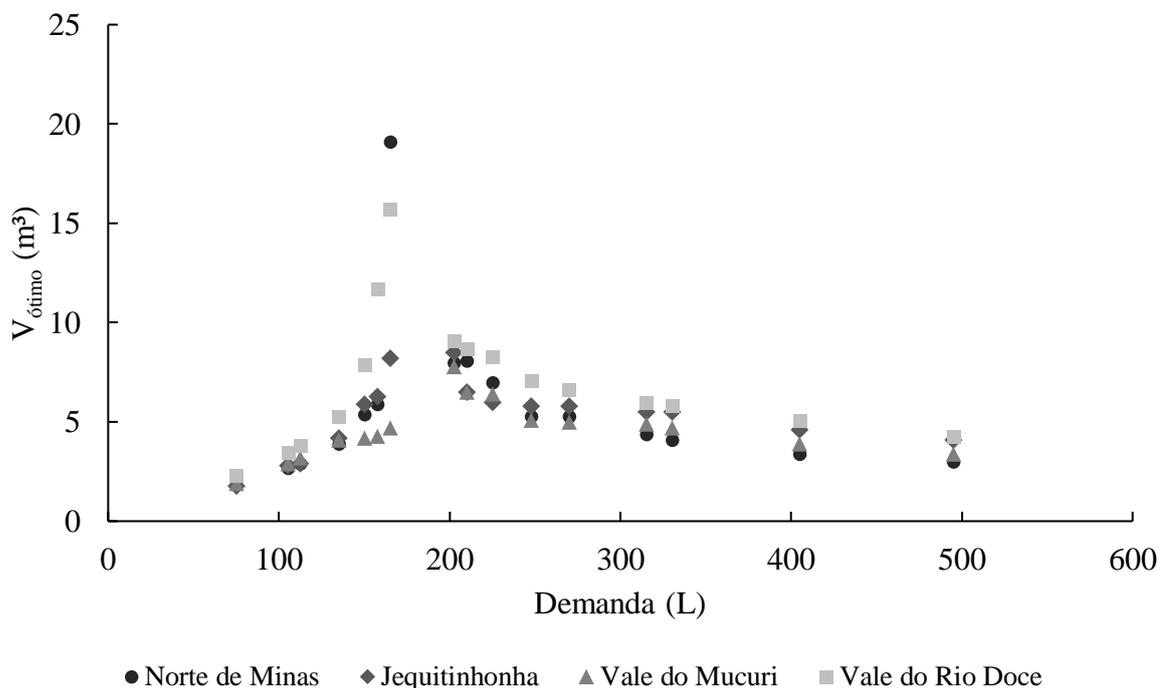
Dessa forma, empregando-se a análise de regressão, as equações matemáticas foram determinadas por meio de ajustes potenciais, logarítmicos, lineares e exponenciais, combinando as variáveis de precipitação com a demanda média diária.

4.1 Modelos matemáticos para determinação do volume ótimo

Ao analisar as eficiências dos volumes ótimos, valores estes dispostos nos Apêndices A à L, observou-se que com o aumento da demanda diária pluvial, as eficiências diminuíram. Entretanto, em alguns casos observou que a eficiência aumentou e posteriormente voltou ao decaimento. Essa ocorrência se deu devido ao delongamento da convergência do potencial de economia para o percentual máximo de substituição de água potável por pluvial, gerando assim alguns pontos discrepantes de volume ótimo em algumas mesorregiões. No geral, as eficiências foram maiores que 50% para os valores iniciais de demanda.

No Gráfico 13 é apresentado o comportamento dos dados do volume ótimo para as mesorregiões Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce.

Gráfico 13 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Norte de Minas, Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce



Fonte: Do autor (2021).

Ao analisar o Gráfico 13 pôde-se observar que as mesorregiões agrupadas mostraram comportamentos bem semelhantes para os volumes ótimos, e isso deve-se à proximidade destas, bem como a distribuição pluvial. Conforme visto nos índices estatísticos dispostos na Tabela 5, essas localidades apresentaram os menores valores de precipitação média anual, levando conseqüentemente, aos menores valores de precipitação média mensal e diária. A precipitação média diária do primeiro trimestre dessas regiões, apresentaram também valores abaixo de 4,25 mm.

Sendo assim, para as mesorregiões Norte de Minas e Vale do Rio Doce, foi considerado um comportamento até a demanda de 165 L. Para a primeira região de comportamento dos volumes do Norte de Minas foram desenvolvidos 46 modelos matemáticos, utilizando todos os ajustes estabelecidos (APÊNDICE M). Notou-se que para este primeiro comportamento os modelos exponenciais apresentaram os melhores coeficientes de determinação e raiz do erro quadrático médio, cujos valores foram 0,9786 e 0,21 m³, respectivamente. Para o segundo comportamento desta mesorregião, apenas 22 modelos foram desenvolvidos (APÊNDICE N), pois os ajustes lineares e logarítmicos não caracterizaram muito os dados observados. Os modelos potenciais, por outro lado, apresentaram valores mais próximos aos dados observados,

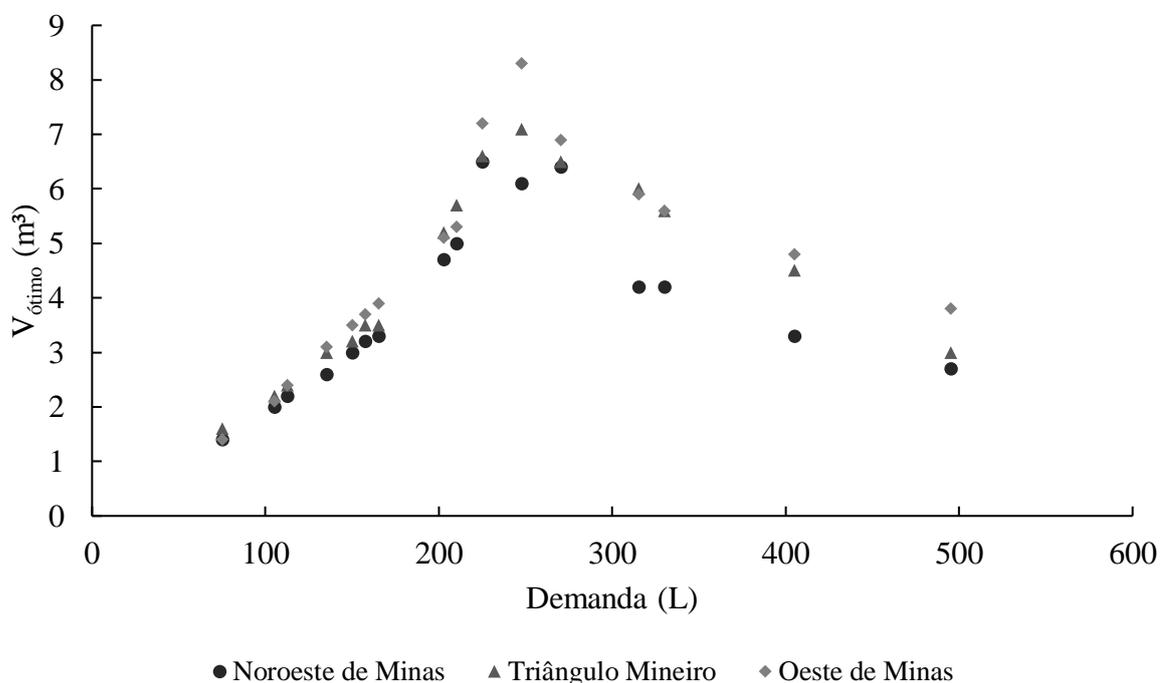
compreendendo um valor para o R^2 de 0,9113 e 1,43 m³ para o REQM, quando comparados aos valores de 0,8631 e 1,92 m³, dos modelos exponenciais.

Para o Vale do Rio Doce, foram desenvolvidos 34 modelos para o primeiro comportamento de dados do gráfico (APÊNDICE O), onde os 12 primeiros foram ajustados potencialmente, outros 10 linearmente e os demais exponencialmente. Ao comparar os resultados obtidos, os modelos exponenciais apresentaram os maiores valores para o coeficiente de determinação e os menores valores para a REQM. Já para o segundo comportamento, 46 modelos foram elaborados (APÊNDICE P), sendo os modelos potenciais com melhor acurácia para estimar os dados observados ($R^2 = 0,9808$ e $REQM = 0,22$ m³).

Com relação às mesorregiões Jequitinhonha e Vale do Mucuri, foi observado que em ambas as regiões houve mudança de comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 202,5 L. Dentre os modelos desenvolvidos, os quais encontram-se dispostos nos Apêndices Q a T, os modelos exponenciais caracterizaram melhor os dados do Jequitinhonha, enquanto os ajustes logarítmicos apresentaram maior aptidão aos volumes obtidos para a mesorregião Vale do Mucuri, sendo estes modelos para a primeira tendência dos volumes ótimos. Já para o segundo comportamento, em ambas as regiões, os modelos potenciais puderam representar os dados observados.

Para o comportamento dos volumes ótimos das mesorregiões Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba e Oeste de Minas, o Gráfico 14 é mostrado.

Gráfico 14 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba e Oeste de Minas



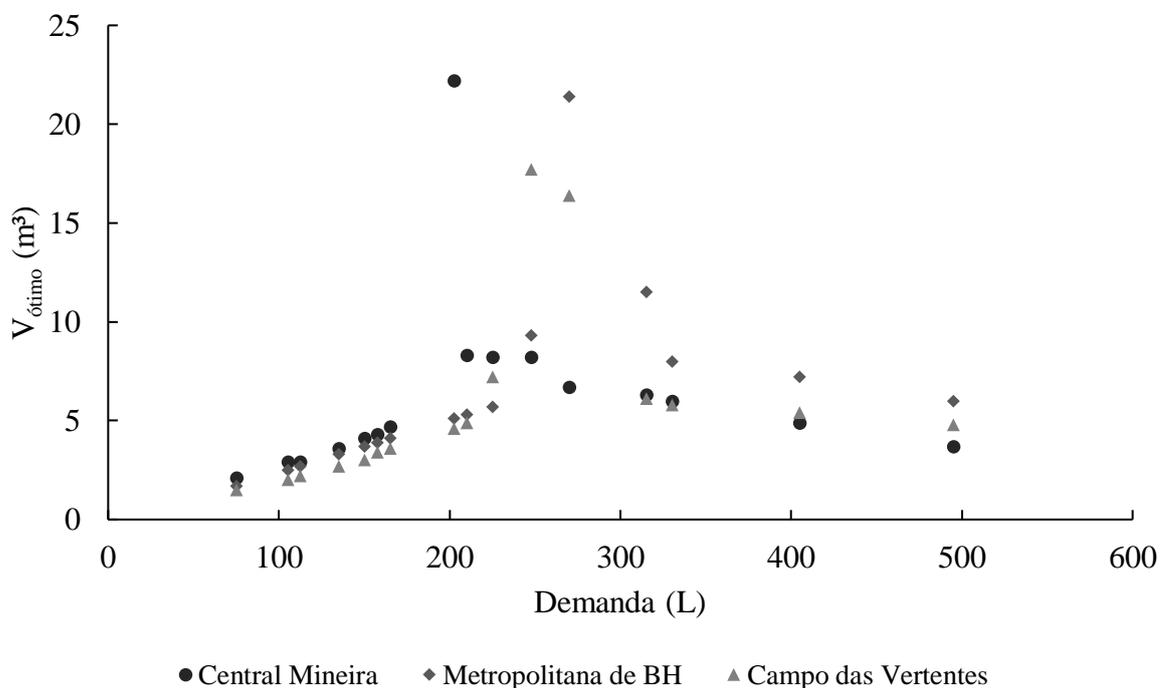
Fonte: Do autor (2021).

Ao analisar este gráfico, constatou-se a similaridade da predisposição dos dados de volume ótimo até a demanda de 225 L para ambas as mesorregiões. Após este valor, observou-se que os valores obtidos para o Noroeste de Minas continuaram com a mesma tendência de comportamento das demais, entretanto com valores de volume ótimo mais baixos.

Com relação aos modelos matemáticos desenvolvidos (APÊNDICES U a Z), o ajuste exponencial conseguiu explicar mais de 99% dos dados observados para as mesorregiões Noroeste de Minas e Triângulo Mineiro e aproximadamente 97% para a mesorregião Oeste de Minas, de acordo com o coeficiente de determinação. O REQM para o primeiro comportamento destas regiões também foi baixo, cujos valores foram de 0,06 a 0,35 m³. Para a segunda tendência dos volumes, os modelos potenciais caracterizaram melhor os dados do Noroeste de Minas e Oeste de Minas, enquanto os lineares a mesorregião Triângulo Mineiro.

No Gráfico 15 estão expostos os dados de volume ótimo das mesorregiões Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte e Campo das Vertentes.

Gráfico 15 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Central Mineira, Metropolitana de Belo Horizonte e Campo das Vertentes



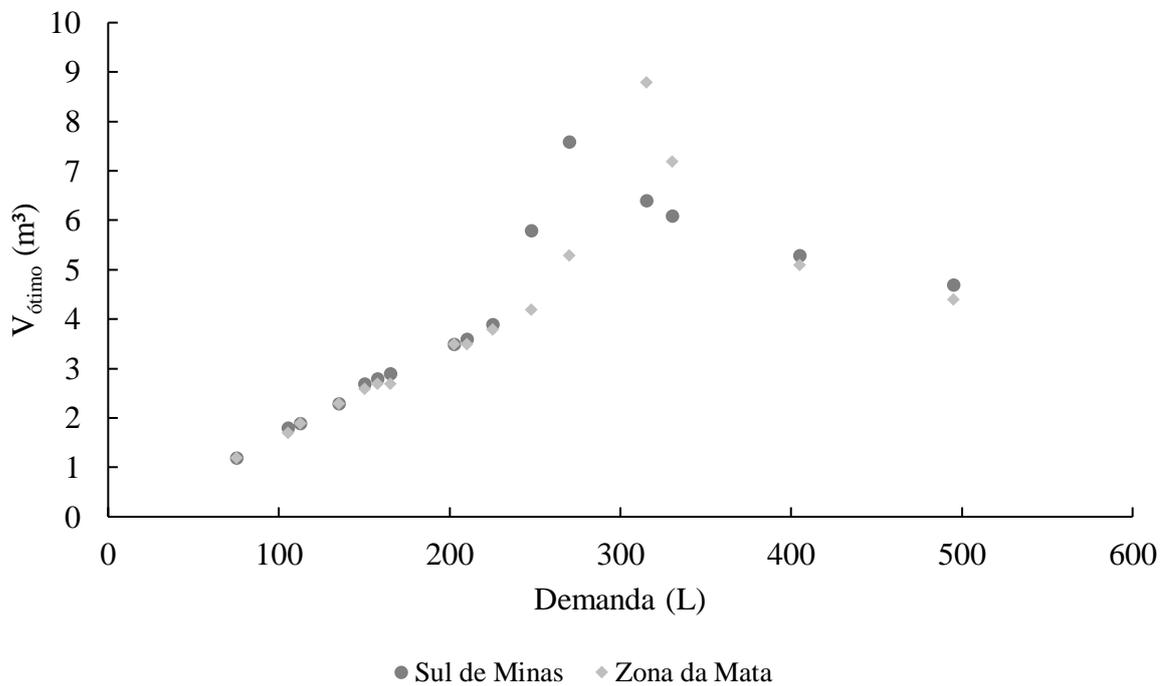
Fonte: Do autor (2021).

É constatado pelo gráfico que estas mesorregiões apresentaram para os primeiros valores de demanda diária, volumes ótimos congêneres. Após a demanda de 165 L, houve uma desarmonia entre os comportamentos destas regiões, devido aos pontos discrepantes de volume ótimo apresentados por ambas. Entretanto, a tendência dos dados volta a ser similares a partir da demanda de 330 L.

No que diz respeito às equações matemáticas, dispostas nos Apêndices AA a AF, obteve-se os melhores valores de R^2 e REQM, por meio dos modelos exponenciais para a primeira região de comportamento dos dados. Para a segunda região, foram obtidos 46 modelos através de todos os ajustes estabelecidos para a mesorregião Central Mineira. Dentre estes modelos, os logarítmicos e exponenciais conseguiram explicar aproximadamente 97% dos dados observados, com raiz do erro quadrático médio igual à 0,27 m³. Para as demais mesorregiões analisadas, apenas os ajustes potenciais e exponenciais conseguiram elucidar os dados observados no segundo comportamento.

Os volumes ótimos em função da demanda diária do Sul de Minas e Zona da Mata, podem ser examinados por meio do Gráfico 16.

Gráfico 16 – Comportamento do volume ótimo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Sul e Sudoeste de Minas e Zona da Mata



Fonte: Do autor (2021).

Percebe-se que os dados observados em ambas as mesorregiões designaram mesmo comportamento. Essa semelhança foi verificada também nos dados estatísticos, cujos valores de precipitação média anual foram os maiores nessas regiões, assim como os valores de precipitação média do período de estiagem e para o primeiro, terceiro e quarto trimestre. Com isso, os modelos matemáticos (APÊNDICES AG a AJ) seguiram essa tendência. Logo, as regressões exponenciais descreveram melhor os volumes ótimos do primeiro comportamento, enquanto os potenciais o do segundo.

De posse dos melhores ajustes, foi evidenciado um modelo matemático para cada comportamento dos dados de volume ótimo para cada mesorregião, levando em consideração o maior valor do coeficiente de determinação, menor valor da raiz do erro quadrático médio e facilidade da aquisição dos dados de precipitação, cujos modelos foram dispostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Melhores modelos matemáticos para estimativa do volume ótimo de reservatórios para aproveitamento de água pluviais para cada região de comportamento em cada mesorregião mineira.

Mesorregião	Modelo matemático para:	
	1ª região de comportamento	2ª região de comportamento
Noroeste de Minas	$V = 0,0071P_a A e^{8,8265D_d}$	$V = 0,0042 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,1943}$
Norte de Minas	$V = 0,0054P_a A e^{14,4344D_d}$	$V = 0,0046 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-2,6074}$
Jequitinhonha	$V = 0,0034P_a A e^{18,2883D_d}$	$V = 0,1163 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,6542}$
Vale do Mucuri	$V = 3,4930 \ln(D_d) + 0,0986P_a A$	$V = 0,5192 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,8798}$
Triângulo Mineiro	$V = 0,0074P_a A e^{9,2421D_d}$	$V = -16,1289D_d + 0,0996P_a A$
Central Mineira	$V = 0,0084A_p A e^{32,1361D_d}$	$V = 0,1413P_a A e^{-2,8903D_d}$
Metropolitana de BH	$V = 0,0083P_a A e^{8,8523D_d}$	$V = 0,0067 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-2,9980}$
Sul de Minas	$V = 0,0070P_a A e^{7,7552D_d}$	$V = 0,4301 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,8062}$
Campo das Vertentes	$V = 0,0061P_a A e^{10,0148D_d}$	$V = 0,0044 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-3,0204}$
Zona da Mata	$V = 0,0085P_a A e^{6,3334D_d}$	$V = 0,0010 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,5355}$
Oeste de Minas	$V = 0,0074P_a A e^{9,3794D_d}$	$V = 0,0093 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,1055}$
Vale do Rio Doce	$V = 0,0126P_m A e^{29,3638D_d}$	$V = 0,0390 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,8614}$

Em que:

V = volume ótimo, em m³;

P_a = precipitação média anual, em m;

D_d = demanda média diária, em m³;

P_m = precipitação média mensal, em m;

A = área de captação, em m²;

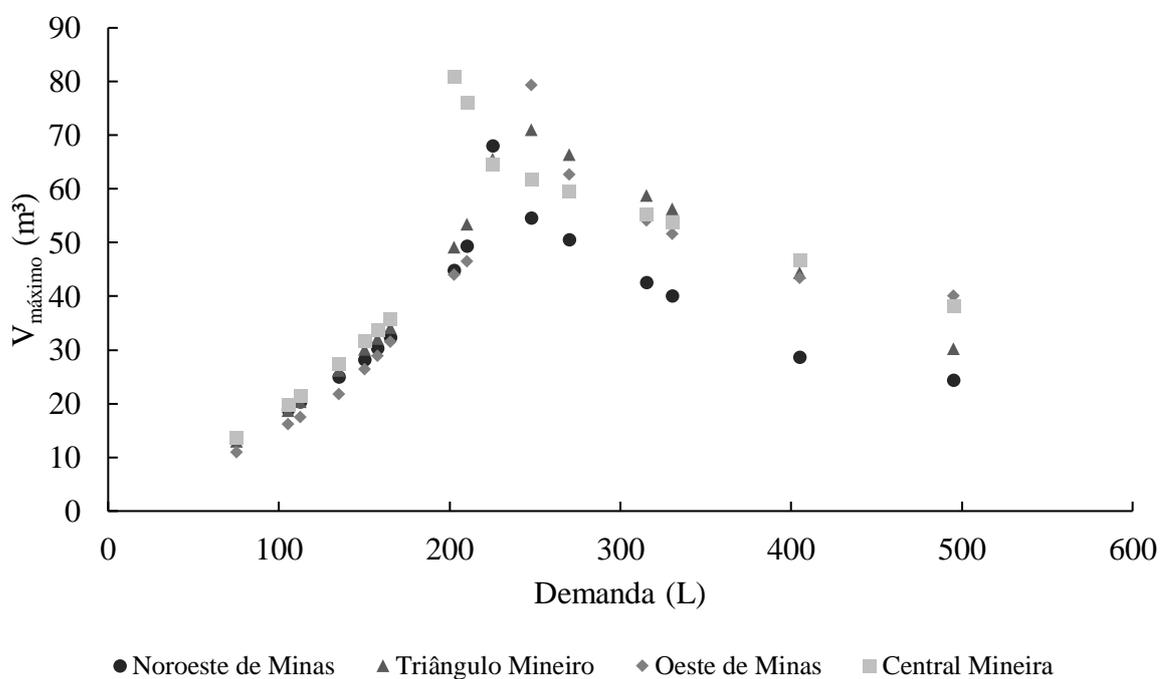
A_p = amplitude da precipitação média mensal, em m.

Fonte: Do autor (2021).

m³. Com isso, pode-se perceber que as mesmas regressões que explanaram os volumes ótimos, também pode elucidar os volumes máximos. Os modelos desenvolvidos para essa segunda região de tendência dos dados destas regiões encontram-se externados nos Apêndices AO a AR.

Estão expostos no Gráfico 18, o comportamento dos volumes máximos das mesorregiões Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba, Oeste de Minas e Central Mineira.

Gráfico 18 – Comportamento do volume máximo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Noroeste de Minas, Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba, Oeste de Minas e Central Mineira



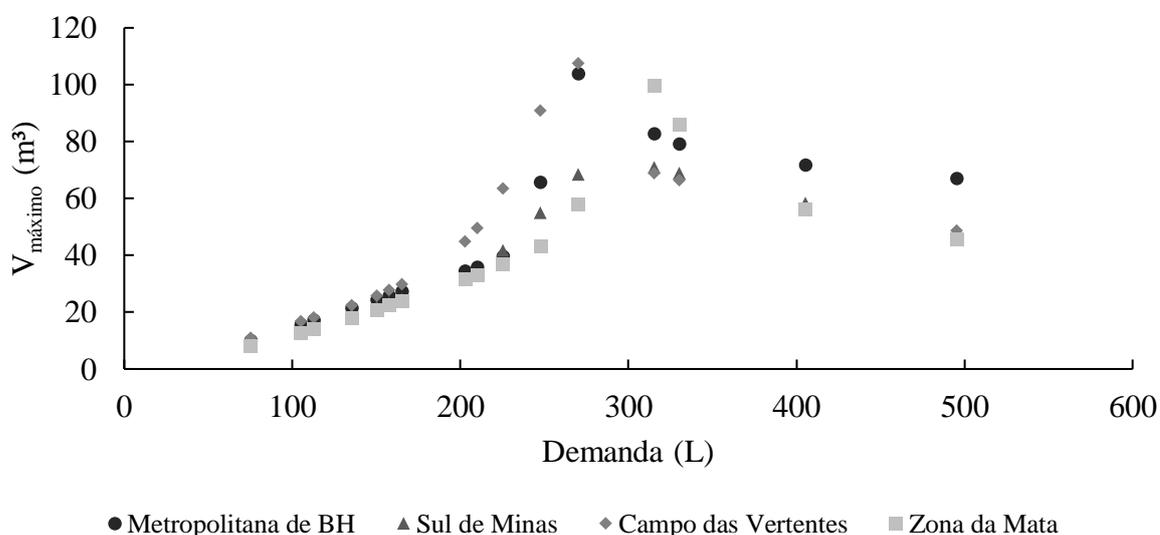
Fonte: Do autor (2021).

Por este gráfico, pode-se observar o comportamento parecido dos volumes máximos para ambas as mesorregiões em questão. Dessa forma, para o primeiro comportamento os modelos matemáticos exponenciais foram adotados para as regiões Noroeste de Minas e Triângulo Mineiro, uma vez que apresentaram para o coeficiente de determinação valores superiores à 0,9965 e, para a raiz do erro quadrático médio valores inferiores à 1,0 m³. Para o Oeste de Minas, também foi adotado os ajustes exponenciais, entretanto estes não conseguiram explicar aproximadamente 3% dos dados observados. E para a Central Mineira as regressões potenciais explanaram 99,81% dos volumes observados. Nos Apêndices AS a AV, encontram-se os modelos matemáticos elaborados.

Para o segundo comportamento, conforme observado nos modelos dos Apêndices AW a AZ, os potenciais caracterizaram melhor os dados das mesorregiões Noroeste de Minas, Oeste de Minas e Central Mineira, enquanto os modelos lineares os volumes do Triângulo Mineiro.

No Gráfico 19 é evidenciado os dados comportamentais do volume máximo das mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte, Sul de Minas, Campo das Vertentes e Zona da Mata.

Gráfico 19 – Comportamento do volume máximo do reservatório em função da demanda para as mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte, Sul e Sudoeste de Minas, Campo das Vertentes e Zona da Mata



Fonte: Do autor (2021).

Para a primeira propensão dos dados de volume, os modelos exponenciais foram os que mais se ajustaram aos valores observados. Já para o segundo comportamento, os modelos potenciais foram melhor ajustados aos volumes máximos obtidos para as mesorregiões Metropolitana de BH, Campo das Vertentes e Zona da Mata. Para a região do Sul de Minas, os modelos lineares conseguiram explicar 100% desta segunda tendência dos dados, apresentando um valor de 0,05 m³ para a raiz do erro quadrático médio. Os modelos desenvolvidos para ambos os comportamentos destas regiões são apresentados nos Apêndices BA a BH.

Assim como para o volume ótimo, foi destacado um modelo matemático para cada comportamento dos dados de volume máximo para cada mesorregião, levando em consideração o maior valor do coeficiente de determinação, menor valor da raiz do erro quadrático médio e facilidade da aquisição dos dados de precipitação, cujos modelos foram dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Melhores modelos matemáticos para estimativa do volume máximo de reservatórios para aproveitamento de água pluviais para cada região de comportamento em cada mesorregião mineira.

Mesorregião	Modelo matemático para:	
	1ª região de comportamento	2ª região de comportamento
Noroeste de Minas	$V = 0,0650P_aAe^{9,1224D_d}$	$V = 0,0188 \left(\frac{D_d}{P_aA} \right)^{-1,3160}$
Norte de Minas	$V = 0,0248P_aAe^{18,9342D_d}$	$V = 0,9484 \left(\frac{D_d}{P_aA} \right)^{-0,6648}$
Jequitinhonha	$V = 0,0251P_aAe^{18,0985D_d}$	$V = 11,6795 \left(\frac{D_d}{P_aA} \right)^{-0,2757}$
Vale do Mucuri	$V = 272,8881D_d - 0,0930P_aA$	$V = 2,7266 \left(\frac{D_d}{P_aA} \right)^{-0,4840}$
Triângulo Mineiro	$V = 0,0569P_aAe^{10,3057D_d}$	$V = -163,1829D_d + 1,0013P_aA$
Central Mineira	$V = 1972,8675 \left(\frac{D_d}{A_pA} \right)^{1,2712}$	$V = 0,6224 \left(\frac{D_d}{P_aA} \right)^{-0,7628}$
Metropolitana de BH	$V = 0,0465P_aAe^{9,8143D_d}$	$V = 1,1535 \left(\frac{D_d}{P_aA} \right)^{-0,7382}$
Sul de Minas	$V = 0,0417P_aAe^{9,9177D_d}$	$V = -139,8270D_d + 1,0404P_aA$
Campo das Vertentes	$V = 0,0372P_aAe^{12,1789D_d}$	$V = 9,7482 \left(\frac{D_d}{A_pA} \right)^{-0,7770}$
Zona da Mata	$V = 0,0482P_aAe^{8,7184D_d}$	$V = 0,8888 \left(\frac{D_d}{A_pA} \right)^{-1,8654}$
Oeste de Minas	$V = 0,0427P_aAe^{11,3375D_d}$	$V = 4,1256 \left(\frac{D_d}{A_pA} \right)^{-1,0447}$
Vale do Rio Doce	$V = 0,0212P_aAe^{20,4082D_d}$	$V = 15,2301 \left(\frac{D_d}{P_aA} \right)^{-0,2456}$

Em que:

V = volume máximo, em m^3 ;

P_a = precipitação média anual, em m;

D_d = demanda média diária, em m^3 ;

P_m = precipitação média mensal, em m;

A = área de captação, em m^2 ;

A_p = amplitude da precipitação média mensal, em m.

Fonte: Do autor (2021).

Diante dos melhores modelos auferidos, foi realizada uma comparação prática entre os modelos preconizados pela NBR 15527 (ABNT, 2007). Para tal feito, foram considerados os resultados obtidos no estudo de Rodrigues e Leite (2019). Sendo assim, os valores obtidos para o volume do reservatório, para os respectivos métodos, atender uma residência localizada em Uberlândia, composta por 3 pessoas, cuja demanda diária de água pluvial foi de 100 L/hab./dia, encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Volume do reservatório necessário para atender a demanda estabelecida, de acordo com cada método preconizado pela NBR 15527 (ABNT, 2007).

Método	V (m³)
Rippl	5,085
Simulação	6,000
Brasileiro	43,096
Alemão	1,940
Inglês	7,329
Australiano	82,947

Fonte: Adaptado de Rodrigues e Leite, (2019).

Ao analisar os dados da Tabela 9, notou-se que os resultados variam bastante entre si, o que pode causar dúvidas ao projetista em relação ao volume que deve ser adotado. Realizando o dimensionamento para este cenário de acordo com os modelos desenvolvidos por este trabalho, encontrou-se os valores de 6,96 m³ e 69,94 m³, para os volumes ótimo e máximo, respectivamente. Levando em consideração o volume ótimo, o qual seria o volume ideal e viável a ser admitido para o dimensionamento do reservatório, percebeu-se a necessidade da obtenção de ajustes matemáticos que caracterizam especificamente a região a qual será implantada o sistema de aproveitamento pluvial.

Conforme visto nas Equações 5 e 7, os modelos apresentados de Azevedo Neto e Inglês não levam em consideração os valores de demanda o que, em muitos casos, ocorre o superdimensionamento do reservatório, fato este observado no exemplo de comparação prática abordado. Para o método prático Alemão observou-se o subdimensionamento em decorrência da não consideração do balanço hídrico entre volume de captação e demanda de água pluvial. No método Australiano pode-se perceber o superdimensionamento, devido ao alto valor do balanço hídrico, para baixas demandas. Por fim, verificou-se que o volume obtido pelo modelo prático desenvolvido apresentou um valor próximo ao do método da simulação e, em função dos valores encontrados para o coeficiente de determinação, assim como para a raiz quadrada média dos erros, os modelos se mostraram confiáveis para a realização do dimensionamento dos

reservatórios, devido à boa aderência aos dados observados. Há de se salientar que ABNT (2019) determina como requisito de método a ser utilizado pelo projetista de reservatório para aproveitamento de águas pluviais, a consideração compulsória das demandas, inviabilizando o uso de vários métodos apresentados em ABNT (2007).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dos dados dos volumes ótimos e máximos pôde-se observar que cada mesorregião apresentou dois comportamentos bem característicos em ambos os volumes. A primeira região de comportamento foi caracterizada pelos dados ascendentes da curva, enquanto a segunda região de comportamento pelos dados descensionais.

Essa mudança de comportamento do volume ótimo ocorreu na demanda de 165 L para as mesorregiões Norte de Minas e Vale do Rio Doce; na demanda de 202,5 L para as mesorregiões Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Central Mineira; na demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas; na demanda de 247,5 L para as mesorregiões Triângulo Mineiro, Campo das Vertentes e Oeste de Minas; na demanda de 270 L nas mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte e Sul de Minas, e; na demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata.

Para o volume máximo, a mudança de comportamento ocorreu no mesmo valor de demanda verificada para volume ótimo, com exceção das mesorregiões Norte de Minas e Campo das Vertentes, cuja mudança de comportamento ocorreu no valor de demanda de 202,5 L e da mesorregião Campo das Vertente, em que o valor de demanda foi de 270 L. Dessa forma, foi necessário o desenvolvimento de modelos matemáticos para cada região de comportamento dos dados de volume ótimo e máximo.

Os modelos logarítmicos foram os que melhor se ajustaram aos valores obtidos de volume ótimo para a primeira região de comportamento da mesorregião Triângulo Mineiro, enquanto os modelos exponenciais explanaram estes mesmos dados para as demais mesorregiões. Já para a segunda região de comportamento dos volumes ótimos, os modelos lineares e exponenciais foram os mais precisos para as mesorregiões Triângulo Mineiro e Central Mineira, respectivamente. Os resultados obtidos para as demais localidades foram melhor explicados pelos modelos potenciais.

No que diz respeito aos valores de volume máximo, os modelos exponenciais apresentaram melhor acurácia à primeira região de comportamento desses dados nas mesorregiões, com exceção do Vale do Mucuri, em que os melhores modelos foram os lineares. Já para a segunda região de comportamento os modelos lineares apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação para as mesorregiões Triângulo Mineiro e Campo das Vertentes, enquanto para as demais mesorregiões os modelos potenciais que explicaram melhor os dados alcançados de volume máximo.

Em função dos valores encontrados para o coeficiente de determinação, assim como para a raiz quadrada média dos erros, os modelos desenvolvidos se mostraram confiáveis para a realização do dimensionamento dos reservatórios, devido à boa aderência aos dados de volume ótimo e máximo observados.

Para abordagens futuras, salienta-se para melhores resultados a aquisição de mais dados pluviométricos de cada mesorregião, assim como a consideração de mais cenários de dimensionamento, alterando a área de captação pluvial e números de habitantes, por exemplo.

REFERÊNCIAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Situação da água no mundo**. Brasília: ANA, 2020. Disponível em:

<<https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/agua-no-mundo>> Acesso em: 06 de out. de 2020.

AGSOLVE MONITORAMENTO AMBIENTAL. **Conhecimento do ciclo hidrológico das cidades facilita preservação**. AgSolve Monitoramento Ambiental, 2007. Disponível em:

<<https://www.agsolve.com.br/noticias/416/conhecimento-do-ciclo-hidrologico-das-cidades-facilita-preservacao->> Acesso em: 02 de out. de 2020.

AMORIM, S. V. de; PEREIRA, D. J. de A. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**.

Ambiente Construído, Porto Alegre, v.8, n. 2, abr./jun. 2008.

ANDRADE, V. H. de. **Ferramenta gráfica para i dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de águas pluviais. Estudo de caso na região Norte de Rondônia**.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844: Instalações hidráulicas de águas pluviais**. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.

BACCI, D. de L. C.; PATACA, E. M. **Educação para a água**. Estudos avançados, v. 22, n. 63, 2008.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações Hidráulicas e o Projeto de Arquitetura**. 7. ed. São Paulo: Blücher, 2013.

CARVALHO JÚNIOR, R. de. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias princípios básicos para elaboração de projetos**. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2014.

CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Hidrologia**. Apostila digital, 2006. Instituto de Tecnologia - Departamento de Engenharia - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>> Acesso em: 02 de out. de 2020.

Casa eficiente: uso racional da água / editores: Robert Lamberts... [et al.]. Florianópolis: UFSC/LabEE; 2010 v. 3

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O problema de escassez de água no mundo**. São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escasez-de-agua-no-mundo/>> Acesso em: 06 de out. de 2020.

COLLA, L. L. **Sistemas de Captação e Aproveitamento de Água de Chuva**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2008.

CREDER, H. **Instalações Hidráulicas e Sanitárias**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

FAVARO, P. P. F. **Indicação das patologias relacionadas as calhas com comparativo de dimensionamento utilizando a NBR 10844/1989 e a equação de chuva da cidade de Cuiabá-MT**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>> Acesso em: 20 de out. de 2020.

FEWKES, A. **Modelling the performance of Rainwater collection systems: towards a generalised approach**. Urban Water, v.1, 1999.

FONTANELA, F. **Avaliação de metodologias para dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água pluvial**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2010.

GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Localização Geográfica**, 2020. Disponível em: <<https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/localizacao-geografica#:~:text=As%20mesorregi%C3%B5es%20estabelecidas%20pelo,das%20Vertentes%20e%20Zona%20da>> Acesso em: 10 dez. 2020.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da Água da Chuva**. 1. ed. Curitiba: Organic Tranding, 2002.

GUIMARÃES, D. P; REIS, R. J. dos; LANDAU, E. C. **Índices Pluviométricos em Minas Gerais**. Sete Lagoa: EMPRAPA, 2010.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2020**, 2020. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>> Acesso em: 14 dez. 2020.

JENKINS, D. et al. **Feasibility of rainwater collection systems in California**. In: Contribution N. 173. California Water Resources Center. University of California, 1978.

MACINTYRE, A. J. **Instalações Hidráulicas: Prediais e Industriais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MANO, R. S. **Captação Residencial de Água Pluvial, para Fins Não Potáveis, em Porto Alegre: Aspectos Básicos da Viabilidade Técnica e dos Benefícios do Sistema**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis sem instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

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

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

NGIGI, S. N.; Optimization of rainwater catchment systems design parameters in the arid and semiarid lands of Kenya. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: Embrapa, 1999. Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 15 nov. 2020.

No Dia Mundial da Água, Guterres lembra que cerca de 2,2 bilhões carecem de água potável. ONU News, 2020. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2020/03/1708162>> Acesso em: 14 de out. de 2020.

O ciclo da água. Engenharia Onde Já Civil, 2011. Disponível em: <<https://engenhariaondejahcivil.blogspot.com/>> Acesso em: 02 de out. de 2020.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2019**: Não deixar ninguém para trás. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372882_por?fbclid=IwAR0yBI24uVUHZp5Gm4pLws8vYjRmdq4AX282A-aUfcpyXtYjC8olwrON4JA> Acesso em: 15 de out. de 2020.

PENA, R. F. A. **Atividades que mais consomem água**. Brasil Escola, 2020. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/geografia/atividades-que-mais-consomem-agua.htm>>. Acesso em: 17 de out. de 2020.

PEREIRA, M. M. **Aproveitamento de água da chuva no pavilhão de aula 1 da UFRB: Possibilidades e limitações**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2019.

RODRIGUES, L. V.; LEITE, M. P. **Viabilidade técnica e econômica do aproveitamento domiciliar de águas pluviais em municípios de regimes pluviométricos distintos**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

SAMPAIO, F. E. de O. V.; ALVEZ, C. de M. A. **Procedimento para análise da viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais em centros urbanos por meio de diagramas de pré-dimensionamento**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.22, e60, jun., 2017. Disponível em:
< <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/F5KBJsqjPBLQHKvgP6JBMMj/?lang=en> > Acesso em: 06 de fev. de 2021.

SNIRH – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.

SNIS – SECRETÁRIA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – 2018**. Disponível em:
<<http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico-SNIS-AE-2018-Capitulo-08.pdf>> Acesso em: 20 de nov. de 2020.

SOUSA, A. B. de; ANDRADE NETO, C. O. de; MAIA, A. G. **Análise dos métodos de dimensionamento de cisternas com base na avaliação de volumes calculados para zonas pluviais distintas**. Gesta, v. 5, n. 2, p. 147-160, 2017.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. Oceania, v. 65, n. 4, 2009.

TUCCI, Carlos E. M. Águas Urbanas. In: TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Noroeste de Minas.

Cenário	Demanda (L/dia)	V _{ótimo} (m ³)	E (%)	V _{máx.} (m ³)	E (%)
1	75,00	1,40	61,94	13,60	99,95
2	105,00	2,00	60,28	18,90	99,95
3	135,00	2,60	58,87	24,90	99,94
4	165,00	3,30	57,65	32,30	99,95
5	112,50	2,20	60,16	20,30	99,95
6	157,50	3,20	58,24	30,30	99,95
7	202,50	4,70	57,35	44,80	99,59
8	247,50	6,10	56,21	54,60	89,90
9	150,00	3,00	58,49	28,20	99,94
10	210,00	5,00	57,29	49,30	99,33
11	270,00	6,40	54,98	50,50	82,54
12	330,00	4,20	46,03	40,10	67,81
13	225,00	6,50	58,58	68,00	98,68
14	315,00	4,20	47,08	42,60	70,97
15	405,00	3,30	38,16	28,70	55,48
16	495,00	2,70	31,12	24,40	45,61

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE B – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Norte de Minas.

Cenário	Demanda (L/dia)	V _{ótimo} (m ³)	E (%)	V _{máx.} (m ³)	E (%)
1	75,00	2,10	58,29	15,40	99,95
2	105,00	2,70	55,34	22,10	99,94
3	135,00	3,90	55,18	32,70	99,95
4	165,00	19,10	77,90	68,90	99,95
5	112,50	2,90	55,00	23,80	99,95
6	157,50	5,90	56,94	50,20	99,94
7	202,50	8,00	54,42	65,80	86,08
8	247,50	5,30	44,18	52,10	70,47
9	150,00	5,40	56,97	42,30	99,95
10	210,00	8,10	53,63	62,50	83,06
11	270,00	5,30	42,02	50,20	64,60
12	330,00	4,10	34,74	45,10	52,86
13	225,00	7,00	49,80	55,90	77,53
14	315,00	4,40	36,50	46,40	55,38
15	405,00	3,40	28,62	40,30	43,07
16	495,00	3,00	23,69	36,00	35,23

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE C – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Jequitinhonha.

Cenário	Demanda (L/dia)	V _{ótimo} (m ³)	E (%)	V _{máx.} (m ³)	E (%)
1	75,00	1,80	64,44	12,90	99,92
2	105,00	2,80	61,89	19,20	99,84
3	135,00	4,20	60,57	31,00	98,16
4	165,00	8,20	63,64	58,20	97,09
5	112,50	2,90	60,48	21,20	99,34
6	157,50	6,30	61,41	45,40	97,32
7	202,50	8,50	56,97	72,70	89,19
8	247,50	5,80	46,86	61,30	73,20
9	150,00	5,90	62,04	40,30	97,57
10	210,00	6,50	52,72	63,10	86,05
11	270,00	5,80	44,48	60,10	67,20
12	330,00	5,50	38,39	57,90	55,20
13	225,00	6,00	49,83	62,30	80,39
14	315,00	5,50	39,68	58,30	57,77
15	405,00	4,60	31,49	55,60	45,17
16	495,00	4,10	26,19	52,90	37,02

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE D – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Vale do Mucuri.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	1,90	73,99	10,40	99,92
2	105,00	2,90	69,39	18,20	99,91
3	135,00	4,10	66,02	26,50	99,91
4	165,00	4,70	61,29	34,80	99,91
5	112,50	3,20	68,50	20,30	99,92
6	157,50	4,30	61,57	32,80	99,92
7	202,50	7,80	61,22	64,90	97,20
8	247,50	5,10	50,15	48,10	79,75
9	150,00	4,20	62,82	30,70	99,92
10	210,00	6,50	58,05	57,50	93,77
11	270,00	5,00	47,43	47,00	73,18
12	330,00	4,70	41,17	45,00	59,91
13	225,00	6,40	55,70	50,90	87,60
14	315,00	4,90	42,93	45,50	62,75
15	405,00	3,90	33,99	42,80	48,84
16	495,00	3,40	28,27	40,10	39,99

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE E – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Parnaíba.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	1,60	67,65	12,90	99,97
2	105,00	2,20	65,90	18,60	99,97
3	135,00	3,00	64,96	26,10	99,97
4	165,00	3,50	62,07	34,10	99,97
5	112,50	2,40	65,73	20,30	99,97
6	157,50	3,50	63,17	32,10	99,97
7	202,50	5,20	61,19	49,10	99,97
8	247,50	7,10	59,25	71,00	95,42
9	150,00	3,20	63,35	30,10	99,97
10	210,00	5,70	61,24	53,40	99,97
11	270,00	6,50	56,09	66,40	87,60
12	330,00	5,60	49,60	56,20	71,95
13	225,00	6,60	61,00	65,50	99,97
14	315,00	6,00	51,48	58,70	75,31
15	405,00	4,50	42,49	44,30	58,87
16	495,00	3,00	33,10	30,20	48,40

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE F – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Central Mineira.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	2,10	66,20	13,70	99,97
2	105,00	2,90	63,91	19,70	99,97
3	135,00	3,60	61,36	27,50	99,97
4	165,00	4,70	60,48	35,70	99,97
5	112,50	2,90	62,41	21,40	99,97
6	157,50	4,30	60,34	33,60	99,97
7	202,50	22,20	81,44	80,90	99,45
8	247,50	8,20	57,46	61,70	82,46
9	150,00	4,10	60,78	31,60	99,97
10	210,00	8,30	61,81	76,10	96,87
11	270,00	6,70	52,54	59,60	75,72
12	330,00	6,00	45,69	53,90	62,16
13	225,00	8,20	59,96	64,60	90,53
14	315,00	6,30	47,60	55,30	65,07
15	405,00	4,90	38,00	46,70	50,85
16	495,00	3,70	30,53	38,20	41,81

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE G – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	1,70	75,34	9,90	99,97
2	105,00	2,50	73,12	15,60	99,97
3	135,00	3,30	70,30	21,40	99,97
4	165,00	4,10	68,04	27,20	99,97
5	112,50	2,70	72,45	17,10	99,97
6	157,50	3,90	68,57	25,70	99,97
7	202,50	5,10	65,14	34,40	99,97
8	247,50	9,30	67,19	65,70	99,97
9	150,00	3,70	69,10	24,30	99,97
10	210,00	5,30	64,61	35,90	99,97
11	270,00	21,40	77,27	103,90	98,10
12	330,00	8,00	55,70	79,20	80,49
13	225,00	5,70	63,53	39,70	99,97
14	315,00	11,50	61,62	82,80	84,27
15	405,00	7,20	48,50	71,80	65,72
16	495,00	6,00	40,80	66,90	53,81

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE H – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Sul e Sudoeste de Minas.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	1,20	77,06	8,60	99,97
2	105,00	1,80	75,82	13,80	99,97
3	135,00	2,30	73,60	19,20	99,97
4	165,00	2,90	71,73	24,60	99,96
5	112,50	1,90	75,10	15,20	99,97
6	157,50	2,80	72,46	23,30	99,97
7	202,50	3,50	68,78	31,60	99,89
8	247,50	5,80	68,84	54,90	99,84
9	150,00	2,70	73,20	21,90	99,97
10	210,00	3,60	68,19	33,20	99,88
11	270,00	7,60	69,33	68,30	99,83
12	330,00	6,10	61,55	68,70	89,19
13	225,00	3,90	67,31	41,60	99,86
14	315,00	6,40	63,28	70,90	93,37
15	405,00	5,30	54,45	58,20	72,96
16	495,00	4,70	47,12	45,70	59,96

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE I – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Campo das Vertentes.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	1,50	75,70	10,80	99,97
2	105,00	2,00	71,77	16,60	99,97
3	135,00	2,70	69,72	22,40	99,97
4	165,00	3,60	68,39	29,70	99,97
5	112,50	2,20	71,40	18,10	99,97
6	157,50	3,40	68,88	27,60	99,97
7	202,50	4,60	65,91	44,70	99,97
8	247,50	17,70	76,81	90,80	99,97
9	150,00	3,00	68,61	25,60	99,97
10	210,00	4,90	65,57	49,50	99,97
11	270,00	16,40	72,04	107,50	97,02
12	330,00	5,80	54,97	66,30	79,70
13	225,00	7,20	67,74	63,50	99,97
14	315,00	6,10	56,73	68,70	83,41
15	405,00	5,40	48,12	56,20	65,24
16	495,00	4,80	41,15	48,50	53,61

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE J – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Zona da Mata.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	1,20	78,96	8,00	99,97
2	105,00	1,70	76,41	12,70	99,97
3	135,00	2,30	74,32	17,80	99,97
4	165,00	2,70	71,32	23,90	99,97
5	112,50	1,90	76,31	13,90	99,97
6	157,50	2,70	72,48	22,40	99,97
7	202,50	3,50	69,07	31,60	99,97
8	247,50	4,20	65,86	43,10	99,97
9	150,00	2,60	73,23	20,80	99,97
10	210,00	3,50	68,16	33,20	99,97
11	270,00	5,30	65,75	58,00	99,97
12	330,00	7,20	63,06	86,00	96,48
13	225,00	3,80	67,26	36,70	99,97
14	315,00	8,80	66,02	99,60	99,97
15	405,00	5,10	54,27	55,90	78,86
16	495,00	4,40	46,78	45,60	64,63

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE K – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Oeste de Minas.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	1,40	69,87	10,90	99,97
2	105,00	2,10	68,79	16,20	99,97
3	135,00	3,10	68,89	21,70	99,97
4	165,00	3,90	66,95	31,50	99,97
5	112,50	2,40	69,21	17,50	99,97
6	157,50	3,70	67,49	28,90	99,97
7	202,50	5,10	64,97	44,00	99,97
8	247,50	8,30	64,83	79,30	96,80
9	150,00	3,50	68,05	26,40	99,97
10	210,00	5,30	64,47	46,50	99,97
11	270,00	6,90	60,39	62,60	88,80
12	330,00	5,60	51,72	51,60	72,82
13	225,00	7,20	65,98	65,00	99,97
14	315,00	5,90	53,76	54,10	76,24
15	405,00	4,80	43,75	43,40	59,49
16	495,00	3,80	35,71	40,10	48,83

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE L – Volumes ótimos e máximos e suas respectivas eficiências (E) para cada cenário de dimensionamento da mesorregião Vale do Rio Doce.

Cenário	Demanda (L/dia)	V_{ótimo} (m³)	E (%)	V_{máx.} (m³)	E (%)
1	75,00	2,30	71,64	12,00	99,95
2	105,00	3,50	68,94	20,10	99,95
3	135,00	5,30	68,12	35,40	99,95
4	165,00	15,70	79,79	67,00	99,31
5	112,50	3,80	68,23	22,30	99,95
6	157,50	11,70	75,85	59,10	99,94
7	202,50	9,10	61,44	72,10	87,96
8	247,50	7,10	51,14	68,00	72,18
9	150,00	7,90	70,74	51,20	99,94
10	210,00	8,70	59,46	71,40	84,86
11	270,00	6,60	47,42	66,00	66,27
12	330,00	5,80	39,78	62,90	54,27
13	225,00	8,30	56,31	70,10	79,28
14	315,00	6,00	41,54	63,30	56,85
15	405,00	5,10	32,76	60,80	44,22
16	495,00	4,30	26,55	58,30	36,18

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE M – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 165 l para a mesorregião Norte de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 18,1158 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
2	$V_{\text{ótimo}} = 6130,3555 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,7181}$	0,9465	0,33
3	$V_{\text{ótimo}} = 301332,6685 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,6619}$	0,9440	0,33
4	$V_{\text{ótimo}} = 45,6842 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
5	$V_{\text{ótimo}} = 16,7963 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,0682 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
7	$V_{\text{ótimo}} = 27,8649 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
8	$V_{\text{ótimo}} = 59,3369 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,8038 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
10	$V_{\text{ótimo}} = 922,3870 \text{CVD}_d^{1,7508}$	0,9479	0,33
11	$V_{\text{ótimo}} = 144,6479 D_d^{1,7508}$	0,9479	0,33
12	$V_{\text{ótimo}} = 1555,0613 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,7505}$	0,9479	0,33
13	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177 \ln(D_d) + 48,1968 P_d A$	0,8372	0,57
14	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177 \ln(D_d) + 1,5991 P_m A$	0,8372	0,57
15	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177 \ln(D_d) + 0,1333 P_a A$	0,8372	0,57
16	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177 \ln(D_d) + 28,4141 P_{d,1^\circ} A$	0,8372	0,57
17	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177 \ln(D_d) + 50,3246 P_{d,2^\circ} A$	0,8372	0,57
18	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177 \ln(D_d) + 1169,0439 P_{d,3^\circ} A$	0,8372	0,57

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE M – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 165 l para a mesorregião Norte de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177\ln(D_d) + 37,6869P_{d,4^\circ}A$	0,8372	0,57
20	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177\ln(D_d) + 24,4716P_{d,ch}A$	0,8372	0,57
21	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177\ln(D_d) + 285,6905P_{d,se}A$	0,8372	0,57
22	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177\ln(D_d) + 93,8323CV$	0,8372	0,57
23	$V_{\text{ótimo}} = 32,6346CV\ln(D_d) + 14,7147$	0,8372	0,57
24	$V_{\text{ótimo}} = 5,1177\ln(D_d) + 3,7876A_pA$	0,8372	0,57
25	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 6,5368P_dA$	0,9090	0,42
26	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 0,2169P_mA$	0,9090	0,42
27	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 0,0181P_aA$	0,9090	0,42
28	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 3,8537P_{d,1^\circ}A$	0,9090	0,42
29	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 6,8254P_{d,2^\circ}A$	0,9090	0,42
30	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 158,5533P_{d,3^\circ}A$	0,9090	0,42
31	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 5,1113P_{d,4^\circ}A$	0,9090	0,42
32	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 3,3190P_{d,ch}A$	0,9090	0,42
33	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 38,7472P_{d,se}A$	0,9090	0,42
34	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 12,7261CV$	0,9090	0,42
35	$V_{\text{ótimo}} = 47,4479D_d - 0,5137A_pA$	0,9090	0,42
36	$V_{\text{ótimo}} = 1,9665P_dAe^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0652P_mAe^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0054P_aAe^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,1593P_{d,1^\circ}Ae^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
40	$V_{\text{ótimo}} = 2,0533P_{d,2^\circ}Ae^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
41	$V_{\text{ótimo}} = 47,6976P_{d,3^\circ}Ae^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
42	$V_{\text{ótimo}} = 1,5376P_{d,4^\circ}Ae^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
43	$V_{\text{ótimo}} = 0,9985P_{d,ch}Ae^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
44	$V_{\text{ótimo}} = 11,6563P_{d,se}Ae^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
45	$V_{\text{ótimo}} = 3,8284CVe^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,1545A_pAe^{14,4344D_d}$	0,9786	0,21

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE N – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 165 L para a mesorregião Norte de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 3,4905 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-2,6131}$	0,9113	1,43
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,0005 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-2,5838}$	0,9121	1,51
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0000009 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-2,5728}$	0,9113	1,45
4	$V_{\text{ótimo}} = 0,8774 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-2,6131}$	0,9113	1,43
5	$V_{\text{ótimo}} = 3,9077 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-2,6131}$	0,9113	1,43
6	$V_{\text{ótimo}} = 14505,9564 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-2,6131}$	0,9113	1,43
7	$V_{\text{ótimo}} = 1,8354 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-2,6131}$	0,9113	1,43
8	$V_{\text{ótimo}} = 0,5939 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-2,6131}$	0,9113	1,43
9	$V_{\text{ótimo}} = 365,1761 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-2,6131}$	0,9113	1,43
10	$V_{\text{ótimo}} = 1,0024 CVD_d^{-2,6131}$	0,9113	1,43
11	$V_{\text{ótimo}} = 0,1572 D_d^{-2,6131}$	0,9113	1,43
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,0046 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-2,6074}$	0,9137	1,43
13	$V_{\text{ótimo}} = 423,3532 P_d A e^{-12,3718 D_d}$	0,8631	1,92
14	$V_{\text{ótimo}} = 14,0464 P_m A e^{-12,3718 D_d}$	0,8631	1,92
15	$V_{\text{ótimo}} = 1,1705 P_a A e^{-12,3718 D_d}$	0,8631	1,92
16	$V_{\text{ótimo}} = 249,5852 P_{d,1^\circ} A e^{-12,3718 D_d}$	0,8631	1,92
17	$V_{\text{ótimo}} = 442,0439 P_{d,2^\circ} A e^{-12,3718 D_d}$	0,8631	1,92
18	$V_{\text{ótimo}} = 10268,7013 P_{d,3^\circ} A e^{-12,3718 D_d}$	0,8631	1,92

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE N – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 165 L para a mesorregião Norte de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 214,9544P_{d,ch}Ae^{-12,3718D_d}$	0,8631	1,92
20	$V_{\text{ótimo}} = 2509,4612P_{d,se}Ae^{-12,3718D_d}$	0,8631	1,92
21	$V_{\text{ótimo}} = 824,2087CVe^{-12,3718D_d}$	0,8631	1,92
22	$V_{\text{ótimo}} = 33,2694A_pAe^{-12,3718D_d}$	0,8631	1,92

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE O – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 165 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 180,9709 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{4,1176}$	0,9368	1,27
2	$V_{\text{ótimo}} = 164153501,5990 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{4,0430}$	0,9345	1,27
3	$V_{\text{ótimo}} = 2445688011714,21 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{3,9761}$	0,9325	1,28
4	$V_{\text{ótimo}} = 1594,2144 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{4,1176}$	0,9368	1,27
5	$V_{\text{ótimo}} = 151,4794 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{4,1176}$	0,9368	1,27
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,0004 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{4,0536}$	0,9349	1,27
7	$V_{\text{ótimo}} = 498,1718 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{4,1174}$	0,9368	1,27
8	$V_{\text{ótimo}} = 2944,2610 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{4,1165}$	0,9368	1,27
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,1188 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{4,1181}$	0,9368	1,27
10	$V_{\text{ótimo}} = 152721,6692 CVD_d^{4,1176}$	0,9368	1,27
11	$V_{\text{ótimo}} = 23921,7615 D_d^{4,1170}$	0,9368	1,27
12	$V_{\text{ótimo}} = 4727522,8117 \left(\frac{D_d}{A_P A} \right)^{4,0243}$	0,9340	1,28
13	$V_{\text{ótimo}} = 133,4157 D_d - 32,6953 P_d A$	0,7747	2,17
14	$V_{\text{ótimo}} = 133,4151 D_d - 1,0848 P_m A$	0,7747	2,17
15	$V_{\text{ótimo}} = 133,4090 D_d - 0,0904 P_a A$	0,7747	2,17
16	$V_{\text{ótimo}} = 133,4157 D_d - 19,2753 P_{d,1^\circ} A$	0,7747	2,17
17	$V_{\text{ótimo}} = 133,4157 D_d - 34,1387 P_{d,2^\circ} A$	0,7747	2,17
18	$V_{\text{ótimo}} = 133,4162 D_d - 793,0513 P_{d,3^\circ} A$	0,7747	2,17

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE O – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 165 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 133,4157D_d - 25,5657P_{d,4^\circ}A$	0,7747	2,17
20	$V_{\text{ótimo}} = 133,4157D_d - 16,6008P_{d,ch}A$	0,7747	2,17
21	$V_{\text{ótimo}} = 133,4159D_d - 193,8040P_{d,se}A$	0,7747	2,17
22	$V_{\text{ótimo}} = 133,4157D_d - 63,6530CV$	0,7747	2,17
23	$V_{\text{ótimo}} = 133,4155D_d - 2,5694A_pA$	0,7747	2,17
24	$V_{\text{ótimo}} = 0,3793P_dAe^{29,3533D_d}$	0,9582	1,00
25	$V_{\text{ótimo}} = 0,0126P_mAe^{29,3638D_d}$	0,9582	1,00
26	$V_{\text{ótimo}} = 0,0010P_aAe^{29,4814D_d}$	0,9582	1,00
27	$V_{\text{ótimo}} = 0,2236P_{d,1^\circ}Ae^{29,3538D_d}$	0,9582	1,00
28	$V_{\text{ótimo}} = 0,3960P_{d,2^\circ}Ae^{29,3529D_d}$	0,9582	1,00
29	$V_{\text{ótimo}} = 9,1996P_{d,3^\circ}Ae^{29,3533D_d}$	0,9582	1,00
30	$V_{\text{ótimo}} = 0,2966P_{d,4^\circ}Ae^{29,3529D_d}$	0,9582	1,00
31	$V_{\text{ótimo}} = 0,1926P_{d,ch}Ae^{29,3540D_d}$	0,9582	1,00
32	$V_{\text{ótimo}} = 2,2482P_{d,se}Ae^{29,3532D_d}$	0,9582	1,00
33	$V_{\text{ótimo}} = 0,7385CVe^{29,3526D_d}$	0,9582	1,00
34	$V_{\text{ótimo}} = 0,0298A_pAe^{29,3614D_d}$	0,9582	1,00

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE P – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo após a demanda de 165 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 6,2418 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,3323 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,8611}$	0,9808	0,22
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0390 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,8614}$	0,9807	0,22
4	$V_{\text{ótimo}} = 3,9603 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
5	$V_{\text{ótimo}} = 6,4784 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
6	$V_{\text{ótimo}} = 97,1878 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
7	$V_{\text{ótimo}} = 5,0505 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
8	$V_{\text{ótimo}} = 3,4824 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
9	$V_{\text{ótimo}} = 28,8889 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
10	$V_{\text{ótimo}} = 14,3313 CVD_d^{-0,8610}$	0,9808	0,22
11	$V_{\text{ótimo}} = 2,2474 D_d^{-0,8610}$	0,9808	0,22
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,6985 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,8610}$	0,9808	0,22
13	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877 \ln(D_d) - 0,5970 P_d A$	0,9482	0,36
14	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877 \ln(D_d) - 0,0198 P_m A$	0,9482	0,36
15	$V_{\text{ótimo}} = -5,2869 \ln(D_d) - 0,0017 P_a A$	0,9482	0,36
16	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877 \ln(D_d) - 0,3519 P_{d,1^\circ} A$	0,9482	0,36
17	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877 \ln(D_d) - 0,6233 P_{d,2^\circ} A$	0,9482	0,36
18	$V_{\text{ótimo}} = -5,2878 \ln(D_d) - 14,4789 P_{d,3^\circ} A$	0,9482	0,36

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE P – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo após a demanda de 165 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877\ln(D_d) - 0,4668P_{d,4^\circ}A$	0,9482	0,36
20	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877\ln(D_d) - 0,3031P_{d,ch}A$	0,9482	0,36
21	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877\ln(D_d) - 3,5383P_{d,se}A$	0,9482	0,36
22	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877\ln(D_d) - 1,1626CV$	0,9482	0,36
23	$V_{\text{ótimo}} = -33,7187CV\ln(D_d) - 0,1823$	0,9482	0,36
24	$V_{\text{ótimo}} = -5,2877\ln(D_d) - 0,0469A_pA$	0,9482	0,36
25	$V_{\text{ótimo}} = -15,9030D_d + 37,8267P_dA$	0,8836	0,53
26	$V_{\text{ótimo}} = -15,9031D_d + 1,2551P_mA$	0,8836	0,53
27	$V_{\text{ótimo}} = -15,9050D_d + 0,1046P_aA$	0,8836	0,53
28	$V_{\text{ótimo}} = -15,9030D_d + 22,3005P_{d,1^\circ}A$	0,8836	0,53
29	$V_{\text{ótimo}} = -15,9030D_d + 39,4967P_{d,2^\circ}A$	0,8836	0,53
30	$V_{\text{ótimo}} = -15,9028D_d + 917,5069P_{d,3^\circ}A$	0,8836	0,53
31	$V_{\text{ótimo}} = -15,9030D_d + 29,5782P_{d,4^\circ}A$	0,8836	0,53
32	$V_{\text{ótimo}} = -15,9030D_d + 19,2062P_{d,ch}A$	0,8836	0,53
33	$V_{\text{ótimo}} = -15,9027D_d + 224,2197P_{d,se}A$	0,8836	0,53
34	$V_{\text{ótimo}} = -15,9030D_d + 73,6433CV$	0,8836	0,53
35	$V_{\text{ótimo}} = -15,9030D_d + 2,9726A_pA$	0,8836	0,53
36	$V_{\text{ótimo}} = 49,7831P_dAe^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
37	$V_{\text{ótimo}} = 1,6517P_mAe^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,1376P_aAe^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
39	$V_{\text{ótimo}} = 29,3493P_{d,1^\circ}Ae^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
40	$V_{\text{ótimo}} = 51,9810P_{d,2^\circ}Ae^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
41	$V_{\text{ótimo}} = 1207,5219P_{d,3^\circ}Ae^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
42	$V_{\text{ótimo}} = 38,9274P_{d,4^\circ}Ae^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
43	$V_{\text{ótimo}} = 25,2770P_{d,ch}Ae^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
44	$V_{\text{ótimo}} = 295,0937P_{d,se}Ae^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
45	$V_{\text{ótimo}} = 96,9207CVe^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38
46	$V_{\text{ótimo}} = 3,9122A_pAe^{-2,7999D_d}$	0,9414	0,38

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE Q – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 32,1766 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
2	$V_{\text{ótimo}} = 96046,0502 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{2,3516}$	0,9594	0,44
3	$V_{\text{ótimo}} = 22062395,3958 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{2,2902}$	0,9575	0,44
4	$V_{\text{ótimo}} = 112,0395 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
5	$V_{\text{ótimo}} = 29,0565 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,0173 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
7	$V_{\text{ótimo}} = 57,5136 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
8	$V_{\text{ótimo}} = 159,4164 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,4816 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
10	$V_{\text{ótimo}} = 3377,4104 CVD_d^{2,3609}$	0,9596	0,44
11	$V_{\text{ótimo}} = 529,6154 D_d^{2,3609}$	0,9596	0,44
12	$V_{\text{ótimo}} = 13054,3442 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{2,3611}$	0,9596	0,44
13	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605 \ln(D_d) + 65,9125 P_d A$	0,8296	0,88
14	$V_{\text{ótimo}} = 7,4606 \ln(D_d) + 2,1869 P_m A$	0,8296	0,88
15	$V_{\text{ótimo}} = 7,4622 \ln(D_d) + 0,1823 P_a A$	0,8296	0,88
16	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605 \ln(D_d) + 38,8583 P_{d,1^\circ} A$	0,8296	0,88
17	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605 \ln(D_d) + 68,8225 P_{d,2^\circ} A$	0,8296	0,88
18	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605 \ln(D_d) + 1598,7430 P_{d,3^\circ} A$	0,8296	0,88

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE Q – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605\ln(D_d) + 51,5396P_{d,4^\circ}A$	0,8296	0,88
20	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605\ln(D_d) + 33,4666P_{d,ch}A$	0,8296	0,88
21	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605\ln(D_d) + 390,7002P_{d,se}A$	0,8296	0,88
22	$V_{\text{ótimo}} = 7,4605\ln(D_d) + 128,3223CV$	0,8296	0,88
23	$V_{\text{ótimo}} = 47,5742CV\ln(D_d) + 20,1235$	0,8296	0,88
24	$V_{\text{ótimo}} = 7,4606\ln(D_d) + 5,1798A_pA$	0,8296	0,88
25	$V_{\text{ótimo}} = 67,0033D_d - 13,1966P_dA$	0,9000	0,67
26	$V_{\text{ótimo}} = 67,0026D_d - 0,4378P_mA$	0,9000	0,67
27	$V_{\text{ótimo}} = 66,9961D_d - 0,0365P_aA$	0,9000	0,67
28	$V_{\text{ótimo}} = 67,0032D_d - 7,7800P_{d,1^\circ}A$	0,9000	0,67
29	$V_{\text{ótimo}} = 67,0033D_d - 13,7792P_{d,2^\circ}A$	0,9000	0,67
30	$V_{\text{ótimo}} = 67,0042D_d - 320,1019P_{d,3^\circ}A$	0,9000	0,67
31	$V_{\text{ótimo}} = 67,0033D_d - 10,3190P_{d,4^\circ}A$	0,9000	0,67
32	$V_{\text{ótimo}} = 67,0032D_d - 6,7005P_{d,ch}A$	0,9000	0,67
33	$V_{\text{ótimo}} = 67,0033D_d - 78,2241P_{d,se}A$	0,9000	0,67
34	$V_{\text{ótimo}} = 67,0033D_d - 25,6919CV$	0,9000	0,67
35	$V_{\text{ótimo}} = 67,0030D_d - 1,0371A_pA$	0,9000	0,67
36	$V_{\text{ótimo}} = 1,2550P_dAe^{18,2189D_d}$	0,9807	0,30
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0416P_mAe^{18,2238D_d}$	0,9807	0,30
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0034P_aAe^{18,2883D_d}$	0,9807	0,30
39	$V_{\text{ótimo}} = 0,7399P_{d,1^\circ}Ae^{18,2190D_d}$	0,9807	0,30
40	$V_{\text{ótimo}} = 1,3105P_{d,2^\circ}Ae^{18,2189D_d}$	0,9807	0,30
41	$V_{\text{ótimo}} = 30,4423P_{d,3^\circ}Ae^{18,2188D_d}$	0,9807	0,30
42	$V_{\text{ótimo}} = 0,9814P_{d,4^\circ}Ae^{18,2190D_d}$	0,9807	0,30
43	$V_{\text{ótimo}} = 0,6372P_{d,ch}Ae^{18,2190D_d}$	0,9807	0,30
44	$V_{\text{ótimo}} = 7,4395P_{d,se}Ae^{18,2188D_d}$	0,9807	0,30
45	$V_{\text{ótimo}} = 2,4434CVe^{18,2189D_d}$	0,9807	0,30
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,0986A_pAe^{18,2195D_d}$	0,9807	0,30

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE R – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 5,4871 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,6538}$	0,7673	0,57
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,5917 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,6539}$	0,7673	0,57
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,1163 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,6542}$	0,7673	0,57
4	$V_{\text{ótimo}} = 3,8842 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,6538}$	0,7673	0,57
5	$V_{\text{ótimo}} = 5,6443 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,6538}$	0,7673	0,57
6	$V_{\text{ótimo}} = 44,1364 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,6539}$	0,7673	0,57
7	$V_{\text{ótimo}} = 4,6720 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,6538}$	0,7673	0,57
8	$V_{\text{ótimo}} = 3,5228 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,6538}$	0,7673	0,57
9	$V_{\text{ótimo}} = 17,5653 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,6538}$	0,7673	0,57
10	$V_{\text{ótimo}} = 16,1083 CVD_d^{-0,6538}$	0,7673	0,57
11	$V_{\text{ótimo}} = 2,5261 D_d^{-0,6538}$	0,7673	0,57
12	$V_{\text{ótimo}} = 1,0398 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,6539}$	0,7673	0,57
13	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012 \ln(D_d) - 4,7295 P_d A$	0,7437	0,59
14	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012 \ln(D_d) - 0,1569 P_m A$	0,7437	0,59
15	$V_{\text{ótimo}} = -3,5004 \ln(D_d) - 0,0131 P_a A$	0,7437	0,59
16	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012 \ln(D_d) - 2,7882 P_{d,1^\circ} A$	0,7437	0,59
17	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012 \ln(D_d) - 4,9383 P_{d,2^\circ} A$	0,7437	0,59
18	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012 \ln(D_d) - 114,7159 P_{d,3^\circ} A$	0,7437	0,59

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE R – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012\ln(D_d) - 3,6982P_{d,4^\circ}A$	0,7437	0,59
20	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012\ln(D_d) - 2,4014P_{d,ch}A$	0,7437	0,59
21	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012\ln(D_d) - 28,0343P_{d,se}A$	0,7437	0,59
22	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012\ln(D_d) - 9,2076CV$	0,7437	0,59
23	$V_{\text{ótimo}} = -22,3266CV\ln(D_d) - 1,4439$	0,7437	0,59
24	$V_{\text{ótimo}} = -3,5012\ln(D_d) - 0,3717A_pA$	0,7437	0,59
25	$V_{\text{ótimo}} = 34,7411P_dAe^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
26	$V_{\text{ótimo}} = 1,1527P_mAe^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
27	$V_{\text{ótimo}} = 0,0961P_aAe^{-2,0649D_d}$	0,7264	0,61
28	$V_{\text{ótimo}} = 20,4814P_{d,1^\circ}Ae^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
29	$V_{\text{ótimo}} = 36,2749P_{d,2^\circ}Ae^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
30	$V_{\text{ótimo}} = 842,6687P_{d,3^\circ}Ae^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
31	$V_{\text{ótimo}} = 27,1655P_{d,4^\circ}Ae^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
32	$V_{\text{ótimo}} = 17,6396P_{d,ch}Ae^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
33	$V_{\text{ótimo}} = 205,9311P_{d,se}Ae^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
34	$V_{\text{ótimo}} = 67,6361CVe^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61
35	$V_{\text{ótimo}} = 2,7301A_pAe^{-2,0652D_d}$	0,7264	0,61

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE S – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 9,0117 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
2	$V_{\text{ótimo}} = 330,0982 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,0573}$	0,9751	0,15
3	$V_{\text{ótimo}} = 4539,4945 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,0564}$	0,9751	0,15
4	$V_{\text{ótimo}} = 15,7575 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
5	$V_{\text{ótimo}} = 8,6093 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,3093 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
7	$V_{\text{ótimo}} = 11,6888 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
8	$V_{\text{ótimo}} = 18,4538 \left(\frac{D_d}{P_{d, \text{ch}} A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
9	$V_{\text{ótimo}} = 1,3724 \left(\frac{D_d}{P_{d, \text{se}} A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
10	$V_{\text{ótimo}} = 201,5183 \text{CVD}_d^{1,0575}$	0,9751	0,15
11	$V_{\text{ótimo}} = 31,6019 \text{D}_d^{1,0575}$	0,9751	0,15
12	$V_{\text{ótimo}} = 132,7453 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,0575}$	0,9751	0,15
13	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913 \ln(D_d) + 35,6543 P_d A$	0,9837	0,12
14	$V_{\text{ótimo}} = 3,4914 \ln(D_d) + 1,1830 P_m A$	0,9837	0,12
15	$V_{\text{ótimo}} = 3,4930 \ln(D_d) + 0,0986 P_a A$	0,9837	0,12
16	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913 \ln(D_d) + 21,0198 P_{d,1^\circ} A$	0,9837	0,12
17	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913 \ln(D_d) + 37,2284 P_{d,2^\circ} A$	0,9837	0,12
18	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913 \ln(D_d) + 864,8156 P_{d,3^\circ} A$	0,9837	0,12

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE S – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913\ln(D_d) + 27,8795P_{d,4^\circ}A$	0,9837	0,12
20	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913\ln(D_d) + 18,1032P_{d,ch}A$	0,9837	0,12
21	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913\ln(D_d) + 211,3428P_{d,se}A$	0,9837	0,12
22	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913\ln(D_d) + 69,4139CV$	0,9837	0,12
23	$V_{\text{ótimo}} = 22,2633CV\ln(D_d) + 10,8855$	0,9837	0,12
24	$V_{\text{ótimo}} = 3,4913\ln(D_d) + 2,8019A_pA$	0,9837	0,12
25	$V_{\text{ótimo}} = 29,9912D_d - 0,7918P_dA$	0,9763	0,14
26	$V_{\text{ótimo}} = 29,9906D_d - 0,0263P_mA$	0,9763	0,14
27	$V_{\text{ótimo}} = 29,9840D_d - 0,0022P_aA$	0,9763	0,14
28	$V_{\text{ótimo}} = 29,9912D_d - 0,4668P_{d,1^\circ}A$	0,9763	0,14
29	$V_{\text{ótimo}} = 29,9912D_d - 0,8267P_{d,2^\circ}A$	0,9763	0,14
30	$V_{\text{ótimo}} = 29,9913D_d - 19,2049P_{d,3^\circ}A$	0,9763	0,14
31	$V_{\text{ótimo}} = 29,9912D_d - 0,6191P_{d,4^\circ}A$	0,9763	0,14
32	$V_{\text{ótimo}} = 29,9912D_d - 0,4020P_{d,ch}A$	0,9763	0,14
33	$V_{\text{ótimo}} = 29,9913D_d - 4,6934P_{d,se}A$	0,9763	0,14
34	$V_{\text{ótimo}} = 29,9912D_d - 1,5415CV$	0,9763	0,14
35	$V_{\text{ótimo}} = 29,9910D_d - 0,0622A_pA$	0,9763	0,14
36	$V_{\text{ótimo}} = 3,8491P_dAe^{8,5050D_d}$	0,9453	0,21
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,1277P_mAe^{8,5059D_d}$	0,9453	0,21
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0106P_aAe^{8,5113D_d}$	0,9453	0,21
39	$V_{\text{ótimo}} = 2,2692P_{d,1^\circ}Ae^{8,5051D_d}$	0,9453	0,21
40	$V_{\text{ótimo}} = 4,0191P_{d,2^\circ}Ae^{8,5050D_d}$	0,9453	0,21
41	$V_{\text{ótimo}} = 93,3630P_{d,3^\circ}Ae^{8,5050D_d}$	0,9453	0,21
42	$V_{\text{ótimo}} = 3,0098P_{d,4^\circ}Ae^{8,5050D_d}$	0,9453	0,21
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,9544P_{d,ch}Ae^{8,5051D_d}$	0,9453	0,21
44	$V_{\text{ótimo}} = 22,8160P_{d,se}Ae^{8,5050D_d}$	0,9453	0,21
45	$V_{\text{ótimo}} = 7,4937CVe^{8,5050D_d}$	0,9453	0,21
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,3025A_pAe^{8,5052D_d}$	0,9453	0,21

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE T – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 4,8668 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,8798}$	0,8950	0,42
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,2431 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,8798}$	0,8950	0,42
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0283 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,8737}$	0,8948	0,42
4	$V_{\text{ótimo}} = 3,0572 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,8799}$	0,8950	0,42
5	$V_{\text{ótimo}} = 5,0554 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,8798}$	0,8950	0,42
6	$V_{\text{ótimo}} = 80,4854 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,8799}$	0,8950	0,42
7	$V_{\text{ótimo}} = 3,9197 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,8798}$	0,8950	0,42
8	$V_{\text{ótimo}} = 2,6807 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,8799}$	0,8950	0,42
9	$V_{\text{ótimo}} = 23,2949 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,8799}$	0,8950	0,42
10	$V_{\text{ótimo}} = 10,9267 CVD_d^{-0,8798}$	0,8950	0,42
11	$V_{\text{ótimo}} = 1,7135 D_d^{-0,8798}$	0,8950	0,42
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,5192 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,8798}$	0,8950	0,42
13	$V_{\text{ótimo}} = -4,1517 \ln(D_d) - 0,0398 P_d A$	0,8527	0,50
14	$V_{\text{ótimo}} = -4,1511 \ln(D_d) - 0,0013 P_m A$	0,8527	0,50
15	$V_{\text{ótimo}} = -4,1436 \ln(D_d) - 0,0001 P_a A$	0,8527	0,50
16	$V_{\text{ótimo}} = -4,1517 \ln(D_d) - 0,0235 P_{d,1^\circ} A$	0,8527	0,50
17	$V_{\text{ótimo}} = -4,1517 \ln(D_d) - 0,0415 P_{d,2^\circ} A$	0,8527	0,50
18	$V_{\text{ótimo}} = -4,1517 \ln(D_d) - 0,9650 P_{d,3^\circ} A$	0,8527	0,50

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE T – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -4,1517\ln(D_d) - 0,0311P_{d,4^\circ}A$	0,8527	0,50
20	$V_{\text{ótimo}} = -4,1517\ln(D_d) - 0,0202P_{d,ch}A$	0,8527	0,50
21	$V_{\text{ótimo}} = -4,1518\ln(D_d) - 0,2357P_{d,se}A$	0,8527	0,50
22	$V_{\text{ótimo}} = -4,1517\ln(D_d) - 0,7746CV$	0,8527	0,50
23	$V_{\text{ótimo}} = -26,4747CV\ln(D_d) - 0,1214$	0,8527	0,50
24	$V_{\text{ótimo}} = -4,1515\ln(D_d) - 0,0031A_pA$	0,8527	0,50
25	$V_{\text{ótimo}} = -12,4090D_d + 29,5531P_dA$	0,7848	0,60
26	$V_{\text{ótimo}} = -12,4092D_d + 0,9805P_mA$	0,7848	0,60
27	$V_{\text{ótimo}} = -12,4110D_d + 0,0817P_aA$	0,7848	0,60
28	$V_{\text{ótimo}} = -12,4090D_d + 17,4229P_{d,1^\circ}A$	0,7848	0,60
29	$V_{\text{ótimo}} = -12,4090D_d + 30,8579P_{d,2^\circ}A$	0,7848	0,60
30	$V_{\text{ótimo}} = -12,4089D_d + 716,8267P_{d,3^\circ}A$	0,7848	0,60
31	$V_{\text{ótimo}} = -12,4090D_d + 23,1087P_{d,4^\circ}A$	0,7848	0,60
32	$V_{\text{ótimo}} = -12,4090D_d + 15,0054P_{d,ch}A$	0,7848	0,60
33	$V_{\text{ótimo}} = -12,4090D_d + 175,1782P_{d,se}A$	0,7848	0,60
34	$V_{\text{ótimo}} = -12,4090D_d + 57,5357CV$	0,7848	0,60
35	$V_{\text{ótimo}} = -12,4091D_d + 2,3225A_pA$	0,7848	0,60
36	$V_{\text{ótimo}} = 39,2138P_dAe^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
37	$V_{\text{ótimo}} = 1,3011P_mAe^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,1084P_aAe^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
39	$V_{\text{ótimo}} = 23,1182P_{d,1^\circ}Ae^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
40	$V_{\text{ótimo}} = 40,9451P_{d,2^\circ}Ae^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
41	$V_{\text{ótimo}} = 951,1557P_{d,3^\circ}Ae^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
42	$V_{\text{ótimo}} = 30,6628P_{d,4^\circ}Ae^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
43	$V_{\text{ótimo}} = 19,9105P_{d,ch}Ae^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
44	$V_{\text{ótimo}} = 232,4431P_{d,se}Ae^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
45	$V_{\text{ótimo}} = 76,3437CVe^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51
46	$V_{\text{ótimo}} = 3,0816A_pAe^{-2,8272D_d}$	0,8441	0,51

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE U – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 8,0278 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,3420}$	0,9876	0,13
2	$V_{\text{ótimo}} = 774,8251 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,3418}$	0,9876	0,13
3	$V_{\text{ótimo}} = 20777,8885 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,3350}$	0,9874	0,13
4	$V_{\text{ótimo}} = 16,3145 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,3420}$	0,9876	0,13
5	$V_{\text{ótimo}} = 7,5756 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,3420}$	0,9876	0,13
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,1112 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,3421}$	0,9876	0,13
7	$V_{\text{ótimo}} = 11,1676 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,3420}$	0,9876	0,13
8	$V_{\text{ótimo}} = 19,9362 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,3421}$	0,9876	0,13
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,7362 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,3421}$	0,9876	0,13
10	$V_{\text{ótimo}} = 251,5878 CVD_d^{1,3420}$	0,9876	0,13
11	$V_{\text{ótimo}} = 39,4562 D_d^{1,3421}$	0,9876	0,13
12	$V_{\text{ótimo}} = 243,7872 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,3420}$	0,9876	0,13
13	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452 \ln(D_d) + 32,2103 P_d A$	0,9063	0,34
14	$V_{\text{ótimo}} = 3,4453 \ln(D_d) + 1,0687 P_m A$	0,9063	0,34
15	$V_{\text{ótimo}} = 3,4464 \ln(D_d) + 0,0891 P_a A$	0,9063	0,34
16	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452 \ln(D_d) + 18,9894 P_{d,1^\circ} A$	0,9063	0,34
17	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452 \ln(D_d) + 33,6324 P_{d,2^\circ} A$	0,9063	0,34
18	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452 \ln(D_d) + 781,2801 P_{d,3^\circ} A$	0,9063	0,34

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE U – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452\ln(D_d) + 25,1865P_{d,4^\circ}A$	0,9063	0,34
20	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452\ln(D_d) + 16,3545P_{d,ch}A$	0,9063	0,34
21	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452\ln(D_d) + 190,9292P_{d,se}A$	0,9063	0,34
22	$V_{\text{ótimo}} = 3,4452\ln(D_d) + 62,7089CV$	0,9063	0,34
23	$V_{\text{ótimo}} = 21,9696CV\ln(D_d) + 9,8340$	0,9063	0,34
24	$V_{\text{ótimo}} = 3,4453\ln(D_d) + 2,5313A_pA$	0,9063	0,34
25	$V_{\text{ótimo}} = 26,5131D_d - 2,6926P_dA$	0,9752	0,18
26	$V_{\text{ótimo}} = 26,5128D_d - 0,0893P_mA$	0,9752	0,18
27	$V_{\text{ótimo}} = 26,5087D_d - 0,0074P_aA$	0,9752	0,18
28	$V_{\text{ótimo}} = 26,5131D_d - 1,5874P_{d,1^\circ}A$	0,9752	0,18
29	$V_{\text{ótimo}} = 26,5131D_d - 2,8114P_{d,2^\circ}A$	0,9752	0,18
30	$V_{\text{ótimo}} = 26,5133D_d - 65,3122P_{d,3^\circ}A$	0,9752	0,18
31	$V_{\text{ótimo}} = 26,5131D_d - 2,1054P_{d,4^\circ}A$	0,9752	0,18
32	$V_{\text{ótimo}} = 26,5131D_d - 1,3671P_{d,ch}A$	0,9752	0,18
33	$V_{\text{ótimo}} = 26,5132D_d - 15,9604P_{d,se}A$	0,9752	0,18
34	$V_{\text{ótimo}} = 26,5132D_d - 5,2421CV$	0,9752	0,18
35	$V_{\text{ótimo}} = 26,5130D_d - 0,2116A_pA$	0,9752	0,18
36	$V_{\text{ótimo}} = 2,5763P_dAe^{8,8228D_d}$	0,9973	0,06
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0855P_mAe^{8,8233D_d}$	0,9973	0,06
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0071P_aAe^{8,8265D_d}$	0,9973	0,06
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,5189P_{d,1^\circ}Ae^{8,8228D_d}$	0,9973	0,06
40	$V_{\text{ótimo}} = 2,6901P_{d,2^\circ}Ae^{8,8228D_d}$	0,9973	0,06
41	$V_{\text{ótimo}} = 62,4906P_{d,3^\circ}Ae^{8,8227D_d}$	0,9973	0,06
42	$V_{\text{ótimo}} = 2,0145P_{d,4^\circ}Ae^{8,8228D_d}$	0,9973	0,06
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,3081P_{d,ch}Ae^{8,8228D_d}$	0,9973	0,06
44	$V_{\text{ótimo}} = 15,2714P_{d,se}Ae^{8,8227D_d}$	0,9973	0,06
45	$V_{\text{ótimo}} = 5,0158CVe^{8,8228D_d}$	0,9973	0,06
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,2025A_pAe^{8,8229D_d}$	0,9973	0,06

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE V – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 4,7516 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,1979}$	0,9249	0,39
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,0804 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,1978}$	0,9249	0,39
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0042 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,1943}$	0,9250	0,39
4	$V_{\text{ótimo}} = 2,5236 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,1976}$	0,9249	0,39
5	$V_{\text{ótimo}} = 5,0039 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,1975}$	0,9249	0,39
6	$V_{\text{ótimo}} = 216,3925 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,1976}$	0,9249	0,39
7	$V_{\text{ótimo}} = 3,5392 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,1976}$	0,9249	0,39
8	$V_{\text{ótimo}} = 2,1103 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-1,1975}$	0,9249	0,39
9	$V_{\text{ótimo}} = 40,0325 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-1,1976}$	0,9249	0,39
10	$V_{\text{ótimo}} = 7,3177 CVD_d^{-1,1976}$	0,9249	0,39
11	$V_{\text{ótimo}} = 1,1475 D_d^{-1,1976}$	0,9249	0,39
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,2257 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,1979}$	0,9249	0,39
13	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490 \ln(D_d) - 4,5657 P_d A$	0,9161	0,42
14	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490 \ln(D_d) - 0,1515 P_m A$	0,9161	0,42
15	$V_{\text{ótimo}} = -5,3481 \ln(D_d) - 0,0126 P_a A$	0,9161	0,42
16	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490 \ln(D_d) - 2,6917 P_{d,1^\circ} A$	0,9161	0,42
17	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490 \ln(D_d) - 4,7672 P_{d,2^\circ} A$	0,9161	0,42
18	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490 \ln(D_d) - 110,7433 P_{d,3^\circ} A$	0,9161	0,42

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE V – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490\ln(D_d) - 3,5701P_{d,4^\circ}A$	0,9161	0,42
20	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490\ln(D_d) - 2,3182P_{d,ch}A$	0,9161	0,42
21	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490\ln(D_d) - 27,0632P_{d,se}A$	0,9161	0,42
22	$V_{\text{ótimo}} = -5,3491\ln(D_d) - 8,8887CV$	0,9161	0,42
23	$V_{\text{ótimo}} = -34,1096CV\ln(D_d) - 1,3939$	0,9161	0,42
24	$V_{\text{ótimo}} = -5,3490\ln(D_d) - 0,3588A_pA$	0,9161	0,42
25	$V_{\text{ótimo}} = -15,2921D_d + 31,9965P_dA$	0,8770	0,51
26	$V_{\text{ótimo}} = -15,2923D_d + 1,0616P_mA$	0,8770	0,51
27	$V_{\text{ótimo}} = -15,2945D_d + 0,0885P_aA$	0,8770	0,51
28	$V_{\text{ótimo}} = -15,2921D_d + 18,8633P_{d,1^\circ}A$	0,8770	0,51
29	$V_{\text{ótimo}} = -15,2921D_d + 33,4091P_{d,2^\circ}A$	0,8770	0,51
30	$V_{\text{ótimo}} = -15,2920D_d + 776,0922P_{d,3^\circ}A$	0,8770	0,51
31	$V_{\text{ótimo}} = -15,2921D_d + 25,0193P_{d,4^\circ}A$	0,8770	0,51
32	$V_{\text{ótimo}} = -15,2921D_d + 16,2460P_{d,ch}A$	0,8770	0,51
33	$V_{\text{ótimo}} = -15,2921D_d + 189,6616P_{d,se}A$	0,8770	0,51
34	$V_{\text{ótimo}} = -15,2921D_d + 62,2927CV$	0,8770	0,51
35	$V_{\text{ótimo}} = -15,2922D_d + 2,5145A_pA$	0,8770	0,51
36	$V_{\text{ótimo}} = 51,2320P_dAe^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
37	$V_{\text{ótimo}} = 1,6998P_mAe^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,1417P_aAe^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
39	$V_{\text{ótimo}} = 30,2035P_{d,1^\circ}Ae^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
40	$V_{\text{ótimo}} = 53,4939P_{d,2^\circ}Ae^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
41	$V_{\text{ótimo}} = 1242,6659P_{d,3^\circ}Ae^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
42	$V_{\text{ótimo}} = 40,0603P_{d,4^\circ}Ae^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
43	$V_{\text{ótimo}} = 26,0127P_{d,ch}Ae^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
44	$V_{\text{ótimo}} = 303,6822P_{d,se}Ae^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
45	$V_{\text{ótimo}} = 99,7415CVe^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40
46	$V_{\text{ótimo}} = 4,0260A_pAe^{-3,7938D_d}$	0,9244	0,40

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE W – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 9,8240 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,4832}$	0,9746	0,25
2	$V_{\text{ótimo}} = 1533,3180 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,4829}$	0,9746	0,25
3	$V_{\text{ótimo}} = 56919,1609 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,4719}$	0,9742	0,25
4	$V_{\text{ótimo}} = 21,5104 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,4832}$	0,9746	0,25
5	$V_{\text{ótimo}} = 9,2142 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,4831}$	0,9746	0,25
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,0868 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,4833}$	0,9746	0,25
7	$V_{\text{ótimo}} = 14,1490 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,4831}$	0,9746	0,25
8	$V_{\text{ótimo}} = 26,8434 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,4831}$	0,9746	0,25
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,7014 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,4831}$	0,9746	0,25
10	$V_{\text{ótimo}} = 363,9773 CVD_d^{1,4831}$	0,9746	0,25
11	$V_{\text{ótimo}} = 57,0735 D_d^{1,4831}$	0,9746	0,25
12	$V_{\text{ótimo}} = 427,1132 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,4831}$	0,9746	0,25
13	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814 \ln(D_d) + 39,6798 P_d A$	0,8653	0,57
14	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814 \ln(D_d) + 1,3166 P_m A$	0,8653	0,57
15	$V_{\text{ótimo}} = 4,3823 \ln(D_d) + 0,1097 P_a A$	0,8653	0,57
16	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814 \ln(D_d) + 23,3930 P_{d,1^\circ} A$	0,8653	0,57
17	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814 \ln(D_d) + 41,4317 P_{d,2^\circ} A$	0,8653	0,57
18	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814 \ln(D_d) + 962,4590 P_{d,3^\circ} A$	0,8653	0,57

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE W – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814\ln(D_d) + 31,0272P_{d,4^\circ}A$	0,8653	0,57
20	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814\ln(D_d) + 20,1471P_{d,ch}A$	0,8653	0,57
21	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814\ln(D_d) + 235,2055P_{d,se}A$	0,8653	0,57
22	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814\ln(D_d) + 77,2510CV$	0,8653	0,57
23	$V_{\text{ótimo}} = 27,9390CV\ln(D_d) + 12,1145$	0,8653	0,57
24	$V_{\text{ótimo}} = 4,3814\ln(D_d) + 3,1183A_pA$	0,8653	0,57
25	$V_{\text{ótimo}} = 32,5359D_d - 4,2986P_dA$	0,9508	0,34
26	$V_{\text{ótimo}} = 32,5356D_d - 0,1426P_mA$	0,9508	0,34
27	$V_{\text{ótimo}} = 32,5321D_d - 0,0119P_aA$	0,9508	0,34
28	$V_{\text{ótimo}} = 32,5359D_d - 2,5342P_{d,1^\circ}A$	0,9508	0,34
29	$V_{\text{ótimo}} = 32,5359D_d - 4,4884P_{d,2^\circ}A$	0,9508	0,34
30	$V_{\text{ótimo}} = 32,5361D_d - 104,2690P_{d,3^\circ}A$	0,9508	0,34
31	$V_{\text{ótimo}} = 32,5359D_d - 3,3613P_{d,4^\circ}A$	0,9508	0,34
32	$V_{\text{ótimo}} = 32,5359D_d - 2,1826P_{d,ch}A$	0,9508	0,34
33	$V_{\text{ótimo}} = 32,5359D_d - 25,4805P_{d,se}A$	0,9508	0,34
34	$V_{\text{ótimo}} = 32,5359D_d - 8,3688CV$	0,9508	0,34
35	$V_{\text{ótimo}} = 32,5357D_d - 0,3378A_pA$	0,9508	0,34
36	$V_{\text{ótimo}} = 2,6687P_dAe^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0885P_mAe^{9,2371D_d}$	0,9951	0,11
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0074P_aAe^{9,2421D_d}$	0,9951	0,11
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,5733P_{d,1^\circ}Ae^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
40	$V_{\text{ótimo}} = 2,7866P_{d,2^\circ}Ae^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
41	$V_{\text{ótimo}} = 64,7320P_{d,3^\circ}Ae^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
42	$V_{\text{ótimo}} = 2,0868P_{d,4^\circ}Ae^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,3550P_{d,ch}Ae^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
44	$V_{\text{ótimo}} = 15,8192P_{d,se}Ae^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
45	$V_{\text{ótimo}} = 5,1957CVe^{9,2366D_d}$	0,9951	0,11
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,2097A_pAe^{9,2369D_d}$	0,9951	0,11

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE X – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 5,8312 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,0674}$	0,9543	0,29
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,1536 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,0678}$	0,9543	0,29
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0109 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,0668}$	0,9543	0,29
4	$V_{\text{ótimo}} = 3,3175 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,0674}$	0,9543	0,29
5	$V_{\text{ótimo}} = 6,1064 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,0674}$	0,9543	0,29
6	$V_{\text{ótimo}} = 175,4415 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,0676}$	0,9543	0,29
7	$V_{\text{ótimo}} = 4,4847 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,0674}$	0,9543	0,29
8	$V_{\text{ótimo}} = 2,8286 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-1,0674}$	0,9543	0,29
9	$V_{\text{ótimo}} = 38,9695 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-1,0674}$	0,9543	0,29
10	$V_{\text{ótimo}} = 10,4799 CVD_d^{-1,0674}$	0,9543	0,29
11	$V_{\text{ótimo}} = 1,6434 D_d^{-1,0674}$	0,9543	0,29
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,3861 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,0674}$	0,9543	0,29
13	$V_{\text{ótimo}} = -5,7441 \ln(D_d) - 2,7713 P_d A$	0,9866	0,16
14	$V_{\text{ótimo}} = -5,7440 \ln(D_d) - 0,0919 P_m A$	0,9866	0,16
15	$V_{\text{ótimo}} = -5,7430 \ln(D_d) - 0,0077 P_a A$	0,9866	0,16
16	$V_{\text{ótimo}} = -5,7441 \ln(D_d) - 1,6338 P_{d,1^\circ} A$	0,9866	0,16
17	$V_{\text{ótimo}} = -5,7441 \ln(D_d) - 2,8936 P_{d,2^\circ} A$	0,9866	0,16
18	$V_{\text{ótimo}} = -5,7441 \ln(D_d) - 67,2187 P_{d,3^\circ} A$	0,9866	0,16

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE X – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -5,7441\ln(D_d) - 2,1669P_{d,4^\circ}A$	0,9866	0,16
20	$V_{\text{ótimo}} = -5,7441\ln(D_d) - 1,4071P_{d,ch}A$	0,9866	0,16
21	$V_{\text{ótimo}} = -5,7441\ln(D_d) - 16,4268P_{d,se}A$	0,9866	0,16
22	$V_{\text{ótimo}} = -5,7440\ln(D_d) - 5,3948CV$	0,9866	0,16
23	$V_{\text{ótimo}} = -36,6286CV\ln(D_d) - 0,8461$	0,9866	0,16
24	$V_{\text{ótimo}} = -5,7440\ln(D_d) - 0,2178A_pA$	0,9866	0,16
25	$V_{\text{ótimo}} = -16,1262D_d + 36,0079P_dA$	0,9961	0,08
26	$V_{\text{ótimo}} = -16,1264D_d + 1,1947P_mA$	0,9961	0,08
27	$V_{\text{ótimo}} = -16,1289D_d + 0,0996P_aA$	0,9961	0,08
28	$V_{\text{ótimo}} = -16,1262D_d + 21,2282P_{d,1^\circ}A$	0,9961	0,08
29	$V_{\text{ótimo}} = -16,1262D_d + 37,5976P_{d,2^\circ}A$	0,9961	0,08
30	$V_{\text{ótimo}} = -16,1259D_d + 873,3859P_{d,3^\circ}A$	0,9961	0,08
31	$V_{\text{ótimo}} = -16,1262D_d + 28,1560P_{d,4^\circ}A$	0,9961	0,08
32	$V_{\text{ótimo}} = -16,1262D_d + 18,2827P_{d,ch}A$	0,9961	0,08
33	$V_{\text{ótimo}} = -16,1260D_d + 213,4388P_{d,se}A$	0,9961	0,08
34	$V_{\text{ótimo}} = -16,1262D_d + 70,1023CV$	0,9961	0,08
35	$V_{\text{ótimo}} = -16,1263D_d + 2,8297A_pA$	0,9961	0,08
36	$V_{\text{ótimo}} = 51,5946P_dAe^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
37	$V_{\text{ótimo}} = 1,7118P_mAe^{-3,1824D_d}$	0,9837	0,17
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,1426P_aAe^{-3,1824D_d}$	0,9837	0,17
39	$V_{\text{ótimo}} = 30,4173P_{d,1^\circ}Ae^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
40	$V_{\text{ótimo}} = 53,8725P_{d,2^\circ}Ae^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
41	$V_{\text{ótimo}} = 1251,4602P_{d,3^\circ}Ae^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
42	$V_{\text{ótimo}} = 40,3438P_{d,4^\circ}Ae^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
43	$V_{\text{ótimo}} = 26,1968P_{d,ch}Ae^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
44	$V_{\text{ótimo}} = 305,8313P_{d,se}Ae^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
45	$V_{\text{ótimo}} = 100,4474CVe^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17
46	$V_{\text{ótimo}} = 4,0546A_pAe^{-3,1826D_d}$	0,9837	0,17

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE Y – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 10,1827 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,5032}$	0,9602	0,33
2	$V_{\text{ótimo}} = 1702,2230 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,5030}$	0,9602	0,33
3	$V_{\text{ótimo}} = 71249,1820 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,5030}$	0,9602	0,33
4	$V_{\text{ótimo}} = 22,5340 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,5033}$	0,9602	0,33
5	$V_{\text{ótimo}} = 9,5424 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,5032}$	0,9602	0,33
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,0843 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,5033}$	0,9602	0,33
7	$V_{\text{ótimo}} = 14,7385 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,5033}$	0,9602	0,33
8	$V_{\text{ótimo}} = 28,2058 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,5032}$	0,9602	0,33
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,7015 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,5033}$	0,9602	0,33
10	$V_{\text{ótimo}} = 386,4056 CVD_d^{1,5033}$	0,9602	0,33
11	$V_{\text{ótimo}} = 60,5953 D_d^{1,5033}$	0,9602	0,33
12	$V_{\text{ótimo}} = 465,7452 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,5030}$	0,9602	0,33
13	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708 \ln(D_d) + 41,7646 P_d A$	0,8776	0,57
14	$V_{\text{ótimo}} = 4,6709 \ln(D_d) + 1,3857 P_m A$	0,8776	0,57
15	$V_{\text{ótimo}} = 4,6718 \ln(D_d) + 0,1155 P_a A$	0,8776	0,57
16	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708 \ln(D_d) + 24,6221 P_{d,1^\circ} A$	0,8776	0,57
17	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708 \ln(D_d) + 43,6085 P_{d,2^\circ} A$	0,8776	0,57
18	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708 \ln(D_d) + 1013,0267 P_{d,3^\circ} A$	0,8776	0,57

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE Y – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708\ln(D_d) + 32,6574P_{d,4^\circ}A$	0,8776	0,57
20	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708\ln(D_d) + 21,2057P_{d,ch}A$	0,8776	0,57
21	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708\ln(D_d) + 247,5633P_{d,se}A$	0,8776	0,57
22	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708\ln(D_d) + 81,3098CV$	0,8776	0,57
23	$V_{\text{ótimo}} = 29,7846CV\ln(D_d) + 12,7510$	0,8776	0,57
24	$V_{\text{ótimo}} = 4,6708\ln(D_d) + 3,2821A_pA$	0,8776	0,57
25	$V_{\text{ótimo}} = 34,3230D_d - 4,9366P_dA$	0,9443	0,39
26	$V_{\text{ótimo}} = 34,3227D_d - 0,1638P_mA$	0,9443	0,39
27	$V_{\text{ótimo}} = 34,3192D_d - 0,0136P_aA$	0,9443	0,39
28	$V_{\text{ótimo}} = 34,3230D_d - 2,9103P_{d,1^\circ}A$	0,9443	0,39
29	$V_{\text{ótimo}} = 34,3230D_d - 5,1545P_{d,2^\circ}A$	0,9443	0,39
30	$V_{\text{ótimo}} = 34,3232D_d - 119,7427P_{d,3^\circ}A$	0,9443	0,39
31	$V_{\text{ótimo}} = 34,3230D_d - 3,8601P_{d,4^\circ}A$	0,9443	0,39
32	$V_{\text{ótimo}} = 34,3230D_d - 2,5065P_{d,ch}A$	0,9443	0,39
33	$V_{\text{ótimo}} = 34,3230D_d - 29,2620P_{d,se}A$	0,9443	0,39
34	$V_{\text{ótimo}} = 34,3230D_d - 9,6108CV$	0,9443	0,39
35	$V_{\text{ótimo}} = 34,3229D_d - 0,3879A_pA$	0,9443	0,39
36	$V_{\text{ótimo}} = 2,6673P_dAe^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0885P_mAe^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0074P_aAe^{9,3794D_d}$	0,9699	0,28
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,5725P_{d,1^\circ}Ae^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
40	$V_{\text{ótimo}} = 2,7851P_{d,2^\circ}Ae^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
41	$V_{\text{ótimo}} = 64,6974P_{d,3^\circ}Ae^{9,3712D_d}$	0,9699	0,28
42	$V_{\text{ótimo}} = 2,0857P_{d,4^\circ}Ae^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,3543P_{d,ch}Ae^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
44	$V_{\text{ótimo}} = 15,8107P_{d,se}Ae^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
45	$V_{\text{ótimo}} = 5,1929CVe^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,2096A_pAe^{9,3713D_d}$	0,9699	0,28

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE Z – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 6,2894 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,1047}$	0,9729	0,24
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,1461 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,1047}$	0,9729	0,24
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0093 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,1055}$	0,9729	0,24
4	$V_{\text{ótimo}} = 3,5084 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,1047}$	0,9729	0,24
5	$V_{\text{ótimo}} = 6,5969 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,1047}$	0,9729	0,24
6	$V_{\text{ótimo}} = 213,1666 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,1049}$	0,9729	0,24
7	$V_{\text{ótimo}} = 4,7929 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,1047}$	0,9729	0,24
8	$V_{\text{ótimo}} = 2,9747 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{-1,1047}$	0,9729	0,24
9	$V_{\text{ótimo}} = 44,9155 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{-1,1047}$	0,9729	0,24
10	$V_{\text{ótimo}} = 10,8145 CVD_d^{-1,1047}$	0,9729	0,24
11	$V_{\text{ótimo}} = 1,6959 D_d^{-1,1047}$	0,9729	0,24
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,3787 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,1048}$	0,9729	0,24
13	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488 \ln(D_d) - 2,0871 P_d A$	0,9383	0,36
14	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488 \ln(D_d) - 0,0692 P_m A$	0,9383	0,36
15	$V_{\text{ótimo}} = -5,9478 \ln(D_d) - 0,0058 P_a A$	0,9383	0,36
16	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488 \ln(D_d) - 1,2304 P_{d,1^\circ} A$	0,9383	0,36
17	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488 \ln(D_d) - 2,1792 P_{d,2^\circ} A$	0,9383	0,36
18	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488 \ln(D_d) - 50,6227 P_{d,3^\circ} A$	0,9383	0,36

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE Z – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488\ln(D_d) - 1,6319P_{d,4^\circ}A$	0,9383	0,36
20	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488\ln(D_d) - 1,0597P_{d,ch}A$	0,9383	0,36
21	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488\ln(D_d) - 12,3711P_{d,se}A$	0,9383	0,36
22	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488\ln(D_d) - 4,0630CV$	0,9383	0,36
23	$V_{\text{ótimo}} = -37,9343CV\ln(D_d) - 0,6372$	0,9383	0,36
24	$V_{\text{ótimo}} = -5,9488\ln(D_d) - 0,1640A_pA$	0,9383	0,36
25	$V_{\text{ótimo}} = -16,1911D_d + 37,5004P_dA$	0,8903	0,48
26	$V_{\text{ótimo}} = -16,1913D_d + 1,2442P_mA$	0,8903	0,48
27	$V_{\text{ótimo}} = -16,1938D_d + 0,1037P_aA$	0,8903	0,48
28	$V_{\text{ótimo}} = -16,1911D_d + 22,1081P_{d,1^\circ}A$	0,8903	0,48
29	$V_{\text{ótimo}} = -16,1911D_d + 39,1560P_{d,2^\circ}A$	0,8903	0,48
30	$V_{\text{ótimo}} = -16,1909D_d + 909,5890P_{d,3^\circ}A$	0,8903	0,48
31	$V_{\text{ótimo}} = -16,1911D_d + 29,3230P_{d,4^\circ}A$	0,8903	0,48
32	$V_{\text{ótimo}} = -16,1911D_d + 19,0405P_{d,ch}A$	0,8903	0,48
33	$V_{\text{ótimo}} = -16,1910D_d + 222,2861P_{d,se}A$	0,8903	0,48
34	$V_{\text{ótimo}} = -16,1911D_d + 73,0079CV$	0,8903	0,48
35	$V_{\text{ótimo}} = -16,1912D_d + 2,9470A_pA$	0,8903	0,48
36	$V_{\text{ótimo}} = 55,6877P_dAe^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
37	$V_{\text{ótimo}} = 1,8477P_mAe^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,1540P_aAe^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
39	$V_{\text{ótimo}} = 32,8304P_{d,1^\circ}Ae^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
40	$V_{\text{ótimo}} = 58,1463P_{d,2^\circ}Ae^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
41	$V_{\text{ótimo}} = 1350,7418P_{d,3^\circ}Ae^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
42	$V_{\text{ótimo}} = 43,5444P_{d,4^\circ}Ae^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
43	$V_{\text{ótimo}} = 28,2750P_{d,ch}Ae^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
44	$V_{\text{ótimo}} = 330,0937P_{d,se}Ae^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
45	$V_{\text{ótimo}} = 108,4162CVe^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35
46	$V_{\text{ótimo}} = 4,3762A_pAe^{-3,1890D_d}$	0,9414	0,35

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AA – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 240,0974 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{5,8438}$	0,9558	1,65
2	$V_{\text{ótimo}} = 95849719060,6898 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{5,8187}$	0,9551	1,65
3	$V_{\text{ótimo}} = 93634016457867200 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{5,7136}$	0,9520	1,65
4	$V_{\text{ótimo}} = 5258,0317 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{5,8423}$	0,9557	1,65
5	$V_{\text{ótimo}} = 186,5312 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{5,8439}$	0,9558	1,65
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,00002 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{4,9471}$	0,9241	1,78
7	$V_{\text{ótimo}} = 1010,7581 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{5,8438}$	0,9558	1,65
8	$V_{\text{ótimo}} = 12604,9135 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{5,8438}$	0,9558	1,65
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,0072 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{5,8590}$	0,9562	1,65
10	$V_{\text{ótimo}} = 1564072,4969 CVD_d^{5,8414}$	0,9557	1,65
11	$V_{\text{ótimo}} = 246017,1745 D_d^{5,8431}$	0,9557	1,65
12	$V_{\text{ótimo}} = 640103075,7057 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{5,8212}$	0,9551	1,65
13	$V_{\text{ótimo}} = 0,1070 P_d A e^{32,1159 D_d}$	0,9635	1,38
14	$V_{\text{ótimo}} = 0,0035 P_m A e^{32,1451 D_d}$	0,9636	1,38
15	$V_{\text{ótimo}} = 0,0003 P_a A e^{32,0408 D_d}$	0,9632	1,38
16	$V_{\text{ótimo}} = 0,0631 P_{d,1^\circ} A e^{32,1112 D_d}$	0,9634	1,38
17	$V_{\text{ótimo}} = 0,1118 P_{d,2^\circ} A e^{32,1120 D_d}$	0,9634	1,38
18	$V_{\text{ótimo}} = 2,5976 P_{d,3^\circ} A e^{32,1099 D_d}$	0,9634	1,38

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AA – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 0,0837P_{d,4^{\circ}}Ae^{32,1116D_d}$	0,9634	1,38
20	$V_{\text{ótimo}} = 0,0543P_{d,ch}Ae^{32,1131D_d}$	0,9635	1,38
21	$V_{\text{ótimo}} = 0,6347P_{d,se}Ae^{32,1105D_d}$	0,9634	1,38
22	$V_{\text{ótimo}} = 0,2085CVe^{32,1110D_d}$	0,9634	1,38
23	$V_{\text{ótimo}} = 0,0084A_pAe^{32,1361D_d}$	0,9636	1,38

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AB – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo após a demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 6,2615 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,8864}$	0,9543	0,34
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,3059 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,8864}$	0,9543	0,34
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0337 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,8872}$	0,9543	0,34
4	$V_{\text{ótimo}} = 3,9197 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,8864}$	0,9543	0,34
5	$V_{\text{ótimo}} = 6,5059 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,8864}$	0,9543	0,34
6	$V_{\text{ótimo}} = 105,7407 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,8865}$	0,9543	0,34
7	$V_{\text{ótimo}} = 5,0348 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,8864}$	0,9543	0,34
8	$V_{\text{ótimo}} = 3,4336 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,8864}$	0,9543	0,34
9	$V_{\text{ótimo}} = 30,3234 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,8864}$	0,9543	0,34
10	$V_{\text{ótimo}} = 13,9480 CVD_d^{-0,8865}$	0,9543	0,34
11	$V_{\text{ótimo}} = 2,1873 D_d^{-0,8865}$	0,9543	0,34
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,6566 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,8866}$	0,9543	0,34
13	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015 \ln(D_d) - 0,6698 P_d A$	0,9702	0,27
14	$V_{\text{ótimo}} = -5,6014 \ln(D_d) - 0,0222 P_m A$	0,9702	0,27
15	$V_{\text{ótimo}} = -5,6006 \ln(D_d) - 0,0018 P_a A$	0,9702	0,27
16	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015 \ln(D_d) - 0,3949 P_{d,1^\circ} A$	0,9702	0,27
17	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015 \ln(D_d) - 0,6994 P_{d,2^\circ} A$	0,9702	0,27
18	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015 \ln(D_d) - 16,2475 P_{d,3^\circ} A$	0,9702	0,27

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AB – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo após a demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015\ln(D_d) - 0,5238P_{d,4^\circ}A$	0,9702	0,27
20	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015\ln(D_d) - 0,3401P_{d,ch}A$	0,9702	0,27
21	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015\ln(D_d) - 3,9706P_{d,se}A$	0,9702	0,27
22	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015\ln(D_d) - 1,3040CV$	0,9702	0,27
23	$V_{\text{ótimo}} = -35,7192CV\ln(D_d) - 0,2045$	0,9702	0,27
24	$V_{\text{ótimo}} = -5,6015\ln(D_d) - 0,0526A_pA$	0,9702	0,27
25	$V_{\text{ótimo}} = -16,8821D_d + 38,6757P_dA$	0,9582	0,32
26	$V_{\text{ótimo}} = -16,8822D_d + 1,2832P_mA$	0,9582	0,32
27	$V_{\text{ótimo}} = -16,8842D_d + 0,1069P_aA$	0,9582	0,32
28	$V_{\text{ótimo}} = -16,8821D_d + 22,8010P_{d,1^\circ}A$	0,9582	0,32
29	$V_{\text{ótimo}} = -16,8821D_d + 40,3832P_{d,2^\circ}A$	0,9582	0,32
30	$V_{\text{ótimo}} = -16,8819D_d + 938,0984P_{d,3^\circ}A$	0,9582	0,32
31	$V_{\text{ótimo}} = -16,8821D_d + 30,2421P_{d,4^\circ}A$	0,9582	0,32
32	$V_{\text{ótimo}} = -16,8821D_d + 19,6373P_{d,ch}A$	0,9582	0,32
33	$V_{\text{ótimo}} = -16,8818D_d + 229,2522P_{d,se}A$	0,9582	0,32
34	$V_{\text{ótimo}} = -16,8821D_d + 75,2962CV$	0,9582	0,32
35	$V_{\text{ótimo}} = -16,8821D_d + 3,0394A_pA$	0,9582	0,32
36	$V_{\text{ótimo}} = 51,1233P_dAe^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
37	$V_{\text{ótimo}} = 1,6962P_mAe^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,1413P_aAe^{-2,8903D_d}$	0,9708	0,27
39	$V_{\text{ótimo}} = 30,1394P_{d,1^\circ}Ae^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
40	$V_{\text{ótimo}} = 53,3804P_{d,2^\circ}Ae^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
41	$V_{\text{ótimo}} = 1240,0286P_{d,3^\circ}Ae^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
42	$V_{\text{ótimo}} = 39,9753P_{d,4^\circ}Ae^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
43	$V_{\text{ótimo}} = 25,9575P_{d,ch}Ae^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
44	$V_{\text{ótimo}} = 303,0377P_{d,se}Ae^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
45	$V_{\text{ótimo}} = 99,5299CVe^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27
46	$V_{\text{ótimo}} = 4,0175A_pAe^{-2,8904D_d}$	0,9708	0,27

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AC – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 10,5323 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,4899}$	0,8885	0,67
2	$V_{\text{ótimo}} = 1681,2823 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,4895}$	0,8885	0,67
3	$V_{\text{ótimo}} = 68004,5226 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,4893}$	0,8885	0,67
4	$V_{\text{ótimo}} = 23,1440 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,4899}$	0,8885	0,67
5	$V_{\text{ótimo}} = 9,8757 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,4900}$	0,8885	0,67
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,0910 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,4901}$	0,8885	0,67
7	$V_{\text{ótimo}} = 15,1944 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,4899}$	0,8885	0,67
8	$V_{\text{ótimo}} = 28,9120 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,4899}$	0,8885	0,67
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,7430 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,4899}$	0,8885	0,67
10	$V_{\text{ótimo}} = 393,4101 CVD_d^{1,4900}$	0,8885	0,67
11	$V_{\text{ótimo}} = 61,6942 D_d^{1,4900}$	0,8885	0,67
12	$V_{\text{ótimo}} = 466,0055 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,4899}$	0,8885	0,67
13	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919 \ln(D_d) + 44,7402 P_d A$	0,7735	0,94
14	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919 \ln(D_d) + 1,4844 P_m A$	0,7735	0,94
15	$V_{\text{ótimo}} = 4,9927 \ln(D_d) + 0,1237 P_a A$	0,7735	0,94
16	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919 \ln(D_d) + 26,3763 P_{d,1^\circ} A$	0,7735	0,94
17	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919 \ln(D_d) + 46,7155 P_{d,2^\circ} A$	0,7735	0,94
18	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919 \ln(D_d) + 1085,2031 P_{d,3^\circ} A$	0,7735	0,94

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AC – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919\ln(D_d) + 34,9841P_{d,4^\circ}A$	0,7735	0,94
20	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919\ln(D_d) + 22,7165P_{d,ch}A$	0,7735	0,94
21	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919\ln(D_d) + 265,2015P_{d,se}A$	0,7735	0,94
22	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919\ln(D_d) + 87,1029CV$	0,7735	0,94
23	$V_{\text{ótimo}} = 31,8320CV\ln(D_d) + 13,6594$	0,7735	0,94
24	$V_{\text{ótimo}} = 4,9919\ln(D_d) + 3,5159A_pA$	0,7735	0,94
25	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 4,7126P_dA$	0,8605	0,74
26	$V_{\text{ótimo}} = 35,3648D_d - 0,1564P_mA$	0,8605	0,74
27	$V_{\text{ótimo}} = 35,3619D_d - 0,0130P_aA$	0,8605	0,74
28	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 2,7783P_{d,1^\circ}A$	0,8605	0,74
29	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 4,9207P_{d,2^\circ}A$	0,8605	0,74
30	$V_{\text{ótimo}} = 35,3652D_d - 114,3105P_{d,3^\circ}A$	0,8605	0,74
31	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 3,6850P_{d,4^\circ}A$	0,8605	0,74
32	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 2,3928P_{d,ch}A$	0,8605	0,74
33	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 27,9346P_{d,se}A$	0,8605	0,74
34	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 9,1748CV$	0,8605	0,74
35	$V_{\text{ótimo}} = 35,3651D_d - 0,0293A_pA$	0,8605	0,74
36	$V_{\text{ótimo}} = 3,0069P_dAe^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0998P_mAe^{8,8524D_d}$	0,9295	0,28
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0083P_aAe^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,7727P_{d,1^\circ}Ae^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28
40	$V_{\text{ótimo}} = 3,1397P_{d,2^\circ}Ae^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28
41	$V_{\text{ótimo}} = 72,9353P_{d,3^\circ}Ae^{8,8522D_d}$	0,9295	0,28
42	$V_{\text{ótimo}} = 2,3512P_{d,4^\circ}Ae^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,5628P_{d,ch}Ae^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28
44	$V_{\text{ótimo}} = 17,8239P_{d,se}Ae^{8,8522D_d}$	0,9295	0,28
45	$V_{\text{ótimo}} = 5,8541CVe^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,2363A_pAe^{8,8523D_d}$	0,9295	0,28

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AD – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 13,8023 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-2,9978}$	0,8776	2,05
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,0007 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-2,8861}$	0,8718	2,18
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,00005 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-2,1285}$	0,8278	2,41
4	$V_{\text{ótimo}} = 2,8313 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-2,9979}$	0,8776	2,05
5	$V_{\text{ótimo}} = 15,7108 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-2,9978}$	0,8776	2,05
6	$V_{\text{ótimo}} = 192554,5430 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-2,9930}$	0,8776	2,05
7	$V_{\text{ótimo}} = 6,6024 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-2,9978}$	0,8776	2,05
8	$V_{\text{ótimo}} = 1,8093 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-2,9979}$	0,8776	2,05
9	$V_{\text{ótimo}} = 2836,7186 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-2,9979}$	0,8776	2,05
10	$V_{\text{ótimo}} = 2,5107 CVD_d^{-2,9979}$	0,8776	2,05
11	$V_{\text{ótimo}} = 0,3937 D_d^{-2,9980}$	0,8776	2,05
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,0067 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-2,9980}$	0,8776	2,05
13	$V_{\text{ótimo}} = 713,7106 P_d A e^{-8,9629 D_d}$	0,8263	2,49
14	$V_{\text{ótimo}} = 23,6802 P_m A e^{-8,9629 D_d}$	0,8263	2,49
15	$V_{\text{ótimo}} = 1,9732 P_a A e^{-8,9627 D_d}$	0,8263	2,49
16	$V_{\text{ótimo}} = 420,7637 P_{d,1^\circ} A e^{-8,9629 D_d}$	0,8263	2,49
17	$V_{\text{ótimo}} = 745,2205 P_{d,2^\circ} A e^{-8,9629 D_d}$	0,8263	2,49
18	$V_{\text{ótimo}} = 17311,5071 P_{d,3^\circ} A e^{-8,9629 D_d}$	0,8263	2,49

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AD – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 558,0781P_{d,4^{\circ}}Ae^{-8,9629D_d}$	0,8263	2,49
20	$V_{\text{ótimo}} = 362,3813P_{d,ch}Ae^{-8,9629D_d}$	0,8263	2,49
21	$V_{\text{ótimo}} = 4230,5793P_{d,se}Ae^{-8,9629D_d}$	0,8263	2,49
22	$V_{\text{ótimo}} = 1389,4935CVe^{-8,9629D_d}$	0,8263	2,49
23	$V_{\text{ótimo}} = 56,0873A_pAe^{-8,9629D_d}$	0,8263	2,49

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AE – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Campo das Vertentes (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 10,0311 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
2	$V_{\text{ótimo}} = 2384,7544 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,6065}$	0,9182	0,46
3	$V_{\text{ótimo}} = 117991,5315 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,5922}$	0,9176	0,47
4	$V_{\text{ótimo}} = 23,4476 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
5	$V_{\text{ótimo}} = 9,3584 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,0597 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
7	$V_{\text{ótimo}} = 14,8939 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
8	$V_{\text{ótimo}} = 29,8098 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,5746 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
10	$V_{\text{ótimo}} = 430,4191 \text{CVD}_d^{1,6069}$	0,9182	0,46
11	$V_{\text{ótimo}} = 67,4979 \text{D}_d^{1,6069}$	0,9182	0,46
12	$V_{\text{ótimo}} = 597,5400 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,6069}$	0,9182	0,46
13	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649 \ln(D_d) + 38,9863 P_d A$	0,7960	0,72
14	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649 \ln(D_d) + 1,2935 P_m A$	0,7960	0,72
15	$V_{\text{ótimo}} = 4,3658 \ln(D_d) + 0,1078 P_a A$	0,7960	0,72
16	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649 \ln(D_d) + 22,9841 P_{d,1^\circ} A$	0,7960	0,72
17	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649 \ln(D_d) + 40,7075 P_{d,2^\circ} A$	0,7960	0,72
18	$V_{\text{ótimo}} = 4,3648 \ln(D_d) + 945,6366 P_{d,3^\circ} A$	0,7960	0,72

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AE – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Campo das Vertentes (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649\ln(D_d) + 30,4849P_{d,4^\circ}A$	0,7960	0,72
20	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649\ln(D_d) + 19,7950P_{d,ch}A$	0,7960	0,72
21	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649\ln(D_d) + 231,0946P_{d,se}A$	0,7960	0,72
22	$V_{\text{ótimo}} = 4,3648\ln(D_d) + 75,9008CV$	0,7960	0,72
23	$V_{\text{ótimo}} = 27,8338CV\ln(D_d) + 11,9027$	0,7960	0,72
24	$V_{\text{ótimo}} = 4,3649\ln(D_d) + 3,0638A_pA$	0,7960	0,72
25	$V_{\text{ótimo}} = 32,6060D_d - 4,9235P_dA$	0,8851	0,54
26	$V_{\text{ótimo}} = 32,6056D_d - 0,1634P_mA$	0,8851	0,54
27	$V_{\text{ótimo}} = 32,6022D_d - 0,0136P_aA$	0,8851	0,54
28	$V_{\text{ótimo}} = 32,6059D_d - 2,9026P_{d,1^\circ}A$	0,8851	0,54
29	$V_{\text{ótimo}} = 32,6060D_d - 5,1409P_{d,2^\circ}A$	0,8851	0,54
30	$V_{\text{ótimo}} = 32,6062D_d - 119,4247P_{d,3^\circ}A$	0,8851	0,54
31	$V_{\text{ótimo}} = 32,6059D_d - 3,8499P_{d,4^\circ}A$	0,8851	0,54
32	$V_{\text{ótimo}} = 32,6059D_d - 2,4999P_{d,ch}A$	0,8851	0,54
33	$V_{\text{ótimo}} = 32,6060D_d - 29,1844P_{d,se}A$	0,8851	0,54
34	$V_{\text{ótimo}} = 32,6060D_d - 9,5853CV$	0,8851	0,54
35	$V_{\text{ótimo}} = 32,6058D_d - 0,3869A_pA$	0,8851	0,54
36	$V_{\text{ótimo}} = 2,2144P_dAe^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0735P_mAe^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0061P_aAe^{10,0148D_d}$	0,9485	0,37
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,3055P_{d,1^\circ}Ae^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
40	$V_{\text{ótimo}} = 2,3122P_{d,2^\circ}Ae^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
41	$V_{\text{ótimo}} = 53,7118P_{d,3^\circ}Ae^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
42	$V_{\text{ótimo}} = 1,7315P_{d,4^\circ}Ae^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,1243P_{d,ch}Ae^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
44	$V_{\text{ótimo}} = 13,1261P_{d,se}Ae^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
45	$V_{\text{ótimo}} = 4,3111CVe^{10,0100D_d}$	0,9485	0,37
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,1740A_pAe^{10,0104D_d}$	0,9485	0,37

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AF – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Campo das Vertentes (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 9,6251 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-3,0220}$	0,8683	2,03
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,0004 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-2,9632}$	0,8661	2,04
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,00003 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-2,1868}$	0,8313	2,37
4	$V_{\text{ótimo}} = 1,9494 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-3,0220}$	0,8683	2,03
5	$V_{\text{ótimo}} = 10,9674 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-3,0219}$	0,8683	2,03
6	$V_{\text{ótimo}} = 144654,7657 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-3,0162}$	0,8683	2,03
7	$V_{\text{ótimo}} = 4,5770 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-3,0220}$	0,8683	2,03
8	$V_{\text{ótimo}} = 1,2412 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-3,0221}$	0,8683	2,03
9	$V_{\text{ótimo}} = 2085,5209 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-3,0223}$	0,8683	2,03
10	$V_{\text{ótimo}} = 1,7015 CVD_d^{-3,0220}$	0,8683	2,03
11	$V_{\text{ótimo}} = 0,2667 D_d^{-3,0223}$	0,8683	2,03
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,0044 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-3,0204}$	0,8683	2,03
13	$V_{\text{ótimo}} = 731,8461 P_d A e^{-10,2110 D_d}$	0,8452	2,29
14	$V_{\text{ótimo}} = 24,2777 P_m A e^{-10,2104 D_d}$	0,8452	2,29
15	$V_{\text{ótimo}} = 2,0234 P_a A e^{-10,2108 D_d}$	0,8452	2,29
16	$V_{\text{ótimo}} = 431,4553 P_{d,1^\circ} A e^{-10,2110 D_d}$	0,8452	2,29
17	$V_{\text{ótimo}} = 764,1566 P_{d,2^\circ} A e^{-10,2110 D_d}$	0,8452	2,29
18	$V_{\text{ótimo}} = 17751,3952 P_{d,3^\circ} A e^{-10,2110 D_d}$	0,8452	2,29

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AF – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Campo das Vertentes (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 572,2590P_{d,4^{\circ}}Ae^{-10,2110D_d}$	0,8452	2,29
20	$V_{\text{ótimo}} = 371,5894P_{d,ch}Ae^{-10,2110D_d}$	0,8452	2,29
21	$V_{\text{ótimo}} = 4338,0789P_{d,se}Ae^{-10,2110D_d}$	0,8452	2,29
22	$V_{\text{ótimo}} = 1424,8008CVe^{-10,2110D_d}$	0,8452	2,29
23	$V_{\text{ótimo}} = 3,3529A_pAe^{-10,2110D_d}$	0,8452	2,29

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AG – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 270 L para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 6,5129 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,2932}$	0,9190	0,34
2	$V_{\text{ótimo}} = 532,8217 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,2932}$	0,9190	0,34
3	$V_{\text{ótimo}} = 12743,1124 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,2871}$	0,9190	0,34
4	$V_{\text{ótimo}} = 12,8985 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,2932}$	0,9190	0,34
5	$V_{\text{ótimo}} = 6,1590 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,2932}$	0,9190	0,34
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,1054 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,2931}$	0,9190	0,34
7	$V_{\text{ótimo}} = 8,9520 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,2932}$	0,9190	0,34
8	$V_{\text{ótimo}} = 15,6471 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,2932}$	0,9190	0,34
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,6521 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,2932}$	0,9190	0,34
10	$V_{\text{ótimo}} = 192,6253 CVD_d^{1,2932}$	0,9190	0,34
11	$V_{\text{ótimo}} = 30,2073 D_d^{1,2932}$	0,9190	0,34
12	$V_{\text{ótimo}} = 172,3522 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,2888}$	0,9190	0,34
13	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514 \ln(D_d) + 29,0012 P_d A$	0,8363	0,48
14	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514 \ln(D_d) + 0,9622 P_m A$	0,8363	0,48
15	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514 \ln(D_d) + 0,0802 P_a A$	0,8363	0,48
16	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514 \ln(D_d) + 17,0975 P_{d,1^\circ} A$	0,8363	0,48
17	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514 \ln(D_d) + 30,2816 P_{d,2^\circ} A$	0,8363	0,48
18	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514 \ln(D_d) + 703,4424 P_{d,3^\circ} A$	0,8363	0,48

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AG – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 270 L para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514\ln(D_d) + 22,6772P_{d,4^\circ}A$	0,8363	0,48
20	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514\ln(D_d) + 14,7251P_{d,ch}A$	0,8363	0,48
21	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514\ln(D_d) + 171,9070P_{d,se}A$	0,8363	0,48
22	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514\ln(D_d) + 56,4612CV$	0,8363	0,48
23	$V_{\text{ótimo}} = 20,0960CV\ln(D_d) + 8,8542$	0,8363	0,48
24	$V_{\text{ótimo}} = 3,1514\ln(D_d) + 2,2791A_pA$	0,8363	0,48
25	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 2,0676P_dA$	0,9068	0,37
26	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 0,0686P_mA$	0,9068	0,37
27	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 0,0057P_aA$	0,9068	0,37
28	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 1,2189P_{d,1^\circ}A$	0,9068	0,37
29	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 2,1589P_{d,2^\circ}A$	0,9068	0,37
30	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 50,1508P_{d,3^\circ}A$	0,9068	0,37
31	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 1,6167P_{d,4^\circ}A$	0,9068	0,37
32	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 1,0498P_{d,ch}A$	0,9068	0,37
33	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 12,2558P_{d,se}A$	0,9068	0,37
34	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 4,0253CV$	0,9068	0,37
35	$V_{\text{ótimo}} = 22,0413D_d - 0,1625A_pA$	0,9068	0,37
36	$V_{\text{ótimo}} = 2,5281P_dAe^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,0839P_mAe^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0070P_aAe^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,4904P_{d,1^\circ}Ae^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
40	$V_{\text{ótimo}} = 2,6398P_{d,2^\circ}Ae^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
41	$V_{\text{ótimo}} = 61,3216P_{d,3^\circ}Ae^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
42	$V_{\text{ótimo}} = 1,9768P_{d,4^\circ}Ae^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,2836P_{d,ch}Ae^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
44	$V_{\text{ótimo}} = 14,9857P_{d,se}Ae^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
45	$V_{\text{ótimo}} = 4,9219CVe^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,1987A_pAe^{7,7552D_d}$	0,9451	0,28

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AH – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 270 L para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 6,6986 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,8062}$	0,9750	0,16
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,4301 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,8062}$	0,9750	0,16
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0639 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,7891}$	0,9746	0,16
4	$V_{\text{ótimo}} = 4,3750 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,8062}$	0,9750	0,16
5	$V_{\text{ótimo}} = 6,9360 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,8062}$	0,9750	0,16
6	$V_{\text{ótimo}} = 88,1569 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,8081}$	0,9750	0,16
7	$V_{\text{ótimo}} = 5,4936 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,8062}$	0,9750	0,16
8	$V_{\text{ótimo}} = 3,8786 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,8062}$	0,9750	0,16
9	$V_{\text{ótimo}} = 28,1346 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,8064}$	0,9750	0,16
10	$V_{\text{ótimo}} = 16,4129 CVD_d^{-0,8062}$	0,9750	0,16
11	$V_{\text{ótimo}} = 2,5739 D_d^{-0,8062}$	0,9750	0,16
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,8770 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,7991}$	0,9748	0,16
13	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744 \ln(D_d) - 4,1948 P_d A$	0,9483	0,22
14	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744 \ln(D_d) - 0,1392 P_m A$	0,9483	0,22
15	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744 \ln(D_d) - 0,0116 P_a A$	0,9483	0,22
16	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744 \ln(D_d) - 2,4730 P_{d,1^\circ} A$	0,9483	0,22
17	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744 \ln(D_d) - 4,3800 P_{d,2^\circ} A$	0,9483	0,22
18	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744 \ln(D_d) - 101,7470 P_{d,3^\circ} A$	0,9483	0,22

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AH – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 270 L para a mesorregião Sul e Sudoeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744\ln(D_d) - 3,2801P_{d,4^\circ}A$	0,9483	0,22
20	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744\ln(D_d) - 2,1299P_{d,ch}A$	0,9483	0,22
21	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744\ln(D_d) - 24,8649P_{d,se}A$	0,9483	0,22
22	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744\ln(D_d) - 8,1666CV$	0,9483	0,22
23	$V_{\text{ótimo}} = -29,1700CV\ln(D_d) - 1,2807$	0,9483	0,22
24	$V_{\text{ótimo}} = -4,5744\ln(D_d) - 0,3296A_pA$	0,9483	0,22
25	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 33,8921P_dA$	0,9043	0,31
26	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 1,1245P_mA$	0,9043	0,31
27	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 0,0937P_aA$	0,9043	0,31
28	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 19,9809P_{d,1^\circ}A$	0,9043	0,31
29	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 35,3884P_{d,2^\circ}A$	0,9043	0,31
30	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 822,0737P_{d,3^\circ}A$	0,9043	0,31
31	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 26,5015P_{d,4^\circ}A$	0,9043	0,31
32	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 17,2084P_{d,ch}A$	0,9043	0,31
33	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 200,8981P_{d,se}A$	0,9043	0,31
34	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 65,9831CV$	0,9043	0,31
35	$V_{\text{ótimo}} = -11,9212D_d + 2,6634A_pA$	0,9043	0,31
36	$V_{\text{ótimo}} = 42,6658P_dAe^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
37	$V_{\text{ótimo}} = 1,4156P_mAe^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,1180P_aAe^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
39	$V_{\text{ótimo}} = 25,1534P_{d,1^\circ}Ae^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
40	$V_{\text{ótimo}} = 44,5495P_{d,2^\circ}Ae^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
41	$V_{\text{ótimo}} = 1034,8872P_{d,3^\circ}Ae^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
42	$V_{\text{ótimo}} = 33,3621P_{d,4^\circ}Ae^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
43	$V_{\text{ótimo}} = 21,6633P_{d,ch}Ae^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
44	$V_{\text{ótimo}} = 252,9053P_{d,se}Ae^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
45	$V_{\text{ótimo}} = 83,0644CVe^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25
46	$V_{\text{ótimo}} = 3,3529A_pAe^{-2,1666D_d}$	0,9396	0,25

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AI – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 5,6177 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,1320}$	0,9785	0,16
2	$V_{\text{ótimo}} = 265,3930 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,1320}$	0,9785	0,16
3	$V_{\text{ótimo}} = 4405,7129 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,1314}$	0,9785	0,16
4	$V_{\text{ótimo}} = 10,2171 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,1320}$	0,9785	0,16
5	$V_{\text{ótimo}} = 5,3496 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,1320}$	0,9785	0,16
6	$V_{\text{ótimo}} = 0,1521 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,1320}$	0,9785	0,16
7	$V_{\text{ótimo}} = 7,4214 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,1320}$	0,9785	0,16
8	$V_{\text{ótimo}} = 12,0991 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,1319}$	0,9785	0,16
9	$V_{\text{ótimo}} = 0,7494 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,1320}$	0,9785	0,16
10	$V_{\text{ótimo}} = 137,2212 CVD_d^{1,1320}$	0,9785	0,16
11	$V_{\text{ótimo}} = 21,5191 D_d^{1,1320}$	0,9785	0,16
12	$V_{\text{ótimo}} = 99,9912 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,1319}$	0,9785	0,16
13	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997 \ln(D_d) + 27,0224 P_d A$	0,9193	0,32
14	$V_{\text{ótimo}} = 2,8998 \ln(D_d) + 0,8966 P_m A$	0,9193	0,32
15	$V_{\text{ótimo}} = 2,9004 \ln(D_d) + 0,0747 P_a A$	0,9193	0,32
16	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997 \ln(D_d) + 15,9309 P_{d,1^\circ} A$	0,9193	0,32
17	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997 \ln(D_d) + 28,2154 P_{d,2^\circ} A$	0,9193	0,32
18	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997 \ln(D_d) + 655,4441 P_{d,3^\circ} A$	0,9193	0,32

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AI – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo até a demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997\ln(D_d) + 21,1299P_{d,4^\circ}A$	0,9193	0,32
20	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997\ln(D_d) + 13,7204P_{d,ch}A$	0,9193	0,32
21	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997\ln(D_d) + 160,1775P_{d,se}A$	0,9193	0,32
22	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997\ln(D_d) + 52,6088CV$	0,9193	0,32
23	$V_{\text{ótimo}} = 18,4908CV\ln(D_d) + 8,2501$	0,9193	0,32
24	$V_{\text{ótimo}} = 2,8997\ln(D_d) + 2,1236A_pA$	0,9193	0,32
25	$V_{\text{ótimo}} = 18,9975D_d - 0,9935P_dA$	0,9755	0,17
26	$V_{\text{ótimo}} = 18,9973D_d - 0,0330P_mA$	0,9755	0,17
27	$V_{\text{ótimo}} = 18,9948D_d - 0,0027P_aA$	0,9755	0,17
28	$V_{\text{ótimo}} = 18,9975D_d - 0,5857P_{d,1^\circ}A$	0,9755	0,17
29	$V_{\text{ótimo}} = 18,9975D_d - 1,0374P_{d,2^\circ}A$	0,9755	0,17
30	$V_{\text{ótimo}} = 18,9976D_d - 24,0990P_{d,3^\circ}A$	0,9755	0,17
31	$V_{\text{ótimo}} = 18,9975D_d - 0,7769P_{d,4^\circ}A$	0,9755	0,17
32	$V_{\text{ótimo}} = 18,9975D_d - 0,5045P_{d,ch}A$	0,9755	0,17
33	$V_{\text{ótimo}} = 18,9976D_d - 5,8893P_{d,se}A$	0,9755	0,17
34	$V_{\text{ótimo}} = 18,9976D_d - 1,9343CV$	0,9755	0,17
35	$V_{\text{ótimo}} = 18,9975D_d - 0,0781A_pA$	0,9755	0,17
36	$V_{\text{ótimo}} = 3,0596P_dAe^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
37	$V_{\text{ótimo}} = 0,1015P_mAe^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,0085P_aAe^{6,3334D_d}$	0,9798	0,16
39	$V_{\text{ótimo}} = 1,8038P_{d,1^\circ}Ae^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
40	$V_{\text{ótimo}} = 3,1947P_{d,2^\circ}Ae^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
41	$V_{\text{ótimo}} = 74,2135P_{d,3^\circ}Ae^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
42	$V_{\text{ótimo}} = 2,3924P_{d,4^\circ}Ae^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
43	$V_{\text{ótimo}} = 1,5535P_{d,ch}Ae^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
44	$V_{\text{ótimo}} = 18,1363P_{d,se}Ae^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
45	$V_{\text{ótimo}} = 5,9567CVe^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16
46	$V_{\text{ótimo}} = 0,2404A_pAe^{6,3331D_d}$	0,9798	0,16

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AJ – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 8,7082 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,6169}$	0,9307	0,46
2	$V_{\text{ótimo}} = 0,0353 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,6170}$	0,9307	0,46
3	$V_{\text{ótimo}} = 0,0010 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,5355}$	0,9287	0,48
4	$V_{\text{ótimo}} = 3,7056 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,6170}$	0,9307	0,46
5	$V_{\text{ótimo}} = 9,3382 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,6169}$	0,9307	0,46
6	$V_{\text{ótimo}} = 1509,2514 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,6169}$	0,9307	0,46
7	$V_{\text{ótimo}} = 5,8505 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,6169}$	0,9307	0,46
8	$V_{\text{ótimo}} = 2,9105 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-1,6169}$	0,9307	0,46
9	$V_{\text{ótimo}} = 154,7816 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-1,6171}$	0,9307	0,46
10	$V_{\text{ótimo}} = 8,1540 CVD_d^{-1,6169}$	0,9307	0,46
11	$V_{\text{ótimo}} = 1,2787 D_d^{-1,6169}$	0,9307	0,46
12	$V_{\text{ótimo}} = 0,1426 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,6165}$	0,9307	0,46
13	$V_{\text{ótimo}} = -9,1025 \ln(D_d) - 7,9714 P_d A$	0,8846	0,59
14	$V_{\text{ótimo}} = -9,1023 \ln(D_d) - 0,2645 P_m A$	0,8846	0,59
15	$V_{\text{ótimo}} = -9,1008 \ln(D_d) - 0,0220 P_a A$	0,8846	0,59
16	$V_{\text{ótimo}} = -9,1025 \ln(D_d) - 4,6995 P_{d,1^\circ} A$	0,8846	0,59
17	$V_{\text{ótimo}} = -9,1025 \ln(D_d) - 8,3234 P_{d,2^\circ} A$	0,8846	0,59
18	$V_{\text{ótimo}} = -9,1025 \ln(D_d) - 193,3528 P_{d,3^\circ} A$	0,8846	0,59

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AJ – Modelos matemáticos para o comportamento do volume ótimo a partir da demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{ótimo}} = -9,1025\ln(D_d) - 6,2332P_{d,4^\circ}A$	0,8846	0,59
20	$V_{\text{ótimo}} = -9,1025\ln(D_d) - 4,0474P_{d,ch}A$	0,8846	0,59
21	$V_{\text{ótimo}} = -9,1025\ln(D_d) - 47,2513P_{d,se}A$	0,8846	0,59
22	$V_{\text{ótimo}} = -9,1024\ln(D_d) - 15,5188CV$	0,8846	0,59
23	$V_{\text{ótimo}} = -58,0441CV\ln(D_d) - 2,4337$	0,8846	0,59
24	$V_{\text{ótimo}} = -9,1024\ln(D_d) - 0,6264A_pA$	0,8846	0,59
25	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 49,2516P_dA$	0,8494	0,68
26	$V_{\text{ótimo}} = -22,4255D_d + 1,6341P_mA$	0,8494	0,68
27	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 0,1362P_aA$	0,8494	0,68
28	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 29,0360P_{d,1^\circ}A$	0,8494	0,68
29	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 51,4260P_{d,2^\circ}A$	0,8494	0,68
30	$V_{\text{ótimo}} = -22,4251D_d + 1194,6260P_{d,3^\circ}A$	0,8494	0,68
31	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 38,5117P_{d,4^\circ}A$	0,8494	0,68
32	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 25,0071P_{d,ch}A$	0,8494	0,68
33	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 291,9427P_{d,se}A$	0,8494	0,68
34	$V_{\text{ótimo}} = -22,4252D_d + 95,8857CV$	0,8494	0,68
35	$V_{\text{ótimo}} = -22,4253D_d + 3,8705A_pA$	0,8494	0,68
36	$V_{\text{ótimo}} = 97,3248P_dAe^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
37	$V_{\text{ótimo}} = 3,2292P_mAe^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
38	$V_{\text{ótimo}} = 0,2691P_aAe^{-4,0944D_d}$	0,9036	0,54
39	$V_{\text{ótimo}} = 57,3772P_{d,1^\circ}Ae^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
40	$V_{\text{ótimo}} = 101,6216P_{d,2^\circ}Ae^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
41	$V_{\text{ótimo}} = 2360,6750P_{d,3^\circ}Ae^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
42	$V_{\text{ótimo}} = 76,1020P_{d,4^\circ}Ae^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
43	$V_{\text{ótimo}} = 49,4159P_{d,ch}Ae^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
44	$V_{\text{ótimo}} = 576,9008P_{d,se}Ae^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
45	$V_{\text{ótimo}} = 189,4776CVe^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54
46	$V_{\text{ótimo}} = 7,6483A_pAe^{-4,0946D_d}$	0,9036	0,54

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AK – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Norte de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 271,4747 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{2,4435}$	0,9181	5,11
2	$V_{\text{máximo}} = 1108437,8952 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{2,4417}$	0,9181	5,11
3	$V_{\text{máximo}} = 384469433,4494 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{2,4088}$	0,9168	5,12
4	$V_{\text{máximo}} = 987,3415 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{2,4435}$	0,9181	5,11
5	$V_{\text{máximo}} = 244,2871 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{2,4436}$	0,9181	5,11
6	$V_{\text{máximo}} = 0,1122 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{2,4434}$	0,9181	5,11
7	$V_{\text{máximo}} = 495,1967 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{2,4435}$	0,9181	5,11
8	$V_{\text{máximo}} = 1422,4489 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{2,4436}$	0,9181	5,11
9	$V_{\text{máximo}} = 3,5089 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{2,4436}$	0,9181	5,11
10	$V_{\text{máximo}} = 31427,5691 CVD_d^{2,4434}$	0,9181	5,11
11	$V_{\text{máximo}} = 4928,3067 D_d^{2,4434}$	0,9181	5,11
12	$V_{\text{máximo}} = 135873,9897 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{2,4436}$	0,9181	5,11
13	$V_{\text{máximo}} = 58,3726 \ln(D_d) + 517,6986 P_d A$	0,7661	8,38
14	$V_{\text{máximo}} = 58,3732 \ln(D_d) + 17,1768 P_m A$	0,7661	8,38
15	$V_{\text{máximo}} = 58,3748 \ln(D_d) + 1,4314 P_a A$	0,7661	8,38
16	$V_{\text{máximo}} = 58,3729 \ln(D_d) + 305,2077 P_{d,1^\circ} A$	0,7661	8,38
17	$V_{\text{máximo}} = 58,3726 \ln(D_d) + 540,5548 P_{d,2^\circ} A$	0,7661	8,38
18	$V_{\text{máximo}} = 58,3731 \ln(D_d) + 12557,1959 P_{d,3^\circ} A$	0,7661	8,38

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AK – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Norte de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 58,3725\ln(D_d) + 404,8085P_{d,4^\circ}A$	0,7661	8,38
20	$V_{\text{máximo}} = 58,3731\ln(D_d) + 262,8594P_{d,ch}A$	0,7661	8,38
21	$V_{\text{máximo}} = 58,3731\ln(D_d) + 3068,7214P_{d,se}A$	0,7661	8,38
22	$V_{\text{máximo}} = 58,3730\ln(D_d) + 1007,8911CV$	0,7661	8,38
23	$V_{\text{máximo}} = 372,2283CV\ln(D_d) + 158,0557$	0,7661	8,38
24	$V_{\text{máximo}} = 58,3731\ln(D_d) + 40,6839A_pA$	0,7661	8,38
25	$V_{\text{máximo}} = 527,7601D_d - 102,7474P_dA$	0,8422	6,88
26	$V_{\text{máximo}} = 527,7593D_d - 3,4090P_mA$	0,8422	6,88
27	$V_{\text{máximo}} = 527,7624D_d - 0,2841P_aA$	0,8422	6,88
28	$V_{\text{máximo}} = 527,7603D_d - 60,5741P_{d,1^\circ}A$	0,8422	6,88
29	$V_{\text{máximo}} = 527,7602D_d - 107,2836P_{d,2^\circ}A$	0,8422	6,88
30	$V_{\text{máximo}} = 527,7569D_d - 2492,1580P_{d,3^\circ}A$	0,8422	6,88
31	$V_{\text{máximo}} = 527,7603D_d - 80,3422P_{d,4^\circ}A$	0,8422	6,88
32	$V_{\text{máximo}} = 527,7604D_d - 52,1693P_{d,ch}A$	0,8422	6,88
33	$V_{\text{máximo}} = 527,7565D_d - 609,0330P_{d,se}A$	0,8422	6,88
34	$V_{\text{máximo}} = 527,7565D_d - 200,0312CV$	0,8422	6,88
35	$V_{\text{máximo}} = 527,7599D_d - 8,0744A_pA$	0,8422	6,88
36	$V_{\text{máximo}} = 8,9760P_dAe^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
37	$V_{\text{máximo}} = 0,2978P_mAe^{18,9333D_d}$	0,9508	3,92
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0248P_aAe^{18,9342D_d}$	0,9508	3,92
39	$V_{\text{máximo}} = 5,2917P_{d,1^\circ}Ae^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
40	$V_{\text{máximo}} = 9,3723P_{d,2^\circ}Ae^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
41	$V_{\text{máximo}} = 217,7202P_{d,3^\circ}Ae^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
42	$V_{\text{máximo}} = 7,0187P_{d,4^\circ}Ae^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
43	$V_{\text{máximo}} = 4,5575P_{d,ch}Ae^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
44	$V_{\text{máximo}} = 53,2063P_{d,se}Ae^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
45	$V_{\text{máximo}} = 17,4751CVe^{18,9327D_d}$	0,9508	3,92
46	$V_{\text{máximo}} = 0,7054A_pAe^{18,9329D_d}$	0,9508	3,92

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AL – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 225,4266 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{2,3418}$	0,9636	2,97
2	$V_{\text{máximo}} = 634082,3644 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{2,3337}$	0,9633	2,97
3	$V_{\text{máximo}} = 149499024,4787 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{2,2829}$	0,9618	2,98
4	$V_{\text{máximo}} = 776,9056 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{2,3417}$	0,9636	2,97
5	$V_{\text{máximo}} = 203,7364 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{2,3418}$	0,9636	2,97
6	$V_{\text{máximo}} = 0,1291 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{2,3410}$	0,9635	2,97
7	$V_{\text{máximo}} = 401,0190 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{2,3418}$	0,9636	2,97
8	$V_{\text{máximo}} = 1102,0624 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{2,3416}$	0,9636	2,97
9	$V_{\text{máximo}} = 3,4920 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{2,3418}$	0,9636	2,97
10	$V_{\text{máximo}} = 23121,1188 CVD_d^{2,3415}$	0,9636	2,97
11	$V_{\text{máximo}} = 3625,8339 D_d^{2,3415}$	0,9636	2,97
12	$V_{\text{máximo}} = 86467,3386 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{2,3397}$	0,9636	2,97
13	$V_{\text{máximo}} = 52,8509 \ln(D_d) + 467,3050 P_d A$	0,8352	6,10
14	$V_{\text{máximo}} = 52,8515 \ln(D_d) + 15,5048 P_m A$	0,8352	6,10
15	$V_{\text{máximo}} = 52,8531 \ln(D_d) + 1,2921 P_a A$	0,8352	6,10
16	$V_{\text{máximo}} = 52,8514 \ln(D_d) + 275,4988 P_{d,1^\circ} A$	0,8352	6,10
17	$V_{\text{máximo}} = 52,8509 \ln(D_d) + 487,9363 P_{d,2^\circ} A$	0,8352	6,10
18	$V_{\text{máximo}} = 52,8514 \ln(D_d) + 11334,8671 P_{d,3^\circ} A$	0,8352	6,10

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AL – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 52,8511\ln(D_d) + 365,4052P_{d,4^\circ}A$	0,8352	6,10
20	$V_{\text{máximo}} = 52,8514\ln(D_d) + 237,2725P_{d,ch}A$	0,8352	6,10
21	$V_{\text{máximo}} = 52,8514\ln(D_d) + 2770,0098P_{d,se}A$	0,8352	6,10
22	$V_{\text{máximo}} = 52,8513\ln(D_d) + 909,7811CV$	0,8352	6,10
23	$V_{\text{máximo}} = 337,0185CV\ln(D_d) + 142,6705$	0,8352	6,10
24	$V_{\text{máximo}} = 52,8515\ln(D_d) + 36,7237A_pA$	0,8352	6,10
25	$V_{\text{máximo}} = 474,4603D_d - 93,0288P_dA$	0,9053	4,62
26	$V_{\text{máximo}} = 474,4605D_d - 3,0866P_mA$	0,9053	4,62
27	$V_{\text{máximo}} = 474,4591D_d - 0,2572P_aA$	0,9053	4,62
28	$V_{\text{máximo}} = 474,4611D_d - 54,8447P_{d,1^\circ}A$	0,9053	4,62
29	$V_{\text{máximo}} = 474,4601D_d - 97,1359P_{d,2^\circ}A$	0,9053	4,62
30	$V_{\text{máximo}} = 474,4580D_d - 2256,4376P_{d,3^\circ}A$	0,9053	4,62
31	$V_{\text{máximo}} = 474,4607D_d - 72,7430P_{d,4^\circ}A$	0,9053	4,62
32	$V_{\text{máximo}} = 474,4610D_d - 47,2348P_{d,ch}A$	0,9053	4,62
33	$V_{\text{máximo}} = 474,4582D_d - 551,4301P_{d,se}A$	0,9053	4,62
34	$V_{\text{máximo}} = 474,4576D_d - 181,1112CV$	0,9053	4,62
35	$V_{\text{máximo}} = 474,4610D_d - 7,3107A_pA$	0,9053	4,62
36	$V_{\text{máximo}} = 9,0862P_dAe^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
37	$V_{\text{máximo}} = 0,3015P_mAe^{18,0925D_d}$	0,9844	1,91
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0251P_aAe^{18,0985D_d}$	0,9844	1,91
39	$V_{\text{máximo}} = 5,3567P_{d,1^\circ}Ae^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
40	$V_{\text{máximo}} = 9,4873P_{d,2^\circ}Ae^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
41	$V_{\text{máximo}} = 220,3917P_{d,3^\circ}Ae^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
42	$V_{\text{máximo}} = 7,1048P_{d,4^\circ}Ae^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
43	$V_{\text{máximo}} = 4,6134P_{d,ch}Ae^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
44	$V_{\text{máximo}} = 53,8592P_{d,se}Ae^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
45	$V_{\text{máximo}} = 17,6895CVe^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91
46	$V_{\text{máximo}} = 0,7141A_pAe^{18,0923D_d}$	0,9844	1,91

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AM – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 350,8440 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{2,7098}$	0,9902	2,06
2	$V_{\text{máximo}} = 3540291,8552 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{2,7072}$	0,9903	2,07
3	$V_{\text{máximo}} = 1909991410,2970 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{2,6415}$	0,9891	2,09
4	$V_{\text{máximo}} = 1468,4304 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{2,7096}$	0,9902	2,06
5	$V_{\text{máximo}} = 312,0756 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{2,7098}$	0,9902	2,06
6	$V_{\text{máximo}} = 0,0622 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{2,7083}$	0,9902	2,06
7	$V_{\text{máximo}} = 683,2443 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{2,7098}$	0,9902	2,06
8	$V_{\text{máximo}} = 2201,2108 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{2,7097}$	0,9902	2,06
9	$V_{\text{máximo}} = 2,8232 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{2,7098}$	0,9902	2,06
10	$V_{\text{máximo}} = 55737,6472 CVD_d^{2,7100}$	0,9902	2,06
11	$V_{\text{máximo}} = 8736,2497 D_d^{2,7098}$	0,9902	2,06
12	$V_{\text{máximo}} = 344997,3483 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{2,7094}$	0,9902	2,06
13	$V_{\text{máximo}} = 70,3232 \ln(D_d) + 604,6953 P_d A$	0,8614	7,32
14	$V_{\text{máximo}} = 70,3239 \ln(D_d) + 20,0633 P_m A$	0,8614	7,32
15	$V_{\text{máximo}} = 70,3255 \ln(D_d) + 1,6720 P_a A$	0,8614	7,32
16	$V_{\text{máximo}} = 70,3237 \ln(D_d) + 356,4966 P_{d,1^\circ} A$	0,8614	7,32
17	$V_{\text{máximo}} = 70,3232 \ln(D_d) + 631,3924 P_{d,2^\circ} A$	0,8614	7,32
18	$V_{\text{máximo}} = 70,3238 \ln(D_d) + 14667,3693 P_{d,3^\circ} A$	0,8614	7,32

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AM – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 70,3232\ln(D_d) + 472,8351P_{d,4^\circ}A$	0,8614	7,32
20	$V_{\text{máximo}} = 70,3238\ln(D_d) + 307,0317P_{d,ch}A$	0,8614	7,32
21	$V_{\text{máximo}} = 70,3238\ln(D_d) + 3584,4045P_{d,se}A$	0,8614	7,32
22	$V_{\text{máximo}} = 70,3236\ln(D_d) + 1177,2619CV$	0,8614	7,32
23	$V_{\text{máximo}} = 448,4347CV\ln(D_d) + 184,6162$	0,8614	7,32
24	$V_{\text{máximo}} = 70,3238\ln(D_d) + 47,5206A_pA$	0,8614	7,32
25	$V_{\text{máximo}} = 630,1054D_d - 140,3729P_dA$	0,9301	5,20
26	$V_{\text{máximo}} = 630,1052D_d - 4,6574P_mA$	0,9301	5,20
27	$V_{\text{máximo}} = 630,1073D_d - 0,3881P_aA$	0,9301	5,20
28	$V_{\text{máximo}} = 630,1060D_d - 82,7561P_{d,1^\circ}A$	0,9301	5,20
29	$V_{\text{máximo}} = 630,1051D_d - 146,5702P_{d,2^\circ}A$	0,9301	5,20
30	$V_{\text{máximo}} = 630,1011D_d - 3404,7773P_{d,3^\circ}A$	0,9301	5,20
31	$V_{\text{máximo}} = 630,1058D_d - 109,7632P_{d,4^\circ}A$	0,9301	5,20
32	$V_{\text{máximo}} = 630,1061D_d - 71,2735P_{d,ch}A$	0,9301	5,20
33	$V_{\text{máximo}} = 630,1010D_d - 832,0602P_{d,se}A$	0,9301	5,20
34	$V_{\text{máximo}} = 630,1007D_d - 273,2818CV$	0,9301	5,20
35	$V_{\text{máximo}} = 630,1059D_d - 11,0313A_pA$	0,9301	5,20
36	$V_{\text{máximo}} = 7,6630P_dAe^{20,4075D_d}$	0,9973	1,02
37	$V_{\text{máximo}} = 0,2542P_mAe^{20,4077D_d}$	0,9973	1,02
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0212P_aAe^{20,4082D_d}$	0,9973	1,02
39	$V_{\text{máximo}} = 4,5177P_{d,1^\circ}Ae^{20,4076D_d}$	0,9973	1,02
40	$V_{\text{máximo}} = 8,0013P_{d,2^\circ}Ae^{20,4075D_d}$	0,9973	1,02
41	$V_{\text{máximo}} = 185,8724P_{d,3^\circ}Ae^{20,4075D_d}$	0,9973	1,02
42	$V_{\text{máximo}} = 5,9920P_{d,4^\circ}Ae^{20,4075D_d}$	0,9973	1,02
43	$V_{\text{máximo}} = 3,8908P_{d,ch}Ae^{20,4076D_d}$	0,9973	1,02
44	$V_{\text{máximo}} = 45,4234P_{d,se}Ae^{20,4075D_d}$	0,9973	1,02
45	$V_{\text{máximo}} = 14,9188CVe^{20,4075D_d}$	0,9973	1,02
46	$V_{\text{máximo}} = 20,4075A_pAe^{20,4075D_d}$	0,9973	1,02

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AN – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 87,0218 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,4724}$	0,9985	0,33
2	$V_{\text{máximo}} = 13085,7156 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,4720}$	0,9985	0,33
3	$V_{\text{máximo}} = 469388,4597 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,4604}$	0,9986	0,33
4	$V_{\text{máximo}} = 189,4785 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,4725}$	0,9985	0,33
5	$V_{\text{máximo}} = 81,6620 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,4725}$	0,9985	0,33
6	$V_{\text{máximo}} = 0,7954 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,4724}$	0,9985	0,33
7	$V_{\text{máximo}} = 125,0099 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,4725}$	0,9985	0,33
8	$V_{\text{máximo}} = 236,0762 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,4724}$	0,9985	0,33
9	$V_{\text{máximo}} = 6,3330 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,4725}$	0,9985	0,33
10	$V_{\text{máximo}} = 3184,0185 CVD_d^{1,4725}$	0,9985	0,33
11	$V_{\text{máximo}} = 499,3149 D_d^{1,4725}$	0,9985	0,33
12	$V_{\text{máximo}} = 3680,3574 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,4722}$	0,9985	0,33
13	$V_{\text{máximo}} = 31,3813 \ln(D_d) + 295,3470 P_d A$	0,9830	1,07
14	$V_{\text{máximo}} = 31,3818 \ln(D_d) + 9,7994 P_m A$	0,9830	1,07
15	$V_{\text{máximo}} = 31,3834 \ln(D_d) + 0,8166 P_a A$	0,9830	1,07
16	$V_{\text{máximo}} = 31,3817 \ln(D_d) + 174,1215 P_{d,1^\circ} A$	0,9830	1,07
17	$V_{\text{máximo}} = 31,3813 \ln(D_d) + 308,3862 P_{d,2^\circ} A$	0,9830	1,07
18	$V_{\text{máximo}} = 31,3817 \ln(D_d) + 7163,8889 P_{d,3^\circ} A$	0,9830	1,07

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AN – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 31,3815\ln(D_d) + 230,9447P_{d,4^\circ}A$	0,9830	1,07
20	$V_{\text{máximo}} = 31,3817\ln(D_d) + 149,9615P_{d,ch}A$	0,9830	1,07
21	$V_{\text{máximo}} = 31,3817\ln(D_d) + 1750,7085P_{d,se}A$	0,9830	1,07
22	$V_{\text{máximo}} = 31,3815\ln(D_d) + 575,0011CV$	0,9830	1,07
23	$V_{\text{máximo}} = 200,1128CV\ln(D_d) + 90,1713$	0,9830	1,07
24	$V_{\text{máximo}} = 31,3817\ln(D_d) + 23,2102A_pA$	0,9830	1,07
25	$V_{\text{máximo}} = 272,8922D_d - 33,6447P_dA$	0,9998	0,13
26	$V_{\text{máximo}} = 272,8917D_d - 1,1163P_mA$	0,9998	0,13
27	$V_{\text{máximo}} = 272,8881D_d - 0,0930P_aA$	0,9998	0,13
28	$V_{\text{máximo}} = 272,8924D_d - 19,8351P_{d,1^\circ}A$	0,9998	0,13
29	$V_{\text{máximo}} = 272,8922D_d - 35,1301P_{d,2^\circ}A$	0,9998	0,13
30	$V_{\text{máximo}} = 272,8915D_d - 816,0613P_{d,3^\circ}A$	0,9998	0,13
31	$V_{\text{máximo}} = 272,8924D_d - 26,3082P_{d,4^\circ}A$	0,9998	0,13
32	$V_{\text{máximo}} = 272,8924D_d - 17,0829P_{d,ch}A$	0,9998	0,13
33	$V_{\text{máximo}} = 272,8914D_d - 199,4296P_{d,se}A$	0,9998	0,13
34	$V_{\text{máximo}} = 272,8912D_d - 65,5005CV$	0,9998	0,13
35	$V_{\text{máximo}} = 272,8923D_d - 2,6440A_pA$	0,9998	0,13
36	$V_{\text{máximo}} = 17,1012P_dAe^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
37	$V_{\text{máximo}} = 0,5674P_mAe^{11,6887D_d}$	0,9825	1,10
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0473P_aAe^{11,6893D_d}$	0,9825	1,10
39	$V_{\text{máximo}} = 10,0819P_{d,1^\circ}Ae^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
40	$V_{\text{máximo}} = 17,8562P_{d,2^\circ}Ae^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
41	$V_{\text{máximo}} = 414,8010P_{d,3^\circ}Ae^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
42	$V_{\text{máximo}} = 13,3721P_{d,4^\circ}Ae^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
43	$V_{\text{máximo}} = 8,6830P_{d,ch}Ae^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
44	$V_{\text{máximo}} = 101,3689P_{d,se}Ae^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
45	$V_{\text{máximo}} = 33,2936CVe^{11,6886D_d}$	0,9825	1,10
46	$V_{\text{máximo}} = 1,3489A_pAe^{11,6887D_d}$	0,9825	1,10

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AO – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Norte de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 47,6032 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
2	$V_{\text{máximo}} = 4,9381 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
3	$V_{\text{máximo}} = 0,9484 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,6648}$	0,9606	1,84
4	$V_{\text{máximo}} = 33,4937 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
5	$V_{\text{máximo}} = 48,9912 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
6	$V_{\text{máximo}} = 397,2254 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,6654}$	0,9605	1,84
7	$V_{\text{máximo}} = 40,4171 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
8	$V_{\text{máximo}} = 30,3250 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
9	$V_{\text{máximo}} = 155,5334 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
10	$V_{\text{máximo}} = 137,8548 CVD_d^{-0,6653}$	0,9605	1,84
11	$V_{\text{máximo}} = 21,6183 D_d^{-0,6653}$	0,9605	1,84
12	$V_{\text{máximo}} = 8,7631 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,6653}$	0,9605	1,84
13	$V_{\text{máximo}} = -30,9765 \ln(D_d) + 38,7813 P_d A$	0,9319	2,41
14	$V_{\text{máximo}} = -30,9765 \ln(D_d) + 1,2867 P_m A$	0,9319	2,41
15	$V_{\text{máximo}} = -30,9758 \ln(D_d) + 0,1072 P_a A$	0,9319	2,41
16	$V_{\text{máximo}} = -30,9765 \ln(D_d) + 22,8631 P_{d,1^\circ} A$	0,9319	2,41
17	$V_{\text{máximo}} = -30,9764 \ln(D_d) + 40,4936 P_{d,2^\circ} A$	0,9319	2,41
18	$V_{\text{máximo}} = -30,9766 \ln(D_d) + 940,6554 P_{d,3^\circ} A$	0,9319	2,41

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AO – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Norte de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -30,9765\ln(D_d) + 30,3244P_{d,4^\circ}A$	0,9319	2,41
20	$V_{\text{máximo}} = -30,9765\ln(D_d) + 19,6909P_{d,ch}A$	0,9319	2,41
21	$V_{\text{máximo}} = -30,9765\ln(D_d) + 229,8772P_{d,se}A$	0,9319	2,41
22	$V_{\text{máximo}} = -30,9766\ln(D_d) + 75,5009CV$	0,9319	2,41
23	$V_{\text{máximo}} = -197,5292CV\ln(D_d) + 11,8402$	0,9319	2,41
24	$V_{\text{máximo}} = -30,9765\ln(D_d) + 3,0476A_pA$	0,9319	2,41
25	$V_{\text{máximo}} = -93,0920D_d + 256,8103P_dA$	0,8671	3,37
26	$V_{\text{máximo}} = -93,0918D_d + 8,5207P_mA$	0,8671	3,37
27	$V_{\text{máximo}} = -93,0936D_d + 0,7101P_aA$	0,8671	3,37
28	$V_{\text{máximo}} = -93,0919D_d + 151,4008P_{d,1^\circ}A$	0,8671	3,37
29	$V_{\text{máximo}} = -93,0920D_d + 268,1483P_{d,2^\circ}A$	0,8671	3,37
30	$V_{\text{máximo}} = -93,0919D_d + 6229,0992P_{d,3^\circ}A$	0,8671	3,37
31	$V_{\text{máximo}} = -93,0917D_d + 200,8096P_{d,4^\circ}A$	0,8671	3,37
32	$V_{\text{máximo}} = -93,0918D_d + 130,3934P_{d,ch}A$	0,8671	3,37
33	$V_{\text{máximo}} = -93,0919D_d + 1522,2648P_{d,se}A$	0,8671	3,37
34	$V_{\text{máximo}} = -93,0919D_d + 499,9731CV$	0,8671	3,37
35	$V_{\text{máximo}} = -93,0917D_d + 20,1815A_pA$	0,8671	3,37
36	$V_{\text{máximo}} = 306,1127P_dAe^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
37	$V_{\text{máximo}} = 10,1565P_mAe^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
38	$V_{\text{máximo}} = 0,8464P_aAe^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
39	$V_{\text{máximo}} = 180,4669P_{d,1^\circ}Ae^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
40	$V_{\text{máximo}} = 319,6274P_{d,2^\circ}Ae^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
41	$V_{\text{máximo}} = 7424,9600P_{d,3^\circ}Ae^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
42	$V_{\text{máximo}} = 239,3615P_{d,4^\circ}Ae^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
43	$V_{\text{máximo}} = 155,4265P_{d,ch}Ae^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
44	$V_{\text{máximo}} = 1814,5088P_{d,se}Ae^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
45	$V_{\text{máximo}} = 595,9582CVe^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75
46	$V_{\text{máximo}} = 24,0560A_pAe^{-2,1158D_d}$	0,9124	2,75

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AP – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 59,2722 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
2	$V_{\text{máximo}} = 23,1667 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,2758}$	0,7741	2,52
3	$V_{\text{máximo}} = 11,6795 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
4	$V_{\text{máximo}} = 51,2356 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
5	$V_{\text{máximo}} = 59,9832 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
6	$V_{\text{máximo}} = 142,8119 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,2758}$	0,7741	2,52
7	$V_{\text{máximo}} = 55,3853 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
8	$V_{\text{máximo}} = 49,1681 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
9	$V_{\text{máximo}} = 96,8203 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
10	$V_{\text{máximo}} = 272,4968 CVD_d^{-0,2757}$	0,7741	2,52
11	$V_{\text{máximo}} = 42,7327 D_d^{-0,2758}$	0,7741	2,52
12	$V_{\text{máximo}} = 29,3934 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,2757}$	0,7741	2,52
13	$V_{\text{máximo}} = -16,0391 \ln(D_d) + 132,5256 P_d A$	0,7605	2,59
14	$V_{\text{máximo}} = -16,0390 \ln(D_d) + 4,3971 P_m A$	0,7605	2,59
15	$V_{\text{máximo}} = -16,0382 \ln(D_d) + 0,3664 P_a A$	0,7605	2,59
16	$V_{\text{máximo}} = -16,0390 \ln(D_d) + 78,1300 P_{d,1^\circ} A$	0,7605	2,59
17	$V_{\text{máximo}} = -16,0391 \ln(D_d) + 138,3765 P_{d,2^\circ} A$	0,7605	2,59
18	$V_{\text{máximo}} = -16,0391 \ln(D_d) + 3214,4972 P_{d,3^\circ} A$	0,7605	2,59

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AP – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Jequitinhonha (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -16,0391\ln(D_d) + 103,6272P_{d,4^\circ}A$	0,7605	2,59
20	$V_{\text{máximo}} = -16,0390\ln(D_d) + 67,2891P_{d,ch}A$	0,7605	2,59
21	$V_{\text{máximo}} = -16,0390\ln(D_d) + 785,5600P_{d,se}A$	0,7605	2,59
22	$V_{\text{máximo}} = -16,0390\ln(D_d) + 258,0097CV$	0,7605	2,59
23	$V_{\text{máximo}} = -102,2770CV\ln(D_d) + 40,4609$	0,7605	2,59
24	$V_{\text{máximo}} = -16,0390\ln(D_d) + 10,4146A_pA$	0,7605	2,59
25	$V_{\text{máximo}} = -47,9627D_d + 245,1829P_dA$	0,7006	2,90
26	$V_{\text{máximo}} = -47,9627D_d + 8,1349P_mA$	0,7006	2,90
27	$V_{\text{máximo}} = -47,9644D_d + 0,6779P_aA$	0,7006	2,90
28	$V_{\text{máximo}} = -47,9627D_d + 144,5461P_{d,1^\circ}A$	0,7006	2,90
29	$V_{\text{máximo}} = -47,9627D_d + 256,0076P_{d,2^\circ}A$	0,7006	2,90
30	$V_{\text{máximo}} = -47,9622D_d + 5947,0517P_{d,3^\circ}A$	0,7006	2,90
31	$V_{\text{máximo}} = -47,9627D_d + 191,7181P_{d,4^\circ}A$	0,7006	2,90
32	$V_{\text{máximo}} = -47,9627D_d + 124,4898P_{d,ch}A$	0,7006	2,90
33	$V_{\text{máximo}} = -47,9626D_d + 1453,3424P_{d,se}A$	0,7006	2,90
34	$V_{\text{máximo}} = -47,9622D_d + 477,3351CV$	0,7006	2,90
35	$V_{\text{máximo}} = -47,9627D_d + 19,2678A_pA$	0,7006	2,90
36	$V_{\text{máximo}} = 254,1288P_dAe^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
37	$V_{\text{máximo}} = 8,4317P_mAe^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
38	$V_{\text{máximo}} = 0,7026P_aAe^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
39	$V_{\text{máximo}} = 149,8201P_{d,1^\circ}Ae^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
40	$V_{\text{máximo}} = 265,3484P_{d,2^\circ}Ae^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
41	$V_{\text{máximo}} = 6164,0564P_{d,3^\circ}Ae^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
42	$V_{\text{máximo}} = 198,7132P_{d,4^\circ}Ae^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
43	$V_{\text{máximo}} = 129,0320P_{d,ch}Ae^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
44	$V_{\text{máximo}} = 1506,3697P_{d,se}Ae^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
45	$V_{\text{máximo}} = 494,7528CVe^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82
46	$V_{\text{máximo}} = 19,9708A_pAe^{-0,8411D_d}$	0,7176	2,82

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AQ – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{ótimo}} = 64,7405 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,2456}$	0,9834	0,59
2	$V_{\text{máximo}} = 28,0361 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
3	$V_{\text{máximo}} = 15,2301 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,2456}$	0,9834	0,59
4	$V_{\text{máximo}} = 56,8573 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
5	$V_{\text{máximo}} = 65,4294 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
6	$V_{\text{máximo}} = 141,7113 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
7	$V_{\text{máximo}} = 60,9422 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
8	$V_{\text{máximo}} = 54,8088 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
9	$V_{\text{máximo}} = 100,2362 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
10	$V_{\text{máximo}} = 308,4413 CVD_d^{-0,2457}$	0,9834	0,59
11	$V_{\text{máximo}} = 48,3695 D_d^{-0,2457}$	0,9834	0,59
12	$V_{\text{máximo}} = 34,6506 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,2457}$	0,9834	0,59
13	$V_{\text{máximo}} = -15,7485 \ln(D_d) + 151,4366 P_d A$	0,9749	0,73
14	$V_{\text{máximo}} = -15,7483 \ln(D_d) + 5,0245 P_m A$	0,9749	0,73
15	$V_{\text{máximo}} = -15,7476 \ln(D_d) + 0,4187 P_a A$	0,9749	0,73
16	$V_{\text{máximo}} = -15,7483 \ln(D_d) + 89,2790 P_{d,1^\circ} A$	0,9749	0,73
17	$V_{\text{máximo}} = -15,7485 \ln(D_d) + 158,1224 P_{d,2^\circ} A$	0,9749	0,73
18	$V_{\text{máximo}} = -15,7484 \ln(D_d) + 3673,1971 P_{d,3^\circ} A$	0,9749	0,73

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AQ – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Rio Doce (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -15,7484\ln(D_d) + 118,4144P_{d,4^\circ}A$	0,9749	0,73
20	$V_{\text{máximo}} = -15,7483\ln(D_d) + 76,8912P_{d,ch}A$	0,9749	0,73
21	$V_{\text{máximo}} = -15,7483\ln(D_d) + 897,6576P_{d,se}A$	0,9749	0,73
22	$V_{\text{máximo}} = -15,7483\ln(D_d) + 294,8271CV$	0,9749	0,73
23	$V_{\text{máximo}} = -100,4234CV\ln(D_d) + 46,2345$	0,9749	0,73
24	$V_{\text{máximo}} = -15,7483\ln(D_d) + 11,9008A_pA$	0,9749	0,73
25	$V_{\text{máximo}} = -47,6805D_d + 262,6294P_dA$	0,9207	1,30
26	$V_{\text{máximo}} = -47,6806D_d + 8,7138P_mA$	0,9207	1,30
27	$V_{\text{máximo}} = -47,6823D_d + 0,7262P_aA$	0,9207	1,30
28	$V_{\text{máximo}} = -47,6805D_d + 154,8315P_{d,1^\circ}A$	0,9207	1,30
29	$V_{\text{máximo}} = -47,6805D_d + 274,2243P_{d,2^\circ}A$	0,9207	1,30
30	$V_{\text{máximo}} = -47,6788D_d + 6370,2030P_{d,3^\circ}A$	0,9207	1,30
31	$V_{\text{máximo}} = -47,6805D_d + 205,3601P_{d,4^\circ}A$	0,9207	1,30
32	$V_{\text{máximo}} = -47,6806D_d + 133,3481P_{d,ch}A$	0,9207	1,30
33	$V_{\text{máximo}} = -47,6805D_d + 1556,7575P_{d,se}A$	0,9207	1,30
34	$V_{\text{máximo}} = -47,6802D_d + 511,3011CV$	0,9207	1,30
35	$V_{\text{máximo}} = -47,6805D_d + 20,6388A_pA$	0,9207	1,30
36	$V_{\text{máximo}} = 270,3423P_dAe^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
37	$V_{\text{máximo}} = 8,9697P_mAe^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
38	$V_{\text{máximo}} = 0,7475P_aAe^{-0,7596D_d}$	0,9368	1,16
39	$V_{\text{máximo}} = 159,3786P_{d,1^\circ}Ae^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
40	$V_{\text{máximo}} = 282,2777P_{d,2^\circ}Ae^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
41	$V_{\text{máximo}} = 6557,3255P_{d,3^\circ}Ae^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
42	$V_{\text{máximo}} = 211,3912P_{d,4^\circ}Ae^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
43	$V_{\text{máximo}} = 137,2643P_{d,ch}Ae^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
44	$V_{\text{máximo}} = 1602,4766P_{d,se}Ae^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
45	$V_{\text{máximo}} = 526,3182CVe^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16
46	$V_{\text{máximo}} = 21,2450A_pAe^{-0,7597D_d}$	0,9368	1,16

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AR – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 47,1954 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
2	$V_{\text{máximo}} = 9,0883 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
3	$V_{\text{máximo}} = 2,7266 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,4840}$	0,7768	3,45
4	$V_{\text{máximo}} = 36,5514 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ A}} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
5	$V_{\text{máximo}} = 48,1919 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ A}} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
6	$V_{\text{máximo}} = 220,6795 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ A}} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
7	$V_{\text{máximo}} = 41,9016 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ A}} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
8	$V_{\text{máximo}} = 34,0036 \left(\frac{D_d}{P_{d, \text{ch} A}} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
9	$V_{\text{máximo}} = 111,6132 \left(\frac{D_d}{P_{d, \text{se} A}} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
10	$V_{\text{máximo}} = 169,5441 CVD_d^{-0,4837}$	0,7768	3,45
11	$V_{\text{máximo}} = 26,5878 D_d^{-0,4837}$	0,7768	3,45
12	$V_{\text{máximo}} = 13,7896 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,4837}$	0,7768	3,45
13	$V_{\text{máximo}} = -21,7643 \ln(D_d) + 71,8685 P_d A$	0,7392	3,73
14	$V_{\text{máximo}} = -21,7642 \ln(D_d) + 2,3845 P_m A$	0,7392	3,73
15	$V_{\text{máximo}} = -21,7635 \ln(D_d) + 0,1987 P_a A$	0,7392	3,73
16	$V_{\text{máximo}} = -21,7643 \ln(D_d) + 42,3697 P_{d,1^\circ A}$	0,7392	3,73
17	$V_{\text{máximo}} = -21,7643 \ln(D_d) + 75,0415 P_{d,2^\circ A}$	0,7392	3,73
18	$V_{\text{máximo}} = -21,7643 \ln(D_d) + 1743,2178 P_{d,3^\circ A}$	0,7392	3,73

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AR – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Vale do Mucuri (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -21,7643\ln(D_d) + 56,1968P_{d,4^\circ}A$	0,7392	3,73
20	$V_{\text{máximo}} = -21,7643\ln(D_d) + 36,4908P_{d,ch}A$	0,7392	3,73
21	$V_{\text{máximo}} = -21,7643\ln(D_d) + 426,0070P_{d,se}A$	0,7392	3,73
22	$V_{\text{máximo}} = -21,7643\ln(D_d) + 139,9179CV$	0,7392	3,73
23	$V_{\text{máximo}} = -138,7856CV\ln(D_d) + 21,9419$	0,7392	3,73
24	$V_{\text{máximo}} = -21,7643\ln(D_d) + 5,6478A_pA$	0,7392	3,73

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AS – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 79,4918 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,3921}$	0,9854	1,38
2	$V_{\text{máximo}} = 9092,8120 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,3917}$	0,9854	1,38
3	$V_{\text{máximo}} = 267895,3280 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,3804}$	0,9854	1,38
4	$V_{\text{máximo}} = 165,8780 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,3921}$	0,9850	1,38
5	$V_{\text{máximo}} = 74,8515 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,3921}$	0,9854	1,38
6	$V_{\text{máximo}} = 0,9389 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,3920}$	0,9854	1,38
7	$V_{\text{máximo}} = 111,9538 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,3921}$	0,9854	1,38
8	$V_{\text{máximo}} = 204,2205 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,3921}$	0,9854	1,38
9	$V_{\text{máximo}} = 6,6740 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,3921}$	0,9854	1,38
10	$V_{\text{máximo}} = 2643,4330 CVD_d^{1,3920}$	0,9854	1,38
11	$V_{\text{máximo}} = 414,6025 D_d^{1,3921}$	0,9854	1,38
12	$V_{\text{máximo}} = 2740,2248 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,3919}$	0,9854	1,38
13	$V_{\text{máximo}} = 33,7496 \ln(D_d) + 313,4181 P_d A$	0,8932	3,62
14	$V_{\text{máximo}} = 33,7498 \ln(D_d) + 10,3989 P_m A$	0,8932	3,62
15	$V_{\text{máximo}} = 35,7509 \ln(D_d) + 0,8666 P_a A$	0,8932	3,62
16	$V_{\text{máximo}} = 33,7498 \ln(D_d) + 184,7744 P_{d,1^\circ} A$	0,8932	3,62
17	$V_{\text{máximo}} = 33,7495 \ln(D_d) + 327,2551 P_{d,2^\circ} A$	0,8932	3,62
18	$V_{\text{máximo}} = 33,7498 \ln(D_d) + 7602,1814 P_{d,3^\circ} A$	0,8932	3,62

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AS – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 33,7497\ln(D_d) + 245,0746P_{d,4^\circ}A$	0,8932	3,62
20	$V_{\text{máximo}} = 33,7498\ln(D_d) + 159,1363P_{d,ch}A$	0,8932	3,62
21	$V_{\text{máximo}} = 33,7497\ln(D_d) + 1857,8179P_{d,se}A$	0,8932	3,62
22	$V_{\text{máximo}} = 33,7496\ln(D_d) + 610,1804CV$	0,8932	3,62
23	$V_{\text{máximo}} = 215,2144CV\ln(D_d) - 95,6883$	0,8932	3,62
24	$V_{\text{máximo}} = 33,7498\ln(D_d) + 24,6302A_pA$	0,8932	3,62
25	$V_{\text{máximo}} = 260,7860D_d - 28,9990P_dA$	0,9690	1,95
26	$V_{\text{máximo}} = 260,7860D_d - 0,9622P_mA$	0,9690	1,95
27	$V_{\text{máximo}} = 260,7828D_d - 0,0802P_aA$	0,9690	1,95
28	$V_{\text{máximo}} = 260,7862D_d - 17,0962P_{d,1^\circ}A$	0,9690	1,95
29	$V_{\text{máximo}} = 260,7859D_d - 30,2793P_{d,2^\circ}A$	0,9690	1,95
30	$V_{\text{máximo}} = 260,7860D_d - 703,3850P_{d,3^\circ}A$	0,9690	1,95
31	$V_{\text{máximo}} = 260,7861D_d - 22,6755P_{d,4^\circ}A$	0,9690	1,95
32	$V_{\text{máximo}} = 260,7862D_d - 14,7241P_{d,ch}A$	0,9690	1,95
33	$V_{\text{máximo}} = 260,7856D_d - 171,8926P_{d,se}A$	0,9690	1,95
34	$V_{\text{máximo}} = 260,7857D_d - 56,4565CV$	0,9690	1,95
35	$V_{\text{máximo}} = 260,7862D_d - 2,2789A_pA$	0,9690	1,95
36	$V_{\text{máximo}} = 23,5229P_dAe^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
37	$V_{\text{máximo}} = 0,7805P_mAe^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0650P_aAe^{9,1224D_d}$	0,9987	0,40
39	$V_{\text{máximo}} = 13,8678P_{d,1^\circ}Ae^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
40	$V_{\text{máximo}} = 24,5614P_{d,2^\circ}Ae^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
41	$V_{\text{máximo}} = 570,5629P_{d,3^\circ}Ae^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
42	$V_{\text{máximo}} = 18,3935P_{d,4^\circ}Ae^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
43	$V_{\text{máximo}} = 11,9436P_{d,ch}Ae^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
44	$V_{\text{máximo}} = 139,4339P_{d,se}Ae^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
45	$V_{\text{máximo}} = 45,7957CVe^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40
46	$V_{\text{máximo}} = 1,8486A_pAe^{9,1215D_d}$	0,9987	0,40

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AT – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 102,3707 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
2	$V_{\text{máximo}} = 31371,8213 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
3	$V_{\text{máximo}} = 2012225,2367 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,6785}$	0,9827	2,17
4	$V_{\text{máximo}} = 248,8345 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
5	$V_{\text{máximo}} = 95,2001 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
6	$V_{\text{máximo}} = 0,4813 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
7	$V_{\text{máximo}} = 154,7912 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
8	$V_{\text{máximo}} = 319,8514 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
9	$V_{\text{máximo}} = 5,1406 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,6809}$	0,9826	2,17
10	$V_{\text{máximo}} = 4795,6101 CVD_d^{1,6808}$	0,9826	2,17
11	$V_{\text{máximo}} = 752,0434 D_d^{1,6808}$	0,9826	2,17
12	$V_{\text{máximo}} = 7363,1916 \left(\frac{D_d}{A_P A} \right)^{1,6810}$	0,9826	2,17
13	$V_{\text{máximo}} = 45,3377 \ln(D_d) + 397,6197 P_d A$	0,8667	5,83
14	$V_{\text{máximo}} = 45,3380 \ln(D_d) + 13,1926 P_m A$	0,8667	5,83
15	$V_{\text{máximo}} = 45,3389 \ln(D_d) + 1,0994 P_a A$	0,8667	5,83
16	$V_{\text{máximo}} = 45,3379 \ln(D_d) + 234,4147 P_{d,1^\circ} A$	0,8667	5,83
17	$V_{\text{máximo}} = 45,3377 \ln(D_d) + 415,1740 P_{d,2^\circ} A$	0,8667	5,83
18	$V_{\text{máximo}} = 45,3379 \ln(D_d) + 9644,5367 P_{d,3^\circ} A$	0,8667	5,83

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AT – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 45,3379\ln(D_d) + 310,9149P_{d,4^\circ}A$	0,8667	5,83
20	$V_{\text{máximo}} = 45,3379\ln(D_d) + 201,8889P_{d,ch}A$	0,8667	5,83
21	$V_{\text{máximo}} = 45,3379\ln(D_d) + 2356,9286P_{d,se}A$	0,8667	5,83
22	$V_{\text{máximo}} = 45,3377\ln(D_d) + 774,1081CV$	0,8667	5,83
23	$V_{\text{máximo}} = 289,1093CV\ln(D_d) + 121,3954$	0,8667	5,83
24	$V_{\text{máximo}} = 45,3379\ln(D_d) + 31,2472A_pA$	0,8667	5,83
25	$V_{\text{máximo}} = 336,6774D_d - 57,4645P_dA$	0,9524	3,48
26	$V_{\text{máximo}} = 336,6778D_d - 1,9066P_mA$	0,9524	3,48
27	$V_{\text{máximo}} = 336,6750D_d - 0,1589P_aA$	0,9524	3,48
28	$V_{\text{máximo}} = 336,6776D_d - 33,8779P_{d,1^\circ}A$	0,9524	3,48
29	$V_{\text{máximo}} = 336,6774D_d - 60,0015P_{d,2^\circ}A$	0,9524	3,48
30	$V_{\text{máximo}} = 336,6774D_d - 1393,8327P_{d,3^\circ}A$	0,9524	3,48
31	$V_{\text{máximo}} = 336,6775D_d - 44,9338P_{d,4^\circ}A$	0,9524	3,48
32	$V_{\text{máximo}} = 336,6777D_d - 29,1773P_{d,ch}A$	0,9524	3,48
33	$V_{\text{máximo}} = 336,6771D_d - 340,6243P_{d,se}A$	0,9524	3,48
34	$V_{\text{máximo}} = 336,6772D_d - 111,8747CV$	0,9524	3,48
35	$V_{\text{máximo}} = 336,6778D_d - 4,5159A_pA$	0,9524	3,48
36	$V_{\text{máximo}} = 20,5678P_dAe^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
37	$V_{\text{máximo}} = 0,6824P_mAe^{10,3048D_d}$	0,9966	0,93
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0569P_aAe^{10,3057D_d}$	0,9966	0,93
39	$V_{\text{máximo}} = 12,1256P_{d,1^\circ}Ae^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
40	$V_{\text{máximo}} = 21,4758P_{d,2^\circ}Ae^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
41	$V_{\text{máximo}} = 498,8844P_{d,3^\circ}Ae^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
42	$V_{\text{máximo}} = 16,0827P_{d,4^\circ}Ae^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
43	$V_{\text{máximo}} = 10,4431P_{d,ch}Ae^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
44	$V_{\text{máximo}} = 121,9172P_{d,se}Ae^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
45	$V_{\text{máximo}} = 40,0425CVe^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93
46	$V_{\text{máximo}} = 1,6163A_pAe^{10,3047D_d}$	0,9966	0,93

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AU – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 102,3211 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,8643}$	0,9595	4,18
2	$V_{\text{máximo}} = 58431,7965 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,8638}$	0,9595	4,18
3	$V_{\text{máximo}} = 5976037,4144 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,8632}$	0,9596	4,18
4	$V_{\text{máximo}} = 274,0263 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,8643}$	0,9595	4,18
5	$V_{\text{máximo}} = 94,4038 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,8643}$	0,9595	4,18
6	$V_{\text{máximo}} = 0,2681 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,8642}$	0,9595	4,18
7	$V_{\text{máximo}} = 161,8548 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,8643}$	0,9595	4,18
8	$V_{\text{máximo}} = 362,0243 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,8643}$	0,9595	4,18
9	$V_{\text{máximo}} = 3,7078 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,8643}$	0,9595	4,18
10	$V_{\text{máximo}} = 5958,7722 CVD_d^{1,8643}$	0,9595	4,18
11	$V_{\text{máximo}} = 934,4495 D_d^{1,8643}$	0,9595	4,18
12	$V_{\text{máximo}} = 11718,0727 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,8639}$	0,9595	4,18
13	$V_{\text{máximo}} = 43,6526 \ln(D_d) + 376,0015 P_d A$	0,8244	6,60
14	$V_{\text{máximo}} = 43,6527 \ln(D_d) + 12,4754 P_m A$	0,8244	6,60
15	$V_{\text{máximo}} = 43,6536 \ln(D_d) + 1,0396 P_a A$	0,8244	6,60
16	$V_{\text{máximo}} = 43,6527 \ln(D_d) + 221,6695 P_{d,1^\circ} A$	0,8244	6,60
17	$V_{\text{máximo}} = 43,6526 \ln(D_d) + 392,6015 P_{d,2^\circ} A$	0,8244	6,60
18	$V_{\text{máximo}} = 43,6527 \ln(D_d) + 9120,1578 P_{d,3^\circ} A$	0,8244	6,60

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AU – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 43,6527\ln(D_d) + 294,0104P_{d,4^\circ}A$	0,8244	6,60
20	$V_{\text{máximo}} = 43,6527\ln(D_d) + 190,9120P_{d,ch}A$	0,8244	6,60
21	$V_{\text{máximo}} = 43,6526\ln(D_d) + 2228,7795P_{d,se}A$	0,8244	6,60
22	$V_{\text{máximo}} = 43,6525\ln(D_d) + 732,0190CV$	0,8244	6,60
23	$V_{\text{máximo}} = 278,3633CV\ln(D_d) + 114,7951$	0,8244	6,60
24	$V_{\text{máximo}} = 43,6527\ln(D_d) + 29,5483A_pA$	0,8244	6,60
25	$V_{\text{máximo}} = 326,0597D_d - 63,1228P_dA$	0,9166	4,55
26	$V_{\text{máximo}} = 326,0599D_d - 2,0944P_mA$	0,9166	4,55
27	$V_{\text{máximo}} = 326,0572D_d - 0,1745P_aA$	0,9166	4,55
28	$V_{\text{máximo}} = 326,0599D_d - 37,2137P_{d,1^\circ}A$	0,9166	4,55
29	$V_{\text{máximo}} = 326,0597D_d - 65,9096P_{d,2^\circ}A$	0,9166	4,55
30	$V_{\text{máximo}} = 326,0597D_d - 1531,0808P_{d,3^\circ}A$	0,9166	4,55
31	$V_{\text{máximo}} = 326,0598D_d - 49,3582P_{d,4^\circ}A$	0,9166	4,55
32	$V_{\text{máximo}} = 326,0599D_d - 32,0502P_{d,ch}A$	0,9166	4,55
33	$V_{\text{máximo}} = 326,0599D_d - 374,1669P_{d,se}A$	0,9166	4,55
34	$V_{\text{máximo}} = 326,0596D_d - 122,8909CV$	0,9166	4,55
35	$V_{\text{máximo}} = 326,0599D_d - 4,9606A_pA$	0,9166	4,55
36	$V_{\text{máximo}} = 15,4411P_dAe^{11,3365D_d}$	0,9793	2,27
37	$V_{\text{máximo}} = 0,5123P_mAe^{11,3366D_d}$	0,9793	2,27
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0427P_aAe^{11,3375D_d}$	0,9793	2,27
39	$V_{\text{máximo}} = 9,1032P_{d,1^\circ}Ae^{11,3365D_d}$	0,9793	2,27
40	$V_{\text{máximo}} = 16,1228P_{d,2^\circ}Ae^{11,3365D_d}$	0,9793	2,27
41	$V_{\text{máximo}} = 374,5348P_{d,3^\circ}Ae^{11,3364D_d}$	0,9793	2,27
42	$V_{\text{máximo}} = 12,0740P_{d,4^\circ}Ae^{11,3365D_d}$	0,9793	2,27
43	$V_{\text{máximo}} = 7,8401P_{d,ch}Ae^{11,3365D_d}$	0,9793	2,27
44	$V_{\text{máximo}} = 91,5287P_{d,se}Ae^{11,3364D_d}$	0,9793	2,27
45	$V_{\text{máximo}} = 30,0617CVe^{11,3365D_d}$	0,9793	2,27
46	$V_{\text{máximo}} = 1,2134A_pAe^{11,3365D_d}$	0,9793	2,27

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AV – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 77,8074 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
2	$V_{\text{máximo}} = 5919,2949 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
3	$V_{\text{máximo}} = 139313,8016 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,2716}$	0,9981	0,33
4	$V_{\text{máximo}} = 152,3671 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
5	$V_{\text{máximo}} = 73,6485 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
6	$V_{\text{máximo}} = 1,3483 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
7	$V_{\text{máximo}} = 106,3848 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
8	$V_{\text{máximo}} = 184,2375 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
9	$V_{\text{máximo}} = 8,0919 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,2718}$	0,9981	0,33
10	$V_{\text{máximo}} = 2243,7214 CVD_d^{1,2718}$	0,9981	0,33
11	$V_{\text{máximo}} = 351,8580 D_d^{1,2718}$	0,9981	0,33
12	$V_{\text{máximo}} = 1972,8675 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,2712}$	0,9981	0,33
13	$V_{\text{máximo}} = 28,5069 \ln(D_d) + 280,1843 P_d A$	0,9653	1,40
14	$V_{\text{máximo}} = 28,5074 \ln(D_d) + 9,2963 P_m A$	0,9653	1,40
15	$V_{\text{máximo}} = 28,5090 \ln(D_d) + 0,7747 P_a A$	0,9653	1,40
16	$V_{\text{máximo}} = 28,5073 \ln(D_d) + 165,1824 P_{d,1^\circ} A$	0,9653	1,40
17	$V_{\text{máximo}} = 28,5069 \ln(D_d) + 292,5544 P_{d,2^\circ} A$	0,9653	1,40
18	$V_{\text{máximo}} = 28,5073 \ln(D_d) + 6796,1128 P_{d,3^\circ} A$	0,9653	1,40

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AV – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 28,5070\ln(D_d) + 219,0876P_{d,4^\circ}A$	0,9653	1,40
20	$V_{\text{máximo}} = 28,5073\ln(D_d) + 142,2629P_{d,ch}A$	0,9653	1,40
21	$V_{\text{máximo}} = 28,5073\ln(D_d) + 1660,8313P_{d,se}A$	0,9653	1,40
22	$V_{\text{máximo}} = 28,5072\ln(D_d) + 545,4824CV$	0,9653	1,40
23	$V_{\text{máximo}} = 181,7820CV\ln(D_d) + 85,5416$	0,9653	1,40
24	$V_{\text{máximo}} = 28,5073\ln(D_d) + 22,0187A_pA$	0,9653	1,40
25	$V_{\text{máximo}} = 249,5504D_d - 19,3697P_dA$	0,9948	0,54
26	$V_{\text{máximo}} = 249,5497D_d - 0,6427P_mA$	0,9948	0,54
27	$V_{\text{máximo}} = 249,5493D_d - 0,0536P_aA$	0,9948	0,54
28	$V_{\text{máximo}} = 249,5504D_d - 11,4193P_{d,1^\circ}A$	0,9948	0,54
29	$V_{\text{máximo}} = 249,5504D_d - 20,2249P_{d,2^\circ}A$	0,9948	0,54
30	$V_{\text{máximo}} = 249,5510D_d - 469,8238P_{d,3^\circ}A$	0,9948	0,54
31	$V_{\text{máximo}} = 249,5504D_d - 15,1459P_{d,4^\circ}A$	0,9948	0,54
32	$V_{\text{máximo}} = 249,5505D_d - 9,8348P_{d,ch}A$	0,9948	0,54
33	$V_{\text{máximo}} = 249,5499D_d - 114,8135P_{d,se}A$	0,9948	0,54
34	$V_{\text{máximo}} = 249,5501D_d - 37,7096CV$	0,9948	0,54
35	$V_{\text{máximo}} = 249,5502D_d - 1,5222A_pA$	0,9948	0,54
36	$V_{\text{máximo}} = 21,9953P_dAe^{10,2361D_d}$	0,9955	0,51
37	$V_{\text{máximo}} = 0,7296P_mAe^{10,2380D_d}$	0,9955	0,51
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0608P_aAe^{10,2380D_d}$	0,9955	0,51
39	$V_{\text{máximo}} = 12,9636P_{d,1^\circ}Ae^{10,2380D_d}$	0,9955	0,51
40	$V_{\text{máximo}} = 22,9664P_{d,2^\circ}Ae^{10,2361D_d}$	0,9955	0,51
41	$V_{\text{máximo}} = 533,5109P_{d,3^\circ}Ae^{10,2361D_d}$	0,9955	0,51
42	$V_{\text{máximo}} = 17,1990P_{d,4^\circ}Ae^{10,2361D_d}$	0,9955	0,51
43	$V_{\text{máximo}} = 11,1649P_{d,ch}Ae^{10,2380D_d}$	0,9955	0,51
44	$V_{\text{máximo}} = 130,3792P_{d,se}Ae^{10,2361D_d}$	0,9955	0,51
45	$V_{\text{máximo}} = 42,8218CVe^{10,2361D_d}$	0,9955	0,51
46	$V_{\text{máximo}} = 1,7280A_pAe^{10,2380D_d}$	0,9955	0,51

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AW – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 43,6365 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,3282}$	0,9843	1,76
2	$V_{\text{máximo}} = 0,4731 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,3284}$	0,9843	1,76
3	$V_{\text{máximo}} = 0,0188 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,3160}$	0,9842	1,76
4	$V_{\text{máximo}} = 21,6294 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,3282}$	0,9843	1,76
5	$V_{\text{máximo}} = 46,2137 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,3282}$	0,9843	1,76
6	$V_{\text{máximo}} = 3015,8724 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,3284}$	0,9843	1,76
7	$V_{\text{máximo}} = 31,4744 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,3282}$	0,9843	1,76
8	$V_{\text{máximo}} = 17,7368 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{-1,3282}$	0,9843	1,76
9	$V_{\text{máximo}} = 463,8780 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{-1,3282}$	0,9843	1,76
10	$V_{\text{máximo}} = 57,5516 \text{CVD}_d^{-1,3282}$	0,9843	1,76
11	$V_{\text{máximo}} = 9,0252 D_d^{-1,3282}$	0,9843	1,76
12	$V_{\text{máximo}} = 1,4874 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,3284}$	0,9843	1,76
13	$V_{\text{máximo}} = -52,7683 \ln(D_d) - 54,6750 P_d A$	0,9473	3,21
14	$V_{\text{máximo}} = -52,7683 \ln(D_d) - 1,8141 P_m A$	0,9473	3,21
15	$V_{\text{máximo}} = -52,7675 \ln(D_d) - 0,1512 P_a A$	0,9473	3,21
16	$V_{\text{máximo}} = -52,7681 \ln(D_d) - 32,2328 P_{d,1^\circ} A$	0,9473	3,21
17	$V_{\text{máximo}} = -52,7683 \ln(D_d) - 57,0889 P_{d,2^\circ} A$	0,9473	3,21
18	$V_{\text{máximo}} = -52,7683 \ln(D_d) - 1326,1807 P_{d,3^\circ} A$	0,9473	3,21

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AW – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 225 L para a mesorregião Noroeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -52,7682\ln(D_d) - 42,7523P_{d,4^\circ}A$	0,9473	3,21
20	$V_{\text{máximo}} = -52,7680\ln(D_d) - 27,7602P_{d,ch}A$	0,9473	3,21
21	$V_{\text{máximo}} = -52,7684\ln(D_d) - 324,0919P_{d,se}A$	0,9473	3,21
22	$V_{\text{máximo}} = -52,7683\ln(D_d) - 106,4448CV$	0,9473	3,21
23	$V_{\text{máximo}} = -336,4919CV\ln(D_d) - 16,6926$	0,9473	3,21
24	$V_{\text{máximo}} = -52,7684\ln(D_d) - 4,2967A_pA$	0,9473	3,21
25	$V_{\text{máximo}} = -149,5809D_d + 304,6449P_dA$	0,8916	4,60
26	$V_{\text{máximo}} = -149,5804D_d + 10,1078P_mA$	0,8916	4,60
27	$V_{\text{máximo}} = -149,5829D_d + 0,8423P_aA$	0,8916	4,60
28	$V_{\text{máximo}} = -149,5804D_d + 179,6010P_{d,1^\circ}A$	0,8916	4,60
29	$V_{\text{máximo}} = -149,5809D_d + 318,0947P_{d,2^\circ}A$	0,8916	4,60
30	$V_{\text{máximo}} = -149,5808D_d + 7389,3563P_{d,3^\circ}A$	0,8916	4,60
31	$V_{\text{máximo}} = -149,5807D_d + 238,2137P_{d,4^\circ}A$	0,8916	4,60
32	$V_{\text{máximo}} = -149,5803D_d + 154,6806P_{d,ch}A$	0,8916	4,60
33	$V_{\text{máximo}} = -149,5809D_d + 1805,8073P_{d,se}A$	0,8916	4,60
34	$V_{\text{máximo}} = -149,5809D_d + 593,1004CV$	0,8916	4,60
35	$V_{\text{máximo}} = -149,5802D_d + 23,9406A_pA$	0,8916	4,60
36	$V_{\text{máximo}} = 529,3398P_dAe^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
37	$V_{\text{máximo}} = 17,5630P_mAe^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
38	$V_{\text{máximo}} = 1,4636P_aAe^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
39	$V_{\text{máximo}} = 312,0690P_{d,1^\circ}Ae^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
40	$V_{\text{máximo}} = 522,7098P_{d,2^\circ}Ae^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
41	$V_{\text{máximo}} = 12839,4753P_{d,3^\circ}Ae^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
42	$V_{\text{máximo}} = 413,9114P_{d,4^\circ}Ae^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
43	$V_{\text{máximo}} = 268,7684P_{d,ch}Ae^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
44	$V_{\text{máximo}} = 3137,7059P_{d,se}Ae^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
45	$V_{\text{máximo}} = 1030,5497CVe^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75
46	$V_{\text{máximo}} = 41,5984A_pAe^{-4,1681D_d}$	0,9621	2,75

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AX – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 58,3185 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,0903}$	0,9670	2,51
2	$V_{\text{máximo}} = 1,4218 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,0905}$	0,9670	2,51
3	$V_{\text{máximo}} = 0,1051 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,0723}$	0,9677	2,52
4	$V_{\text{máximo}} = 32,7797 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,0903}$	0,9670	2,51
5	$V_{\text{máximo}} = 61,1309 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,0903}$	0,9670	2,51
6	$V_{\text{máximo}} = 1887,2434 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,0904}$	0,9670	2,51
7	$V_{\text{máximo}} = 44,5998 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,0903}$	0,9670	2,51
8	$V_{\text{máximo}} = 27,8531 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-1,0903}$	0,9670	2,51
9	$V_{\text{máximo}} = 405,9347 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-1,0903}$	0,9670	2,51
10	$V_{\text{máximo}} = 102,0036 CVD_d^{-1,0903}$	0,9670	2,51
11	$V_{\text{máximo}} = 15,9961 D_d^{-1,0903}$	0,9670	2,51
12	$V_{\text{máximo}} = 3,6420 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,0904}$	0,9670	2,51
13	$V_{\text{máximo}} = -58,2883 \ln(D_d) + 30,8644 P_d A$	0,9949	0,98
14	$V_{\text{máximo}} = -58,2878 \ln(D_d) + 1,0240 P_m A$	0,9949	0,98
15	$V_{\text{máximo}} = -58,2874 \ln(D_d) + 0,0853 P_a A$	0,9949	0,98
16	$V_{\text{máximo}} = -58,2882 \ln(D_d) + 18,1958 P_{d,1^\circ} A$	0,9949	0,98
17	$V_{\text{máximo}} = -58,2883 \ln(D_d) + 32,2271 P_{d,2^\circ} A$	0,9949	0,98
18	$V_{\text{máximo}} = -58,2880 \ln(D_d) + 748,6119 P_{d,3^\circ} A$	0,9949	0,98

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AX – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Triângulo Mineiro (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -58,2883\ln(D_d) + 24,1341P_{d,4^\circ}A$	0,9949	0,98
20	$V_{\text{máximo}} = -58,2881\ln(D_d) + 15,6709P_{d,ch}A$	0,9949	0,98
21	$V_{\text{máximo}} = -58,2882\ln(D_d) + 182,9492P_{d,se}A$	0,9949	0,98
22	$V_{\text{máximo}} = -58,2883\ln(D_d) + 60,0888CV$	0,9949	0,98
23	$V_{\text{máximo}} = -371,6878CV\ln(D_d) + 9,4224$	0,9949	0,98
24	$V_{\text{máximo}} = -58,2878\ln(D_d) + 2,4253A_pA$	0,9949	0,98
25	$V_{\text{máximo}} = -163,1803D_d + 362,1299P_dA$	0,9988	0,48
26	$V_{\text{máximo}} = -163,1803D_d + 12,0151P_mA$	0,9988	0,48
27	$V_{\text{máximo}} = -163,1829D_d + 1,0013P_aA$	0,9988	0,48
28	$V_{\text{máximo}} = -163,1803D_d + 213,4914P_{d,1^\circ}A$	0,9988	0,48
29	$V_{\text{máximo}} = -163,1803D_d + 378,1177P_{d,2^\circ}A$	0,9988	0,48
30	$V_{\text{máximo}} = -163,1803D_d + 8783,6926P_{d,3^\circ}A$	0,9988	0,48
31	$V_{\text{máximo}} = -163,1803D_d + 283,1635P_{d,4^\circ}A$	0,9988	0,48
32	$V_{\text{máximo}} = -163,1803D_d + 183,8687P_{d,ch}A$	0,9988	0,48
33	$V_{\text{máximo}} = -163,1802D_d + 2146,5552P_{d,se}A$	0,9988	0,48
34	$V_{\text{máximo}} = -163,1793D_d + 705,0123CV$	0,9988	0,48
35	$V_{\text{máximo}} = -163,1802D_d + 28,4581A_pA$	0,9988	0,48
36	$V_{\text{máximo}} = 526,7266P_dAe^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
37	$V_{\text{máximo}} = 17,4763P_mAe^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
38	$V_{\text{máximo}} = 1,4563P_aAe^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
39	$V_{\text{máximo}} = 310,5293P_{d,1^\circ}Ae^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
40	$V_{\text{máximo}} = 549,9812P_{d,2^\circ}Ae^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
41	$V_{\text{máximo}} = 12776,0889P_{d,3^\circ}Ae^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
42	$V_{\text{máximo}} = 411,8692P_{d,4^\circ}Ae^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
43	$V_{\text{máximo}} = 267,4423P_{d,ch}Ae^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
44	$V_{\text{máximo}} = 3122,2156P_{d,se}Ae^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
45	$V_{\text{máximo}} = 1025,4620CVe^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20
46	$V_{\text{máximo}} = 41,3932A_pAe^{-3,2489D_d}$	0,9924	1,20

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AY – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 58,8210 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
2	$V_{\text{máximo}} = 1,6755 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,0448}$	0,9112	3,89
3	$V_{\text{máximo}} = 0,1373 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,0286}$	0,9104	3,90
4	$V_{\text{máximo}} = 33,8677 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
5	$V_{\text{máximo}} = 61,5366 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
6	$V_{\text{máximo}} = 1645,4349 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
7	$V_{\text{máximo}} = 45,4914 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
8	$V_{\text{máximo}} = 28,9746 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
9	$V_{\text{máximo}} = 377,5364 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
10	$V_{\text{máximo}} = 108,6010 CVD_d^{-1,0447}$	0,9112	3,89
11	$V_{\text{máximo}} = 17,0307 D_d^{-1,0447}$	0,9112	3,89
12	$V_{\text{máximo}} = 4,1256 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,0447}$	0,9112	3,89
13	$V_{\text{máximo}} = -51,1358 \ln(D_d) + 2,8383 P_d A$	0,8500	5,04
14	$V_{\text{máximo}} = -51,1355 \ln(D_d) + 0,0941 P_m A$	0,8500	5,04
15	$V_{\text{máximo}} = -51,1348 \ln(D_d) + 0,0078 P_a A$	0,8500	5,04
16	$V_{\text{máximo}} = -51,1358 \ln(D_d) + 1,6733 P_{d,1^\circ} A$	0,8500	5,04
17	$V_{\text{máximo}} = -51,1358 \ln(D_d) + 2,9637 P_{d,2^\circ} A$	0,8500	5,04
18	$V_{\text{máximo}} = -50,3738 \ln(D_d) + 0,5527 P_{d,3^\circ} A$	0,8500	5,04

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AY – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 247,50 L para a mesorregião Oeste de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -51,1358\ln(D_d) + 2,2194P_{d,4^\circ}A$	0,8500	5,04
20	$V_{\text{máximo}} = -51,1358\ln(D_d) + 1,4411P_{d,ch}A$	0,8500	5,04
21	$V_{\text{máximo}} = -51,1358\ln(D_d) + 16,8249P_{d,se}A$	0,8500	5,04
22	$V_{\text{máximo}} = -51,1357\ln(D_d) + 5,5254CV$	0,8500	5,04
23	$V_{\text{máximo}} = -326,0780CV\ln(D_d) + 0,8660$	0,8500	5,04
24	$V_{\text{máximo}} = -51,1356\ln(D_d) + 0,2230A_pA$	0,8500	5,04
25	$V_{\text{máximo}} = -136,7523D_d + 334,7213P_dA$	0,7787	6,13
26	$V_{\text{máximo}} = -136,7524D_d + 11,1057P_mA$	0,7787	6,13
27	$V_{\text{máximo}} = -136,7549D_d + 0,9255P_aA$	0,7787	6,13
28	$V_{\text{máximo}} = -136,7523D_d + 197,3328P_{d,1^\circ}A$	0,7787	6,13
29	$V_{\text{máximo}} = -136,7523D_d + 349,4990P_{d,2^\circ}A$	0,7787	6,13
30	$V_{\text{máximo}} = -136,7523D_d + 8118,8770P_{d,3^\circ}A$	0,7787	6,13
31	$V_{\text{máximo}} = -136,7523D_d + 261,7316P_{d,4^\circ}A$	0,7787	6,13
32	$V_{\text{máximo}} = -136,7523D_d + 169,9522P_{d,ch}A$	0,7787	6,13
33	$V_{\text{máximo}} = -136,7522D_d + 1984,0886P_{d,se}A$	0,7787	6,13
34	$V_{\text{máximo}} = -136,7507D_d + 651,6503CV$	0,7787	6,13
35	$V_{\text{máximo}} = -136,7522D_d + 26,3042A_pA$	0,7787	6,13
36	$V_{\text{máximo}} = 483,4737P_dAe^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
37	$V_{\text{máximo}} = 16,0412P_mAe^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
38	$V_{\text{máximo}} = 1,3368P_aAe^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
39	$V_{\text{máximo}} = 285,0289P_{d,1^\circ}Ae^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
40	$V_{\text{máximo}} = 504,8187P_{d,2^\circ}Ae^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
41	$V_{\text{máximo}} = 11726,9632P_{d,3^\circ}Ae^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
42	$V_{\text{máximo}} = 378,0469P_{d,4^\circ}Ae^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
43	$V_{\text{máximo}} = 245,4802P_{d,ch}Ae^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
44	$V_{\text{máximo}} = 2865,8307P_{d,se}Ae^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
45	$V_{\text{máximo}} = 941,2548CVe^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05
46	$V_{\text{máximo}} = 37,9940A_pAe^{-2,9526D_d}$	0,8512	5,05

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AZ – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 55,6330 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
2	$V_{\text{máximo}} = 4,1313 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,7634}$	0,9436	3,00
3	$V_{\text{máximo}} = 0,6224 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,7628}$	0,9436	3,00
4	$V_{\text{máximo}} = 37,1694 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ A}} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
5	$V_{\text{máximo}} = 57,4979 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ A}} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
6	$V_{\text{máximo}} = 634,2007 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ A}} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
7	$V_{\text{máximo}} = 46,1106 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ A}} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
8	$V_{\text{máximo}} = 33,1649 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}A}} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
9	$V_{\text{máximo}} = 216,3770 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}A}} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
10	$V_{\text{máximo}} = 143,4432 CVD_d^{-0,7632}$	0,9436	3,00
11	$V_{\text{máximo}} = 22,4946 D_d^{-0,7632}$	0,9436	3,00
12	$V_{\text{máximo}} = 7,9842 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,7632}$	0,9436	3,00
13	$V_{\text{máximo}} = -42,0005 \ln(D_d) + 23,8401 P_d A$	0,9222	3,52
14	$V_{\text{máximo}} = -42,0004 \ln(D_d) + 0,7910 P_m A$	0,9222	3,52
15	$V_{\text{máximo}} = -41,9997 \ln(D_d) + 0,0659 P_a A$	0,9222	3,52
16	$V_{\text{máximo}} = -42,0005 \ln(D_d) + 14,0548 P_{d,1^\circ A}$	0,9222	3,52
17	$V_{\text{máximo}} = -42,0005 \ln(D_d) + 24,8926 P_{d,2^\circ A}$	0,9222	3,52
18	$V_{\text{máximo}} = -42,0004 \ln(D_d) + 578,2621 P_{d,3^\circ A}$	0,9222	3,52

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE AZ – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 202,50 L para a mesorregião Central Mineira (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -42,0005\ln(D_d) + 18,6415P_{d,4^\circ}A$	0,9222	3,52
20	$V_{\text{máximo}} = -42,0004\ln(D_d) + 12,1047P_{d,ch}A$	0,9222	3,52
21	$V_{\text{máximo}} = -42,0004\ln(D_d) + 141,3151P_{d,se}A$	0,9222	3,52
22	$V_{\text{máximo}} = -42,0005\ln(D_d) + 46,4134CV$	0,9222	3,52
23	$V_{\text{máximo}} = -267,8253CV\ln(D_d) + 7,2789$	0,9222	3,52
24	$V_{\text{máximo}} = -42,0004\ln(D_d) + 1,8735A_pA$	0,9222	3,52
25	$V_{\text{máximo}} = -127,3017D_d + 320,5232P_dA$	0,8729	4,50
26	$V_{\text{máximo}} = -127,3017D_d + 10,6346P_mA$	0,8729	4,50
27	$V_{\text{máximo}} = -127,3034D_d + 0,8862P_aA$	0,8729	4,50
28	$V_{\text{máximo}} = -127,3017D_d + 188,9624P_{d,1^\circ}A$	0,8729	4,50
29	$V_{\text{máximo}} = -127,3018D_d + 334,6741P_{d,2^\circ}A$	0,8729	4,50
30	$V_{\text{máximo}} = -127,3017D_d + 7774,4954P_{d,3^\circ}A$	0,8729	4,50
31	$V_{\text{máximo}} = -127,3017D_d + 250,6295P_{d,4^\circ}A$	0,8729	4,50
32	$V_{\text{máximo}} = -127,3017D_d + 162,7432P_{d,ch}A$	0,8729	4,50
33	$V_{\text{máximo}} = -127,3017D_d + 1899,9281P_{d,se}A$	0,8729	4,50
34	$V_{\text{máximo}} = -127,3016D_d + 624,0125CV$	0,8729	4,50
35	$V_{\text{máximo}} = -127,3015D_d + 25,1884A_pA$	0,8729	4,50
36	$V_{\text{máximo}} = 398,9197P_dAe^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
37	$V_{\text{máximo}} = 13,2357P_mAe^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
38	$V_{\text{máximo}} = 1,1030P_aAe^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
39	$V_{\text{máximo}} = 235,1807P_{d,1^\circ}Ae^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
40	$V_{\text{máximo}} = 416,5318P_{d,2^\circ}Ae^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
41	$V_{\text{máximo}} = 9676,0530P_{d,3^\circ}Ae^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
42	$V_{\text{máximo}} = 311,9309P_{d,4^\circ}Ae^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
43	$V_{\text{máximo}} = 202,5485P_{d,ch}Ae^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
44	$V_{\text{máximo}} = 2364,6300P_{d,se}Ae^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
45	$V_{\text{máximo}} = 776,6402CVe^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76
46	$V_{\text{máximo}} = 31,3493A_pAe^{-2,4616D_d}$	0,9113	3,76

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BA – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de BH (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 77,7375 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,6784}$	0,8968	4,72
2	$V_{\text{máximo}} = 23587,4334 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,6781}$	0,8968	4,72
3	$V_{\text{máximo}} = 1500033,1085 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,6753}$	0,8968	4,72
4	$V_{\text{máximo}} = 188,7091 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,6784}$	0,8968	4,72
5	$V_{\text{máximo}} = 72,3000 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,6784}$	0,8968	4,72
6	$V_{\text{máximo}} = 0,3685 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,6784}$	0,8968	4,72
7	$V_{\text{máximo}} = 117,4686 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,6784}$	0,8968	4,72
8	$V_{\text{máximo}} = 242,4753 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,6784}$	0,8968	4,72
9	$V_{\text{máximo}} = 3,9214 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,6784}$	0,8968	4,72
10	$V_{\text{máximo}} = 3630,8351 CVD_d^{1,6783}$	0,8968	4,72
11	$V_{\text{máximo}} = 569,3844 D_d^{1,6783}$	0,8968	4,72
12	$V_{\text{máximo}} = 5551,8281 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,6782}$	0,8968	4,72
13	$V_{\text{máximo}} = 36,6628 \ln(D_d) + 319,5149 P_d A$	0,7690	6,98
14	$V_{\text{máximo}} = 36,6628 \ln(D_d) + 10,6012 P_m A$	0,7690	6,98
15	$V_{\text{máximo}} = 36,6636 \ln(D_d) + 0,8834 P_a A$	0,7690	6,98
16	$V_{\text{máximo}} = 36,6628 \ln(D_d) + 188,3681 P_{d,1^\circ} A$	0,7690	6,98
17	$V_{\text{máximo}} = 36,6628 \ln(D_d) + 333,6213 P_{d,2^\circ} A$	0,7690	6,98
18	$V_{\text{máximo}} = 36,6628 \ln(D_d) + 7750,0376 P_{d,3^\circ} A$	0,7690	6,98

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BA – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de BH (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 36,6628\ln(D_d) + 249,8412P_{d,4^\circ}A$	0,7690	6,98
20	$V_{\text{máximo}} = 36,6628\ln(D_d) + 162,2313P_{d,ch}A$	0,7690	6,98
21	$V_{\text{máximo}} = 36,6627\ln(D_d) + 1893,9474P_{d,se}A$	0,7690	6,98
22	$V_{\text{máximo}} = 36,6626\ln(D_d) + 622,0477CV$	0,7690	6,98
23	$V_{\text{máximo}} = 233,7904CV\ln(D_d) + 97,5494$	0,7690	6,98
24	$V_{\text{máximo}} = 36,6628\ln(D_d) + 25,1092A_pA$	0,7690	6,98
25	$V_{\text{máximo}} = 260,1954D_d - 43,9349P_dA$	0,8586	5,46
26	$V_{\text{máximo}} = 260,1954D_d - 1,4577P_mA$	0,8586	5,46
27	$V_{\text{máximo}} = 260,1931D_d - 0,1215P_aA$	0,8586	5,46
28	$V_{\text{máximo}} = 260,1955D_d - 25,9016P_{d,1^\circ}A$	0,8586	5,46
29	$V_{\text{máximo}} = 260,1954D_d - 45,8746P_{d,2^\circ}A$	0,8586	5,46
30	$V_{\text{máximo}} = 260,1955D_d - 1065,6678P_{d,3^\circ}A$	0,8586	5,46
31	$V_{\text{máximo}} = 260,1954D_d - 34,3544P_{d,4^\circ}A$	0,8586	5,46
32	$V_{\text{máximo}} = 260,1955D_d - 22,3077P_{d,ch}A$	0,8586	5,46
33	$V_{\text{máximo}} = 260,1955D_d - 260,4284P_{d,se}A$	0,8586	5,46
34	$V_{\text{máximo}} = 260,1954D_d - 85,5349CV$	0,8586	5,46
35	$V_{\text{máximo}} = 260,1955D_d - 3,4527A_pA$	0,8586	5,46
36	$V_{\text{máximo}} = 16,8211P_dAe^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
37	$V_{\text{máximo}} = 0,5581P_mAe^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0465P_aAe^{9,8143D_d}$	0,9357	3,70
39	$V_{\text{máximo}} = 9,9168P_{d,1^\circ}Ae^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
40	$V_{\text{máximo}} = 17,5637P_{d,2^\circ}Ae^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
41	$V_{\text{máximo}} = 408,0061P_{d,3^\circ}Ae^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
42	$V_{\text{máximo}} = 13,1531P_{d,4^\circ}Ae^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
43	$V_{\text{máximo}} = 8,5408P_{d,ch}Ae^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
44	$V_{\text{máximo}} = 99,7084P_{d,se}Ae^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
45	$V_{\text{máximo}} = 32,7483CVe^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70
46	$V_{\text{máximo}} = 1,3219A_pAe^{9,8135D_d}$	0,9357	3,70

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BB – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de BH (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 89,3120 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,7389}$	0,8737	4,55
2	$V_{\text{máximo}} = 7,2173 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,7386}$	0,8737	4,55
3	$V_{\text{máximo}} = 1,1535 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,7382}$	0,8737	4,55
4	$V_{\text{máximo}} = 60,4424 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,7389}$	0,8737	4,55
5	$V_{\text{máximo}} = 92,2091 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,7389}$	0,8737	4,55
6	$V_{\text{máximo}} = 942,4966 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,7390}$	0,8737	4,55
7	$V_{\text{máximo}} = 74,4689 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,7389}$	0,8737	4,55
8	$V_{\text{máximo}} = 54,1259 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{-0,7389}$	0,8737	4,55
9	$V_{\text{máximo}} = 332,6586 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{-0,7389}$	0,8737	4,55
10	$V_{\text{máximo}} = 237,0107 \text{CVD}_d^{-0,7389}$	0,8737	4,55
11	$V_{\text{máximo}} = 37,1678 \text{D}_d^{-0,7389}$	0,8737	4,55
12	$V_{\text{máximo}} = 13,6333 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,7390}$	0,8737	4,55
13	$V_{\text{máximo}} = -55,0839 \ln(D_d) + 78,1199 P_d A$	0,8287	5,28
14	$V_{\text{máximo}} = -55,0837 \ln(D_d) + 2,5920 P_m A$	0,8287	5,28
15	$V_{\text{máximo}} = -55,0827 \ln(D_d) + 0,2160 P_a A$	0,8287	5,28
16	$V_{\text{máximo}} = -55,0839 \ln(D_d) + 46,0551 P_{d,1^\circ} A$	0,8287	5,28
17	$V_{\text{máximo}} = -55,0839 \ln(D_d) + 81,5688 P_{d,2^\circ} A$	0,8287	5,28
18	$V_{\text{máximo}} = -55,0839 \ln(D_d) + 1894,8510 P_{d,3^\circ} A$	0,8287	5,28

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BB – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 270 L para a mesorregião Metropolitana de BH (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -55,0839\ln(D_d) + 61,0850P_{d,4^\circ}A$	0,8287	5,28
20	$V_{\text{máximo}} = -55,0839\ln(D_d) + 39,6648P_{d,ch}A$	0,8287	5,28
21	$V_{\text{máximo}} = -55,0839\ln(D_d) + 463,0628P_{d,se}A$	0,8287	5,28
22	$V_{\text{máximo}} = -55,0839\ln(D_d) + 152,0884CV$	0,8287	5,28
23	$V_{\text{máximo}} = -351,2574CV\ln(D_d) + 23,8504$	0,8287	5,28
24	$V_{\text{máximo}} = -55,0838\ln(D_d) + 6,1391A_pA$	0,8287	5,28
25	$V_{\text{máximo}} = -141,0332D_d + 432,7317P_dA$	0,7628	6,22
26	$V_{\text{máximo}} = -141,0336D_d + 14,3576P_mA$	0,7628	6,22
27	$V_{\text{máximo}} = -141,0364D_d + 1,1965P_aA$	0,7628	6,22
28	$V_{\text{máximo}} = -141,0330D_d + 255,1145P_{d,1^\circ}A$	0,7628	6,22
29	$V_{\text{máximo}} = -141,0329D_d + 451,8361P_{d,2^\circ}A$	0,7628	6,22
30	$V_{\text{máximo}} = -141,0330D_d + 10496,1751P_{d,3^\circ}A$	0,7628	6,22
31	$V_{\text{máximo}} = -141,0333D_d + 338,3701P_{d,4^\circ}A$	0,7628	6,22
32	$V_{\text{máximo}} = -141,0330D_d + 219,7165P_{d,ch}A$	0,7628	6,22
33	$V_{\text{máximo}} = -141,0332D_d + 2565,0558P_{d,se}A$	0,7628	6,22
34	$V_{\text{máximo}} = -141,0332D_d + 842,4676CV$	0,7628	6,22
35	$V_{\text{máximo}} = -141,0334D_d + 34,0065A_pA$	0,7628	6,22
36	$V_{\text{máximo}} = 529,0794P_dAe^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
37	$V_{\text{máximo}} = 17,5543P_mAe^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
38	$V_{\text{máximo}} = 1,4628P_aAe^{-1,9371D_d}$	0,8092	5,59
39	$V_{\text{máximo}} = 311,9155P_{d,1^\circ}Ae^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
40	$V_{\text{máximo}} = 552,4379P_{d,2^\circ}Ae^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
41	$V_{\text{máximo}} = 12833,1600P_{d,3^\circ}Ae^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
42	$V_{\text{máximo}} = 413,7078P_{d,4^\circ}Ae^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
43	$V_{\text{máximo}} = 268,6362P_{d,ch}Ae^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
44	$V_{\text{máximo}} = 3136,1626P_{d,se}Ae^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
45	$V_{\text{máximo}} = 1030,0428CVe^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59
46	$V_{\text{máximo}} = 41,5780A_pAe^{-1,9372D_d}$	0,8092	5,59

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BC – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 270 L para a mesorregião Sul de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 79,6369 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,8927}$	0,9632	3,37
2	$V_{\text{máximo}} = 50148,1541 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,8925}$	0,9632	3,37
3	$V_{\text{máximo}} = 5437525,2372 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,8899}$	0,9632	3,37
4	$V_{\text{máximo}} = 216,5008 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,8927}$	0,9632	3,37
5	$V_{\text{máximo}} = 73,3841 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,8927}$	0,9632	3,37
6	$V_{\text{máximo}} = 0,1906 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,8927}$	0,9632	3,37
7	$V_{\text{máximo}} = 126,8566 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,8927}$	0,9632	3,37
8	$V_{\text{máximo}} = 287,2478 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,8927}$	0,9632	3,37
9	$V_{\text{máximo}} = 2,7432 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,8927}$	0,9632	3,37
10	$V_{\text{máximo}} = 4796,4789 CVD_d^{1,8926}$	0,9632	3,37
11	$V_{\text{máximo}} = 752,1797 D_d^{1,8926}$	0,9632	3,37
12	$V_{\text{máximo}} = 9808,8176 \left(\frac{D_d}{A_P A} \right)^{1,8925}$	0,9632	3,37
13	$V_{\text{máximo}} = 41,1732 \ln(D_d) + 343,7217 P_d A$	0,8006	7,55
14	$V_{\text{máximo}} = 41,1733 \ln(D_d) + 11,4043 P_m A$	0,8006	7,55
15	$V_{\text{máximo}} = 41,1740 \ln(D_d) + 0,9504 P_a A$	0,8006	7,55
16	$V_{\text{máximo}} = 41,1732 \ln(D_d) + 202,6390 P_{d,1^\circ} A$	0,8006	7,55
17	$V_{\text{máximo}} = 41,1732 \ln(D_d) + 358,8967 P_{d,2^\circ} A$	0,8006	7,55
18	$V_{\text{máximo}} = 41,1732 \ln(D_d) + 8337,1860 P_{d,3^\circ} A$	0,8006	7,55

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BC – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 270 L para a mesorregião Sul de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 41,1732\ln(D_d) + 268,7693P_{d,4^\circ}A$	0,8006	7,55
20	$V_{\text{máximo}} = 41,1732\ln(D_d) + 174,5221P_{d,ch}A$	0,8006	7,55
21	$V_{\text{máximo}} = 41,1732\ln(D_d) + 2037,4376P_{d,se}A$	0,8006	7,55
22	$V_{\text{máximo}} = 41,1730\ln(D_d) + 669,1748CV$	0,8006	7,55
23	$V_{\text{máximo}} = 262,5525CV\ln(D_d) + 104,9398$	0,8006	7,55
24	$V_{\text{máximo}} = 41,1733\ln(D_d) + 27,0115A_pA$	0,8006	7,55
25	$V_{\text{máximo}} = 279,0364D_d - 59,2905P_dA$	0,9090	5,10
26	$V_{\text{máximo}} = 279,0364D_d - 1,9672P_mA$	0,9090	5,10
27	$V_{\text{máximo}} = 279,0348D_d - 0,1639P_aA$	0,9090	5,10
28	$V_{\text{máximo}} = 279,0365D_d - 34,9544P_{d,1^\circ}A$	0,9090	5,10
29	$V_{\text{máximo}} = 279,0364D_d - 61,9081P_{d,2^\circ}A$	0,9090	5,10
30	$V_{\text{máximo}} = 279,0366D_d - 1438,1272P_{d,3^\circ}A$	0,9090	5,10
31	$V_{\text{máximo}} = 279,0365D_d - 46,3616P_{d,4^\circ}A$	0,9090	5,10
32	$V_{\text{máximo}} = 279,0365D_d - 30,1043P_{d,ch}A$	0,9090	5,10
33	$V_{\text{máximo}} = 279,0370D_d - 351,4518P_{d,se}A$	0,9090	5,10
34	$V_{\text{máximo}} = 279,0365D_d - 115,4300CV$	0,9090	5,10
35	$V_{\text{máximo}} = 279,0365D_d - 4,6594A_pA$	0,9090	5,10
36	$V_{\text{máximo}} = 15,0796P_dAe^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
37	$V_{\text{máximo}} = 0,5003P_mAe^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0417P_aAe^{9,9177D_d}$	0,9893	1,76
39	$V_{\text{máximo}} = 8,8901P_{d,1^\circ}Ae^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
40	$V_{\text{máximo}} = 15,7453P_{d,2^\circ}Ae^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
41	$V_{\text{máximo}} = 365,7648P_{d,3^\circ}Ae^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
42	$V_{\text{máximo}} = 11,7913P_{d,4^\circ}Ae^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
43	$V_{\text{máximo}} = 7,6565P_{d,ch}Ae^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
44	$V_{\text{máximo}} = 89,3854P_{d,se}Ae^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
45	$V_{\text{máximo}} = 29,3578CVe^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76
46	$V_{\text{máximo}} = 1,1850A_pAe^{9,9171D_d}$	0,9893	1,76

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BD – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo após a demanda de 270 L para a mesorregião Sul de Minas (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 73,7445 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,9396}$	0,9887	1,06
2	$V_{\text{máximo}} = 3,0117 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,9389}$	0,9887	1,06
3	$V_{\text{máximo}} = 0,3049 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,9316}$	0,9888	1,07
4	$V_{\text{máximo}} = 44,8859 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,9396}$	0,9887	1,06
5	$V_{\text{máximo}} = 76,7996 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,9396}$	0,9887	1,06
6	$V_{\text{máximo}} = 1457,4639 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,9361}$	0,9887	1,06
7	$V_{\text{máximo}} = 58,5271 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,9396}$	0,9887	1,06
8	$V_{\text{máximo}} = 39,0084 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{-0,9396}$	0,9887	1,06
9	$V_{\text{máximo}} = 392,5678 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{-0,9396}$	0,9887	1,06
10	$V_{\text{máximo}} = 154,2390 CVD_d^{-0,9396}$	0,9887	1,06
11	$V_{\text{máximo}} = 24,1876 D_d^{-0,9396}$	0,9887	1,06
12	$V_{\text{máximo}} = 6,7545 \left(\frac{D_d}{A P A} \right)^{-0,9398}$	0,9887	1,06
13	$V_{\text{máximo}} = -55,5355 \ln(D_d) + 23,3592 P_d A$	0,9971	0,53
14	$V_{\text{máximo}} = -55,5355 \ln(D_d) + 0,7750 P_m A$	0,9971	0,53
15	$V_{\text{máximo}} = -55,5340 \ln(D_d) + 0,0646 P_a A$	0,9971	0,53
16	$V_{\text{máximo}} = -55,5356 \ln(D_d) + 13,7713 P_{d,1^\circ} A$	0,9971	0,53
17	$V_{\text{máximo}} = -55,5356 \ln(D_d) + 24,3905 P_{d,2^\circ} A$	0,9971	0,53
18	$V_{\text{máximo}} = -55,5356 \ln(D_d) + 566,5917 P_{d,3^\circ} A$	0,9971	0,53

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BD – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo após a demanda de 270 L para a mesorregião Sul de Minas (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -55,5353\ln(D_d) + 18,2661P_{d,4^\circ}A$	0,9971	0,53
20	$V_{\text{máximo}} = -55,5356\ln(D_d) + 11,8605P_{d,ch}A$	0,9971	0,53
21	$V_{\text{máximo}} = -55,5355\ln(D_d) + 138,4666P_{d,se}A$	0,9971	0,53
22	$V_{\text{máximo}} = -55,5356\ln(D_d) + 45,4771CV$	0,9971	0,53
23	$V_{\text{máximo}} = -354,1377CV\ln(D_d) + 7,1317$	0,9971	0,53
24	$V_{\text{máximo}} = -55,5355\ln(D_d) + 1,8357A_pA$	0,9971	0,53
25	$V_{\text{máximo}} = -139,8228D_d + 376,2849P_dA$	1,0000	0,05
26	$V_{\text{máximo}} = -139,8232D_d + 12,4848P_mA$	1,0000	0,05
27	$V_{\text{máximo}} = -139,8270D_d + 1,0404P_aA$	1,0000	0,05
28	$V_{\text{máximo}} = -139,8228D_d + 221,8366P_{d,1^\circ}A$	1,0000	0,05
29	$V_{\text{máximo}} = -139,8227D_d + 392,8973P_{d,2^\circ}A$	1,0000	0,05
30	$V_{\text{máximo}} = -139,8228D_d + 9127,0364P_{d,3^\circ}A$	1,0000	0,05
31	$V_{\text{máximo}} = -139,8228D_d + 294,2321P_{d,4^\circ}A$	1,0000	0,05
32	$V_{\text{máximo}} = -139,8228D_d + 191,0560P_{d,ch}A$	1,0000	0,05
33	$V_{\text{máximo}} = -139,8227D_d + 2230,4618P_{d,se}A$	1,0000	0,05
34	$V_{\text{máximo}} = -139,8217D_d + 732,5699CV$	1,0000	0,05
35	$V_{\text{máximo}} = -139,8230D_d + 29,5706A_pA$	1,0000	0,05
36	$V_{\text{máximo}} = 497,4106P_dAe^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
37	$V_{\text{máximo}} = 16,5036P_mAe^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
38	$V_{\text{máximo}} = 1,3753P_aAe^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
39	$V_{\text{máximo}} = 293,2453P_{d,1^\circ}Ae^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
40	$V_{\text{máximo}} = 519,3709P_{d,2^\circ}Ae^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
41	$V_{\text{máximo}} = 12065,0119P_{d,3^\circ}Ae^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
42	$V_{\text{máximo}} = 388,9447P_{d,4^\circ}Ae^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
43	$V_{\text{máximo}} = 252,5565P_{d,ch}Ae^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
44	$V_{\text{máximo}} = 2948,4429P_{d,se}Ae^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
45	$V_{\text{máximo}} = 968,3880CVe^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51
46	$V_{\text{máximo}} = 39,0892A_pAe^{-2,4035D_d}$	0,9974	0,51

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BE – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 270 L para a mesorregião Campo das Vertentes (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 142,3578 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{2,4717}$	0,9765	4,86
2	$V_{\text{máximo}} = 642554,6408 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{2,4709}$	0,9765	4,86
3	$V_{\text{máximo}} = 287265546,2423 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{2,4649}$	0,9764	4,86
4	$V_{\text{máximo}} = 525,5329 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{2,4717}$	0,9765	4,86
5	$V_{\text{máximo}} = 127,9398 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{2,4717}$	0,9765	4,86
6	$V_{\text{máximo}} = 0,0538 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{2,4718}$	0,9765	4,86
7	$V_{\text{máximo}} = 261,4728 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{2,4717}$	0,9765	4,86
8	$V_{\text{máximo}} = 760,2413 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{2,4717}$	0,9765	4,86
9	$V_{\text{máximo}} = 1,7502 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{2,4717}$	0,9765	4,86
10	$V_{\text{máximo}} = 17041,3482 CVD_d^{2,4716}$	0,9765	4,86
11	$V_{\text{máximo}} = 2672,4143 D_d^{2,4716}$	0,9765	4,86
12	$V_{\text{máximo}} = 76441,9533 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{2,4714}$	0,9765	4,86
13	$V_{\text{máximo}} = 69,5043 \ln(D_d) + 554,4409 P_d A$	0,7523	14,65
14	$V_{\text{máximo}} = 69,5044 \ln(D_d) + 18,3958 P_m A$	0,7523	14,65
15	$V_{\text{máximo}} = 69,5051 \ln(D_d) + 1,5330 P_a A$	0,7523	14,65
16	$V_{\text{máximo}} = 69,5044 \ln(D_d) + 326,8673 P_{d,1^\circ} A$	0,7523	14,65
17	$V_{\text{máximo}} = 69,5043 \ln(D_d) + 578,9189 P_{d,2^\circ} A$	0,7523	14,65
18	$V_{\text{máximo}} = 69,5043 \ln(D_d) + 13448,3187 P_{d,3^\circ} A$	0,7523	14,65

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BE – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 270 L para a mesorregião Campo das Vertentes (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 69,5044\ln(D_d) + 433,5391P_{d,4^\circ}A$	0,7523	14,65
20	$V_{\text{máximo}} = 69,5044\ln(D_d) + 281,5133P_{d,ch}A$	0,7523	14,65
21	$V_{\text{máximo}} = 69,5043\ln(D_d) + 3286,4956P_{d,se}A$	0,7523	14,65
22	$V_{\text{máximo}} = 69,5041\ln(D_d) + 1079,4151CV$	0,7523	14,65
23	$V_{\text{máximo}} = 443,2135CV\ln(D_d) + 169,2735$	0,7523	14,65
24	$V_{\text{máximo}} = 69,5043\ln(D_d) + 43,5710A_pA$	0,7523	14,65
25	$V_{\text{máximo}} = 478,2106D_d - 129,9039P_dA$	0,8804	10,18
26	$V_{\text{máximo}} = 478,2110D_d - 4,3101P_mA$	0,8804	10,18
27	$V_{\text{máximo}} = 478,2099D_d - 0,3592P_aA$	0,8804	10,18
28	$V_{\text{máximo}} = 478,2109D_d - 76,5841P_{d,1^\circ}A$	0,8804	10,18
29	$V_{\text{máximo}} = 478,2106D_d - 135,6390P_{d,2^\circ}A$	0,8804	10,18
30	$V_{\text{máximo}} = 478,2108D_d - 3150,8971P_{d,3^\circ}A$	0,8804	10,18
31	$V_{\text{máximo}} = 478,2108D_d - 101,5770P_{d,4^\circ}A$	0,8804	10,18
32	$V_{\text{máximo}} = 478,2109D_d - 65,9579P_{d,ch}A$	0,8804	10,18
33	$V_{\text{máximo}} = 478,2106D_d - 770,0156P_{d,se}A$	0,8804	10,18
34	$V_{\text{máximo}} = 478,2107D_d - 252,9040CV$	0,8804	10,18
35	$V_{\text{máximo}} = 478,2110D_d - 10,2086A_pA$	0,8804	10,18
36	$V_{\text{máximo}} = 13,4509P_dAe^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
37	$V_{\text{máximo}} = 0,4463P_mAe^{12,1789D_d}$	0,9911	2,78
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0372P_aAe^{12,1789D_d}$	0,9911	2,78
39	$V_{\text{máximo}} = 7,9299P_{d,1^\circ}Ae^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
40	$V_{\text{máximo}} = 14,0448P_{d,2^\circ}Ae^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
41	$V_{\text{máximo}} = 326,2615P_{d,3^\circ}Ae^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
42	$V_{\text{máximo}} = 10,5178P_{d,4^\circ}Ae^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
43	$V_{\text{máximo}} = 6,8296P_{d,ch}Ae^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
44	$V_{\text{máximo}} = 79,7317P_{d,se}Ae^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
45	$V_{\text{máximo}} = 26,1871CVe^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78
46	$V_{\text{máximo}} = 1,0570A_pAe^{12,1787D_d}$	0,9911	2,78

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BF – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo após a demanda de 270 L para a mesorregião Campo das Vertentes (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 70,3505 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-0,7770}$	0,9996	0,17
2	$V_{\text{máximo}} = 4,9870 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-0,7771}$	0,9996	0,17
3	$V_{\text{máximo}} = 0,8322 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-0,7524}$	0,9995	0,30
4	$V_{\text{máximo}} = 46,6608 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-0,7770}$	0,9996	0,17
5	$V_{\text{máximo}} = 72,7521 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-0,7770}$	0,9996	0,17
6	$V_{\text{máximo}} = 836,0096 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-0,7763}$	0,9996	0,17
7	$V_{\text{máximo}} = 58,1113 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-0,7770}$	0,9996	0,17
8	$V_{\text{máximo}} = 41,5473 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{-0,7770}$	0,9996	0,17
9	$V_{\text{máximo}} = 280,4471 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{-0,7771}$	0,9996	0,17
10	$V_{\text{máximo}} = 178,4362 CVD_d^{-0,7770}$	0,9996	0,17
11	$V_{\text{máximo}} = 27,9822 D_d^{-0,7770}$	0,9996	0,17
12	$V_{\text{máximo}} = 9,7482 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-0,7770}$	0,9996	0,17
13	$V_{\text{máximo}} = -44,9693 \ln(D_d) + 53,7397 P_d A$	0,9959	0,52
14	$V_{\text{máximo}} = -44,9689 \ln(D_d) + 1,7831 P_m A$	0,9959	0,52
15	$V_{\text{máximo}} = -44,9677 \ln(D_d) + 0,1486 P_a A$	0,9959	0,52
16	$V_{\text{máximo}} = -44,9693 \ln(D_d) + 31,6819 P_{d,1^\circ} A$	0,9959	0,52
17	$V_{\text{máximo}} = -44,9693 \ln(D_d) + 56,1123 P_{d,2^\circ} A$	0,9959	0,52
18	$V_{\text{máximo}} = -44,9692 \ln(D_d) + 1303,4916 P_{d,3^\circ} A$	0,9959	0,52

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BF – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo após a demanda de 270 L para a mesorregião Campo das Vertentes (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -44,9693\ln(D_d) + 42,0213P_{d,4^\circ}A$	0,9959	0,52
20	$V_{\text{máximo}} = -44,9809\ln(D_d) + 27,2667P_{d,ch}A$	0,9959	0,52
21	$V_{\text{máximo}} = -44,9692\ln(D_d) + 318,5469P_{d,se}A$	0,9959	0,52
22	$V_{\text{máximo}} = -44,9693\ln(D_d) + 104,6235CV$	0,9959	0,52
23	$V_{\text{máximo}} = -286,7587CV\ln(D_d) + 16,4070$	0,9959	0,52
24	$V_{\text{máximo}} = -44,9692\ln(D_d) + 4,2232A_pA$	0,9959	0,52
25	$V_{\text{máximo}} = -112,4573D_d + 338,5523P_dA$	0,9853	0,98
26	$V_{\text{máximo}} = -112,4578D_d + 11,2328P_mA$	0,9853	0,98
27	$V_{\text{máximo}} = -112,4615D_d + 0,9361P_aA$	0,9853	0,98
28	$V_{\text{máximo}} = -112,4574D_d + 199,5917P_{d,1^\circ}A$	0,9853	0,98
29	$V_{\text{máximo}} = -112,4571D_d + 353,4988P_{d,2^\circ}A$	0,9853	0,98
30	$V_{\text{máximo}} = -112,4574D_d + 8211,8060P_{d,3^\circ}A$	0,9853	0,98
31	$V_{\text{máximo}} = -112,4574D_d + 264,7276P_{d,4^\circ}A$	0,9853	0,98
32	$V_{\text{máximo}} = -112,4574D_d + 171,8977P_{d,ch}A$	0,9853	0,98
33	$V_{\text{máximo}} = -112,4573D_d + 2006,7995P_{d,se}A$	0,9853	0,98
34	$V_{\text{máximo}} = -112,4570D_d + 659,1125CV$	0,9853	0,98
35	$V_{\text{máximo}} = -112,4576D_d + 26,6053A_pA$	0,9853	0,98
36	$V_{\text{máximo}} = 415,8910P_dAe^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
37	$V_{\text{máximo}} = 13,7988P_mAe^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
38	$V_{\text{máximo}} = 1,1499P_aAe^{-1,9691D_d}$	0,9942	0,61
39	$V_{\text{máximo}} = 245,1860P_{d,1^\circ}Ae^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
40	$V_{\text{máximo}} = 434,2523P_{d,2^\circ}Ae^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
41	$V_{\text{máximo}} = 10087,7017P_{d,3^\circ}Ae^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
42	$V_{\text{máximo}} = 325,2014P_{d,4^\circ}Ae^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
43	$V_{\text{máximo}} = 211,1656P_{d,ch}Ae^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
44	$V_{\text{máximo}} = 2465,2286P_{d,se}Ae^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
45	$V_{\text{máximo}} = 809,6809CVe^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61
46	$V_{\text{máximo}} = 32,6830A_pAe^{-1,9692D_d}$	0,9942	0,61

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BG – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 64,5771 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{1,6280}$	0,9774	2,10
2	$V_{\text{máximo}} = 16491,0917 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{1,6275}$	0,9774	2,10
3	$V_{\text{máximo}} = 920796,0145 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{1,6241}$	0,9774	2,22
4	$V_{\text{máximo}} = 152,6384 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{1,6279}$	0,9774	2,10
5	$V_{\text{máximo}} = 60,1913 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{1,6280}$	0,9774	2,10
6	$V_{\text{máximo}} = 0,3595 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{1,6279}$	0,9774	2,10
7	$V_{\text{máximo}} = 96,3805 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{1,6280}$	0,9774	2,10
8	$V_{\text{máximo}} = 194,6638 \left(\frac{D_d}{P_{d,ch} A} \right)^{1,6280}$	0,9774	2,10
9	$V_{\text{máximo}} = 3,5633 \left(\frac{D_d}{P_{d,se} A} \right)^{1,6280}$	0,9774	2,10
10	$V_{\text{máximo}} = 2841,1072 CVD_d^{1,6279}$	0,9774	2,10
11	$V_{\text{máximo}} = 445,5400 D_d^{1,6279}$	0,9774	2,10
12	$V_{\text{máximo}} = 4059,0052 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{1,6280}$	0,9774	2,10
13	$V_{\text{máximo}} = 34,7709 \ln(D_d) + 296,0842 P_d A$	0,8645	5,06
14	$V_{\text{máximo}} = 34,7709 \ln(D_d) + 9,8238 P_m A$	0,8645	5,06
15	$V_{\text{máximo}} = 34,7716 \ln(D_d) + 0,8187 P_a A$	0,8645	5,06
16	$V_{\text{máximo}} = 34,7709 \ln(D_d) + 174,5546 P_{d,1^\circ} A$	0,8645	5,06
17	$V_{\text{máximo}} = 34,7709 \ln(D_d) + 309,1561 P_{d,2^\circ} A$	0,8645	5,06
18	$V_{\text{máximo}} = 34,7709 \ln(D_d) + 7181,7084 P_{d,3^\circ} A$	0,8645	5,06

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BG – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo até a demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = 34,7709\ln(D_d) + 231,5197P_{d,4^\circ}A$	0,8645	5,06
20	$V_{\text{máximo}} = 34,7709\ln(D_d) + 150,3345P_{d,ch}A$	0,8645	5,06
21	$V_{\text{máximo}} = 34,7708\ln(D_d) + 1755,0627P_{d,se}A$	0,8645	5,06
22	$V_{\text{máximo}} = 34,7707\ln(D_d) + 576,4318CV$	0,8645	5,06
23	$V_{\text{máximo}} = 221,7260CV\ln(D_d) + 90,3959$	0,8645	5,06
24	$V_{\text{máximo}} = 34,7709\ln(D_d) + 23,2679A_pA$	0,8645	5,06
25	$V_{\text{máximo}} = 232,0142D_d - 42,2226P_dA$	0,9516	3,02
26	$V_{\text{máximo}} = 232,0141D_d - 1,4009P_mA$	0,9516	3,02
27	$V_{\text{máximo}} = 232,0122D_d - 0,1167P_aA$	0,9516	3,02
28	$V_{\text{máximo}} = 232,0142D_d - 24,8921P_{d,1^\circ}A$	0,9516	3,02
29	$V_{\text{máximo}} = 232,0142D_d - 44,0867P_{d,2^\circ}A$	0,9516	3,02
30	$V_{\text{máximo}} = 232,0143D_d - 1024,1356P_{d,3^\circ}A$	0,9516	3,02
31	$V_{\text{máximo}} = 232,0142D_d - 33,0155P_{d,4^\circ}A$	0,9516	3,02
32	$V_{\text{máximo}} = 232,0142D_d - 21,4382P_{d,ch}A$	0,9516	3,02
33	$V_{\text{máximo}} = 232,0147D_d - 250,2804P_{d,se}A$	0,9516	3,02
34	$V_{\text{máximo}} = 232,0133D_d - 82,2001CV$	0,9516	3,02
35	$V_{\text{máximo}} = 232,0142D_d - 3,3181A_pA$	0,9516	3,02
36	$V_{\text{máximo}} = 17,4399P_dAe^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
37	$V_{\text{máximo}} = 0,5786P_mAe^{8,7186D_d}$	0,9889	1,45
38	$V_{\text{máximo}} = 0,0482P_aAe^{8,7184D_d}$	0,9889	1,45
39	$V_{\text{máximo}} = 10,2816P_{d,1^\circ}Ae^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
40	$V_{\text{máximo}} = 18,2099P_{d,2^\circ}Ae^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
41	$V_{\text{máximo}} = 423,0167P_{d,3^\circ}Ae^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
42	$V_{\text{máximo}} = 13,6370P_{d,4^\circ}Ae^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
43	$V_{\text{máximo}} = 8,8550P_{d,ch}Ae^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
44	$V_{\text{máximo}} = 103,3767P_{d,se}Ae^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
45	$V_{\text{máximo}} = 33,9531CVe^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45
46	$V_{\text{máximo}} = 1,3705A_pAe^{8,7185D_d}$	0,9889	1,45

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BH – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (continua)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
1	$V_{\text{máximo}} = 102,1903 \left(\frac{D_d}{P_d A} \right)^{-1,8650}$	0,9730	3,62
2	$V_{\text{máximo}} = 0,1788 \left(\frac{D_d}{P_m A} \right)^{-1,8637}$	0,9730	3,62
3	$V_{\text{máximo}} = 0,0021 \left(\frac{D_d}{P_a A} \right)^{-1,8337}$	0,9724	3,76
4	$V_{\text{máximo}} = 38,1427 \left(\frac{D_d}{P_{d,1^\circ} A} \right)^{-1,8651}$	0,9730	3,62
5	$V_{\text{máximo}} = 110,7650 \left(\frac{D_d}{P_{d,2^\circ} A} \right)^{-1,8650}$	0,9730	3,62
6	$V_{\text{máximo}} = 38859,6008 \left(\frac{D_d}{P_{d,3^\circ} A} \right)^{-1,8634}$	0,9730	3,62
7	$V_{\text{máximo}} = 64,5919 \left(\frac{D_d}{P_{d,4^\circ} A} \right)^{-1,8650}$	0,9730	3,62
8	$V_{\text{máximo}} = 28,8682 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{ch}} A} \right)^{-1,8651}$	0,9730	3,62
9	$V_{\text{máximo}} = 2823,8986 \left(\frac{D_d}{P_{d,\text{se}} A} \right)^{-1,8650}$	0,9730	3,62
10	$V_{\text{máximo}} = 71,2814 \text{CVD}_d^{-1,8651}$	0,9730	3,62
11	$V_{\text{máximo}} = 11,1783 \text{D}_d^{-1,8651}$	0,9730	3,62
12	$V_{\text{máximo}} = 0,8888 \left(\frac{D_d}{A_p A} \right)^{-1,8654}$	0,9730	3,62
13	$V_{\text{máximo}} = -117,4582 \ln(D_d) + 137,2157 P_d A$	0,9304	5,77
14	$V_{\text{máximo}} = -117,4572 \ln(D_d) + 4,5526 P_m A$	0,9304	5,77
15	$V_{\text{máximo}} = -117,4572 \ln(D_d) + 0,3794 P_a A$	0,9304	5,77
16	$V_{\text{máximo}} = -117,4580 \ln(D_d) + 80,8943 P_{d,1^\circ} A$	0,9304	5,77
17	$V_{\text{máximo}} = -117,4582 \ln(D_d) + 143,2737 P_{d,2^\circ} A$	0,9304	5,77
18	$V_{\text{máximo}} = -117,4582 \ln(D_d) + 3328,2569 P_{d,3^\circ} A$	0,9304	5,77

Fonte: Do autor (2021).

APÊNDICE BH – Modelos matemáticos para o comportamento do volume máximo a partir da demanda de 315 L para a mesorregião Zona da Mata (conclusão)

Modelo	Equação	R ²	REQM (m ³)
19	$V_{\text{máximo}} = -117,4581\ln(D_d) + 107,2941P_{d,4^\circ}A$	0,9304	5,77
20	$V_{\text{máximo}} = -117,4578\ln(D_d) + 69,6697P_{d,ch}A$	0,9304	5,77
21	$V_{\text{máximo}} = -117,4583\ln(D_d) + 813,3586P_{d,se}A$	0,9304	5,77
22	$V_{\text{máximo}} = -117,4582\ln(D_d) + 267,1397CV$	0,9304	5,77
23	$V_{\text{máximo}} = -749,0025CV\ln(D_d) + 41,8922$	0,9304	5,77
24	$V_{\text{máximo}} = -117,4572\ln(D_d) + 10,7829A_pA$	0,9304	5,77
25	$V_{\text{máximo}} = -290,2777D_d + 602,3319P_dA$	0,8990	6,95
26	$V_{\text{máximo}} = -290,2780D_d + 19,9848P_mA$	0,8990	6,95
27	$V_{\text{máximo}} = -290,2819D_d + 1,6654P_aA$	0,8990	6,95
28	$V_{\text{máximo}} = -290,2777D_d + 355,1013P_{d,1^\circ}A$	0,8990	6,95
29	$V_{\text{máximo}} = -290,2776D_d + 628,9242P_{d,2^\circ}A$	0,8990	6,95
30	$V_{\text{máximo}} = -290,2775D_d + 14609,9524P_{d,3^\circ}A$	0,8990	6,95
31	$V_{\text{máximo}} = -290,2777D_d + 470,9870P_{d,4^\circ}A$	0,8990	6,95
32	$V_{\text{máximo}} = -290,2777D_d + 305,8297P_{d,ch}A$	0,8990	6,95
33	$V_{\text{máximo}} = -290,2775D_d + 3570,3744P_{d,se}A$	0,8990	6,95
34	$V_{\text{máximo}} = -290,2721D_d + 1172,6390CV$	0,8990	6,95
35	$V_{\text{máximo}} = -290,2778D_d + 47,3346A_pA$	0,8990	6,95
36	$V_{\text{máximo}} = 1401,6959P_dAe^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
37	$V_{\text{máximo}} = 46,5068P_mAe^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
38	$V_{\text{máximo}} = 3,8756P_aAe^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
39	$V_{\text{máximo}} = 826,3611P_{d,1^\circ}Ae^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
40	$V_{\text{máximo}} = 1463,5797P_{d,2^\circ}Ae^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
41	$V_{\text{máximo}} = 33999,0278P_{d,3^\circ}Ae^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
42	$V_{\text{máximo}} = 1096,0406P_{d,4^\circ}Ae^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
43	$V_{\text{máximo}} = 711,7007P_{d,ch}Ae^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
44	$V_{\text{máximo}} = 8308,6691P_{d,se}Ae^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
45	$V_{\text{máximo}} = 2728,9033CVe^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76
46	$V_{\text{máximo}} = 110,1530A_pAe^{-4,7685D_d}$	0,9533	4,76

Fonte: Do autor (2021).