

**EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME  
E BIOMASSA EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO  
CERRADO**

**YANARA FERREIRA DE SOUZA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME**  
**E BIOMASSA EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO**  
**CERRADO**

**YANARA FERREIRA DE SOUZA**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. EDER PEREIRA MIGUEL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**BRASÍLIA - DF DEZEMBRO DE 2020**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus por me dar saúde e forças para realizar esse sonho e permitir essa caminhada. As duas pessoas que infelizmente não estão nesse plano físico e são meus exemplos de vida: minha mãe e meu avô.

Meu pai, que sempre me deu forças para continuar, com ajuda no que é possível e minhas irmãs pelo apoio moral, emocional e o carinho nesse período importante da minha vida.

Ao meu orientador Eder, que sempre esteve presente, com toda compreensão, paciência e disposição para realizar essa pesquisa e por ter me inspirado no caminho da ciência.

Ao professor Eraldo, que desde a graduação sempre disponível, muito obrigada pela amizade e os conselhos.

A todos os meus amigos da pós-graduação em especial Jocemara e Yolanda que me ajudaram muito, lendo meu trabalho e que me acompanham desde a graduação.

Aos amigos de Manaus, Alaíde, André, Katrinne e Victória por me receberem com muito amor e pelo companheirismo nos trabalhos de campo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de mestrado.

## **RESUMO GERAL**

### **EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMATIVA DE VOLUME E BIOMASSA EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS DO CERRADO**

O Cerrado é o segundo bioma da América do Sul e apresenta diferentes fitofisionomias desde formações florestais, savânicas e campestres. Esse bioma fornece diferentes serviços ecossistêmicos, entre eles a regulação climática. Assim, o conhecimento das estimativas de volume e biomassa no Cerrado, em inventários florestais, contribui para avaliar a capacidade de balanço de carbono nos ecossistemas. Nos deparamos com ausência de estudos em relação a estimativas de volume e biomassa nas diferentes fitofisionomias do Cerrado. Nesse contexto, o estudo foi realizado para desenvolver equações (linear e não-linear) de volume e biomassa acima do solo para fitofisionomias específicas (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão e Cerrado *sensu stricto*), modelo genérico, modelo para formação florestal e comparar se um modelo disponível na literatura, conhecido como modelo pantropical, tem validade para estimar o estoque de biomassa nas diferentes fitofisionomias deste bioma. Diâmetro na altura do peito (DAP), diâmetro na altura da base (Db) e altura total da árvore (H) foram usados como preditores dos modelos de volume. No estudo de biomassa foi acrescido a variável densidade da madeira (d). Nossos resultados mostraram que o ajuste por fitofisionomia específica não difere estatisticamente dos modelos genéricos desenvolvidos nesse estudo, embora apresente estatísticas de ajuste e precisão superiores. A utilização do modelo pantropical em áreas de Cerrado, podem levar a viés nas estimativas de biomassa conforme demonstrado em nossa pesquisa, devido esse bioma apresentar características específicas e um complexo fitofisionômico único.

**Palavras-chaves:** Biomassa Acima do Solo, Formações Florestais, Inventário Florestal, Modelo Pantropical, Savanas.

## GENERAL ABSTRACT

### EQUATIONS FOR ESTIMATING VOLUME AND ALOMETRY OF BIOMASS IN DIFFERENT PHYTOPHYSIONOMIES IN THE CERRADO

Cerrado is the second largest biome in South America and has different phytophysiognomies that range from forest to savanna and grassland formations. This biome provides different ecosystem services, including climate regulation. Thus, the knowledge about the volume and biomass estimates in Cerrado, obtained through forest inventory, contributes to assessing the capacity of carbon balance in ecosystems. We are faced with a lack of studies regarding volume and biomass estimates in different vegetation types in Cerrado. In this context, the study was carried out to develop equations (linear and non-linear) of volume and biomass above ground for specific phytophysiognomies (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão and Cerrado *sensu stricto*), a generic model and a model for forest formations only. Furthermore, the adjusted models were compared to a model available in the literature, known as the pantropical model, to validate which is more suitable for estimating the biomass stock for the different phytophysiognomies in Cerrado. Diameter at breast height (DBH), diameter at base height (Db), and total tree height (H) were used as predictors for the volume models. For biomass, the wood density variable (d) was added. Our results showed that the adjustment for specific phytophysiognomy does not differ statistically from the generic models, although it presents better adjustment and precision statistics. The use of the pantropical model in Cerrado areas may lead to bias in the biomass estimates as demonstrated in our research because this biome has specific characteristics and a unique phytophysiognomic complex.

**Key words:** Above Ground Biomass, Forest Formations, Forest Inventory, Pantropical Model, Savannas.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO .....	9
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	10
1.2.1 Cerrado.....	10
1.2.2 Sistema de classificação da vegetação .....	11
1.2.3 Inventário Florestal Nacional.....	12
1.2.4 Modelos alométricos .....	13
1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	15
2. MODELOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DE MADEIRA EM FITOFISIONOMIAS FLORESTAIS E SAVÂNICA DO BIOMA CERRADO .....	24
2.1 RESUMO.....	24
2.2 ABSTRACT.....	25
2.3 INTRODUÇÃO .....	26
2.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	27
2.4.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	27
2.4.2 Inventário Florestal .....	29
2.4.3 Determinação do volume .....	30
2.4.4 Base de dados .....	30
2.4.5 Ajuste dos modelos volumétricos .....	31
2.4.6 Critérios de seleção dos ajustes dos modelos.....	33
2.4.7 Validação dos modelos ajustados.....	33
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
2.5.1 Exclusividade das espécies.....	34
2.5.2 Ajuste dos modelos para estimativa de volume .....	35
2.5.3 Validação dos modelos de volume.....	43
2.6 CONCLUSÃO .....	47
2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
3. MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVAS DA BIOMASSA DO CERRADO EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS FLORESTAIS E SAVÂNICAS .....	56
3.1 RESUMO.....	56
3.2 ABSTRACT.....	57
3.3 INTRODUÇÃO .....	58
3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	60
3.4.1 Localização e caracterização da área de estudo .....	60

3.4.2 Inventário Florestal .....	62
3.4.3 Determinação da biomassa.....	62
3.4.4 Base de dados .....	63
3.4.5 Ajustes dos modelos de biomassa .....	64
3.4.6 Densidade da madeira .....	66
3.4.7 Coeficientes utilizados para o modelo de pantropical de CHAVE et al. (2014) 66	
3.4.8 Critérios de seleção dos ajustes dos modelos.....	67
3.4.9 Validação dos modelos ajustados.....	67
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
3.5.1 Exclusividade das espécies.....	68
3.5.2 Ajuste dos modelos alométricos para estimativa de biomassa.....	69
3.5.3 Validação dos modelos de biomassa .....	79
3.5.4 Validação do modelo de CHAVE et al. (2014) para as diferentes fitofisionomias.....	82
3.6 CONCLUSÃO .....	84
3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	85
4 APÊNDICES .....	100

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da legenda do mapeamento da vegetação para o Bioma Cerrado de acordo com a classificação do IBGE.....	28
Tabela 2 - Informações da base de dados utilizada em cada fitofisionomia. ....	31
Tabela 3 - Modelos volumétricos ajustados para estimativa do volume total para formações Florestal e Savânica. ....	32
Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos testados para estimar volume total para as fitofisionomias.....	36
Tabela 5 - Estatística do teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) a 95% de probabilidade nas diferentes tipologias analisadas para estimativa volumétrica.....	44
Tabela 6 - Estatística da diferença agregada (DA%) do modelo genérico, modelo de formação florestal, modelos específicos e do teste de Kruskal-Wallis (H) para o volume. ....	45
Tabela 7 - Síntese da legenda do mapeamento da vegetação para o Bioma Cerrado de acordo com a classificação do IBGE.....	60
Tabela 8 - Informações da base de dados utilizada em cada fitofisionomia. ....	63
Tabela 9 - Modelos alométricos ajustados para estimar biomassa seca acima do solo para formações Florestal e Savânica. ....	65
Tabela 10 - Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos ajustados para estimar biomassa seca acima do solo para as fitofisionomias. ....	70
Tabela 11 - Estatística do teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) a 95% de probabilidade nas diferentes tipologias para estimativa de biomassa acima do solo. ....	80
Tabela 12 - Estatística da diferença agregada (DA%) do modelo genérico, modelo de formação florestal, modelos específicos e do teste de Kruskal-Wallis (H) para biomassa acima do solo. ....	81
Tabela 13 - Estatística do teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) a 95% de probabilidade para o modelo de CHAVE et al. (2014) nas diferentes tipologias para estimativa de biomassa. ....	82



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação da vegetação do Cerrado. ....	29
Figura 2 - Diagrama de Venn ilustrando o compartilhamento e exclusividade das espécies para as diferentes fitofisionomias no estudo de volume total.....	35
Figura 3 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para os modelos escolhidos de Mata de Galeria (1), Mata Seca (2), Cerradão (3), Cerrado <i>sensu stricto</i> (4), modelo genérico (5) e formação florestal (6). ....	41
Figura 4 - Classificação da vegetação do Cerrado. ....	62
Figura 5 - Diagrama de Venn ilustrando o compartilhamento e exclusividade das espécies para as diferentes fitofisionomias no estudo de biomassa acima do solo.....	69
Figura 6 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para os modelos escolhidos de Mata de Galeria (1), Mata Seca (2), Cerradão (3), Cerrado <i>sensu stricto</i> (4), modelo genérico (5) e formação florestal (6). ....	76

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O Cerrado, uma savana sazonal úmida (ROITMAN et al., 2018) e altamente suscetível a ações antrópicas é o segundo maior bioma da América do Sul (SILVA et al., 2006; BOCCHIGLIERI et al., 2010; RITTER et al., 2010). Sua expressiva área compõe parte dos ecossistemas neotropicais, sendo difícil especificar o tamanho exato devido a áreas de transição com outros ecossistemas (SANO, 2016) e apresenta áreas onde as fitofisionomias florestais, savânicas e campestres podem existir em uma mesma região (PAIVA et al., 2011).

As fisionomias que compõem esse bioma são extremamente variáveis devido às diferenças no relevo e nas características edáficas (LENZA et al., 2015). Formações florestais são áreas com predominância de espécies com dossel contínuo ou descontínuo, formações savânicas apresentam árvores e arbustos espalhados pelo estrato gramíneo, sem formação de dossel contínuo, enquanto os campos são caracterizados por formações herbáceas e arbustivas (RIBEIRO; WALTER, 2008).

A proteção, atualmente, para esse bioma é fraca, e suas áreas protegidas não chegam à metade do bioma (cerca de 7.5%), sendo importantes na conservação das espécies e na prestação de serviços ecossistêmicos (STRASSBURG et al., 2017). Entre os serviços ecossistêmicos que o Cerrado fornece estão o abastecimento e regulação da qualidade da água e regulação climática (LAHSEN et al., 2016) e isso só é possível por paisagens em bom estado de conservação.

O conhecimento das estimativas de volume e biomassa para o Cerrado ajudam a entender e planejar os impactos causados pelo homem em um mundo em mudança (ZIMBRES et al., 2020). Exemplo disso é a biomassa florestal, que é uma variável importante para quantificar o impacto de padrões regionais de desmatamento (ROITMAN et al., 2018), avalia o sequestro de carbono e a capacidade de balanço de carbono dos ecossistemas florestais (LI et al., 2020).

Nos deparamos com ausência de estudos em relação a estimativas de volume e biomassa para o bioma Cerrado e suas diferentes fisionomias, apesar de trabalhos

pontuais já realizados (REZENDE et al., 2006; RIBEIRO et al., 2011; MIGUEL et al., 2017a, 2017b; ROITMAN et al., 2018; ROQUETTE, 2018). Por compor uma extensa área, esse bioma tem um papel fundamental para que as futuras gerações possam usufruir da biodiversidade e, quando mantido em pé, apresenta a capacidade de armazenar em sua biomassa uma grande quantidade de estoque de carbono.

Nesse sentido, surgem as seguintes questões: O uso de modelos desenvolvidos localmente é mais preciso que modelos genéricos para estimativa de volume e biomassa? É possível desenvolver um único modelo para estimativa de volume e biomassa nas tipologias florestais e savânicas do bioma Cerrado? O modelo pantropical de CHAVE et al. (2014) tem validade para estimar o estoque de biomassa para as fitofisionomias florestais e savânicas do Cerrado? Para responder estas questões e desenvolver os modelos locais e genéricos, dividimos o presente trabalho em três capítulos:

**Capítulo I:** Levantamento de informações do bioma Cerrado, do sistema de classificação da vegetação, inventário florestal nacional e de modelos alométricos;

**Capítulo II:** Ajustes de modelos locais e genéricos para estimativas do volume de madeira do Cerrado para fitofisionomias florestais e savânicas;

**Capítulo III:** Ajustes de modelos alométricos para estimativas da biomassa do Cerrado para fitofisionomias florestais e savânicas através do modelo pantropical de CHAVE et al. (2014) e de modelos alométricos locais e genéricos.

## **1.2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **1.2.1 Cerrado**

O bioma Cerrado apresenta paisagem altamente heterogênea (COLLI et al., 2020), com vegetação dominante no Brasil Central, representa cerca de 25% da área total do país e compreende um mosaico de tipos de vegetação formado desde de campos, passando pela savana até as florestas (DURIGAN; RATTER, 2016). Abrange três das maiores bacias hidrográficas da América do Sul, contribuindo com 43% da água superficial do Brasil fora da Amazônia (STRASSBURG et al., 2017; LATRUBESSE et al., 2019; ). É

a savana mais biodiversa do mundo e desempenha um papel importante na produção de água dos rios amazônicos (SCHMIDT; ELOY, 2020).

Uma quantidade muito pequena de sua superfície é protegida (FRANÇOSO et al., 2015) e algumas de suas regiões estão sujeitas a ameaças, como é o caso da transição Cerrado-Amazônia, hoje conhecida como arco do desmatamento (COLLI et al., 2020) e Matopiba, que está na expansão da agricultura em áreas do Cerrado (CARNEIRO FILHO; COSTA, 2016).

As taxas de desmatamento no Cerrado são maiores que na Amazônia e ameaçam a sustentabilidade do ecossistema (FALCÃO et al., 2020). Essas mudanças no uso da terra em áreas naturais trazem consequências para o ecossistema (DURIGAN et al., 2007). Entre as ameaças, pode-se destacar a expansão da agricultura em áreas de monocultura para a produção de soja, arroz, café, trigo, milho, cana-de-açúcar e algodão (SILVA; LACHER JR, 2020).

Entre as alternativas para conter o desmatamento nesse bioma e sua conservação estão o Programa Nacional de Conservação e Uso Sustentável do Bioma Cerrado, o Plano de Prevenção e Controle de Incêndios e Desmatamentos para o Cerrado, Reserva da Biosfera do Cerrado, o Plano Estratégico de Desenvolvimento para o Centro-Oeste e corredores de biodiversidade (GANEM et al., 2013).

Os muitos serviços ecossistêmicos fornecidos por esse bioma incluem regulação climática e fornecimento de água para as regiões mais ricas e pobres do país, sendo que a estabilidade e funcionamento dos ecossistemas vizinhos dependem da integridade biológica do Cerrado (LAHSEN et al., 2016).

### **1.2.2 Sistema de classificação da vegetação**

Dentre as diversas classificações da vegetação brasileira, pode-se destacar a desenvolvida por Ribeiro e Walter, voltada para a descrição da vegetação do Cerrado, sendo uma classificação local e a referente ao Sistema Brasileiro de Geografia e Estatística, conhecida em uma escala regional (IBGE, 2012)

A classificação de Ribeiro e Walter descreve onze fitofisionomias enquadrando-se em formações florestais, savânicas e campestres, apresentando subtipos (SANO et al.,

2007). As formações florestais incluem Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão, as formações savânicas, Cerrado Sentido Restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda, enquanto as campestres são Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre (RIBEIRO; WALTER, 2001). No Cerrado, predomina a formação savânica, com menor ocorrência das formações florestais e campestres (RIBEIRO; WALTER, 1998).

A classificação do Sistema Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o levantamento da vegetação baseia-se em formações vegetais de forma hierárquica, numa visão fisionômica-ecológica das características florísticas e fitossociológico-biológicas. Essa classificação segue a metodologia do mapeamento de escalas crescentes: inicialmente a regional, passando pela exploratória, prosseguindo pela semidetalhada e terminando no detalhe, de acordo com os objetivos a serem alcançados (IBGE, 2012).

A classificação fisionômica-ecológica corresponde a uma classificação que prevê a separação por classes de formação, que correspondem às formas de vida vegetal dominantes, podendo ser florestal e não florestal. Já a classificação fitossociológica-biológica prevê a identificação das espécies botânicas, o estudo fitossociológico da comunidade e dos níveis tróficos da área de estudo (IBGE, 2012).

### **1.2.3 Inventário Florestal Nacional**

Os métodos tradicionais de avaliação do volume de madeira e biomassa com base nas medições de campo, conhecido como inventário florestal, são os mais precisos, porém demandam tempo, são caros e consomem mão de obra intensa (REIS et al., 2020). Eles fornecem informações robustas e confiáveis sobre as florestas (ALBERDI et al., 2020), são utilizados para avaliação nacional de grandes áreas de sustentabilidade e biodiversidade (MCROBERTS et al., 2012) e utilizados no gerenciamento para tomadas de decisão em atividades silviculturais (CHIRICI et al., 2020).

O principal objetivo desses levantamentos se concentram na avaliação estatística de atributos florestais (SANTI et al., 2017), como biomassa e volume (LIANG et al., 2016). Logo, os Inventários Florestais são as principais fontes de informações florestais, estão ligados à legislação nacional (VIDAL et al., 2016) e informam sobre a qualidade da madeira em um determinado país (BOSELA et al., 2016).

Os inventários podem ser classificados em nível nacional ou até mesmo internacional. A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO), publica estatísticas sobre os recursos florestais globais desde 1945 e essas estatísticas contidas na Avaliação dos Recursos Florestais (FRA) apoiam a tomada de decisão por vários organismos internacionais (KEENAN et al., 2015).

No Brasil, o Inventários Florestal Nacional (IFN) foram realizados por estado e até agora já foram concluídos os relatórios de 12 estados e o Distrito Federal. As informações coletadas, podem ser obtidas individualmente por biomas, estados, regiões e várias outras formas de segmentações que permitem comparar, o que constitui estimativas em nível nacional (SFB, 2015).

Considerando um projeto em nível nacional, a metodologia utilizada é única para a coleta dos dados o que produz estatísticas nacionais (SFB, 2019) com algumas mudanças em biomas específicos, como no Cerrado (SFB, 2015). O processo de coleta de dados consiste na distribuição sistemática das unidades amostrais (SFB, 2019) em um ciclo proposto de cinco anos e as parcelas estão divididas de 10m x 10 m.

#### **1.2.4 Modelos alométricos**

O uso de modelos matemáticos (método indireto) baseadas em dados biométricos se torna uma alternativa viável para medir biomassa e volume (TASHI et al., 2017). Os modelos são as ferramentas mais utilizadas para estimar o volume ou a biomassa a partir dos dados do inventário florestal (LIMA et al., 2017) e proporcionam a manutenção da floresta em pé.

Alometria é o estudo da relação do tamanho do corpo com a forma, fisiologia e o comportamento associados às taxas de crescimento diferencial das partes do corpo de um organismo (VAHEDI, 2016). Um modelo alométrico relaciona variáveis como o diâmetro da árvore, altura ou outros parâmetros e a biomassa seca das árvores ou volume (PETROKOFISKY et al., 2012; MBOW et al., 2014).

Esses modelos são derivadas de métodos destrutivos, porém o número de árvores que são derrubadas é relativamente pequeno para avaliar o estoque de carbono (DUNCANSON et al., 2015). São baseadas em variáveis independentes como o DAP (diâmetro a 1.3 m do solo), altura total e densidade específica (SOMOGYI et al., 2007;

CHAVE et al., 2014; ROXBURGH et al., 2015; PÉLLICO NETTO; BEHLING, 2019; ROMERO et al., 2020; VORSTER et al., 2020).

Para elaborar esses modelos, seriam necessários dados de amostragem destrutiva. Em alguns casos, por ausência de tempo, dinheiro e equipe especializada para a realização desse tipo de amostragem, são utilizados modelos genéricos ou locais. Os modelos genéricos podem ser gerados para diferentes localizações geográficas (CHAVE et al., 2005), sendo que, no Cerrado, isso é importante, pois esse bioma apresenta diferentes fitofisionomias. De acordo com alguns autores (TASHI et al., 2017; ROITMAN et al., 2018), modelos genéricos são suficientes para estimar a biomassa em áreas maiores quando se têm ausência de modelos desenvolvidos localmente.

Atualmente, são utilizados numerosos conjuntos de dados de árvores para a produção de modelos genéricos (DJOMO et al., 2010; ZENG; TANG, 2011; COLGAN et al., 2013; CHOJNACKY et al., 2014; GOODMAN et al., 2014; FALSTER et al., 2015; PAUL et al., 2016), como, por exemplo, o modelo desenvolvido por CHAVE et al. (2014), uma alternativa quando a área de estudo é desprovida de modelos locais.

O modelo pantropical, proposto por CHAVE et al. (2014), foi desenvolvido através de um banco de dados distribuído globalmente, de 53 locais de florestas não perturbadas e 5 locais de florestas secundárias, abrangendo um total de 4004 indivíduos, variando o seu diâmetro do tronco entre 5 a 212 cm. Os locais escolhidos são florestas tropicais, florestas subtropicais e formações savânicas espalhadas por diferentes regiões do mundo.

### 1.3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERDI, I.; BENDER, S.; RIEDEL, T.; AVITABLE, V.; BORIAUD, O.; BOSELA, M.; CAMIA, A.; CAÑELLAS, I.; CASTRO REGO, F.; FISCHER, C.; FREUDENSCHUß, A.; FRIDMAN, J.; GASPARINI, P.; GSCHWANTNER, T.; GUERRERO, S.; KJARTANSSON, B.T.; KUCERA, M.; LANZI, A.; MARIN, G.; MUBAREKA, S.; NOTARANGELO, M.; NUNES, L.; PESTY, B.; PIKULA, T.; REDMOND, J.; RIZZO, M.; SEBEN, V.; SNORRASON, A.; TOMTER, S.; HERNÁNDEZ, L. Assessing forest availability for wood supply in Europe. **Forest Policy and Economics**, v. 111, p. 1–14, 2020.

BOCCHIGLIERI, A.; MENDONÇA, A. F.; HENRIQUES, R. P. B. Composição e diversidade de mamíferos de médio e grande porte no Cerrado do Brasil central. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 3, p. 169–176, 2010.

BOSELA, M.; REDMOND, J.; KUČERA, M.; MARIN, G.; ADOLT, R.; GSCHWANTNER, T.; PETRÁŠ, R.; KORHONEN, K.; KULIEŠIS, A.; KULBOKAS, T.; FISCHER, C.; LANZ, A. Stem quality assessment in European National Forest Inventories: an opportunity for harmonised reporting? **Annals of Forest Science**, v. 73, n. 3, p. 635–648, 2016.

CARNEIRO FILHO, A.; COSTA, K. The expansion of soybean production in the Cerrado: Paths to sustainable territorial occupation, land use and production. São Paulo, SP: **AGROICONE, INPUT**, p. 28, 2016.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87–99, 2005.

CHAVE, J.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; BÚRQUEZ, A.; CHIDUMAYO, E.; COLGAN, M. S.; DELITTI, W.; DUQUE, A.; EID, T.; FEARNSIDE, P. M.; GOODMAN, R. C.; HENRY, M.; MARTÍNEZ-YRÍZAR, A.; MUGASHA, W. A.; MULLER-LANDAU, H. C.; MENCUCCINI, M.; NELSON, B. W.; NGOMANDA, A.; NOGUEIRA, E. M.;



ORTIZ-MALAVASSI, E.; PÉLISSIER, R.; PLOTON, P.; RYAN, C. M.; SALDARRIAGA, J. G.; VIEILLEDENT, G. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, 2014.

CHIRICI, G.; GIANNETTI, F.; MCROBERTS, R. E.; TRAVAGLINI, D.; PECCHI, M.; MASELLI, F.; CHIESI, M.; CORONA, P. Wall-to-wall spatial prediction of growing stock volume based on Italian National Forest Inventory plots and remotely sensed data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 84, p. 101959, 2020.

CHOJNACKY, D. C.; HEATH, L. S.; JENKINS, J. C. Updated generalized biomass equations for North American tree species. **Forestry**, v. 87, n. 1, p. 129–151, 2014.

COLGAN, M. S.; ASNER, G. P.; SWEMMER, T. Harvesting tree biomass at the stand level to assess the accuracy of field and airborne biomass estimation in savannas. **Ecological Applications**, v. 23, n. 5, p. 1170–1184, 2013.

COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1465–1475, 2020.

DJOMO, A. N.; IBRAHIMA, A.; SABOROWSKI, J.; GRAVENHORST, G. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 10, p. 1873–1885, 2010.

DUNCANSON, L.; ROURKE, O.; DUBAYAH, R. Small sample sizes yield biased allometric equations in temperate forests. **Scientific Reports**, v. 5, p. 17153, 2015.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11–15, 2016.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F.DE.; FRANCO, G. A. D. C. Threats to the Cerrado

remnants of the state of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 4, p. 355–363, 2007.

FALCÃO, K. D. S.; PANACHUKI, E.; MONTEIRO, F. D. N.; DA SILVA MENEZES, R.; RODRIGUES, D. B.; SONE, J. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Surface runoff and soil erosion in a natural regeneration area of the Brazilian Cerrado. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 8, p. 124–130, 2020.

FALSTER, D. S.; DUURSMA, R. A.; ISHIHARA, M. I.; BARNECHE, D. R.; FITZJOHN, R. G.; VÅRHAMMAR, A.; AIBA, M.; ANDO, M.; ANTEN, N.; ASPINWALL, M. J.; BALTZER, J. L.; BARALOTO, C.; BATTAGLIA, M.; BATTLES, J. J.; LAMBERTY, B. B.; VAN BREUGEL, M.; CAMAC, J.; CLAVEAU, Y.; COLL, L.; DANNOURA, M.; DELAGRANGE, S.; DOMEQ, J. C.; FATEMI, F.; FENG, W.; GARGAGLIONE, V.; GOTO, Y.; HAGIHARA, A.; HALL, J. S. HAMILTON, S.; HARJA, D.; HIURA, T.; HOLDAWAY, R.; HUTLEY, L. B.; ICHIE, T.; JOKELA, E. J.; KANTOLA, A.; KELLY, J. W.G.; KENZO, T.; KING, D.; KLOEPEL, B. D.; KOHYAMA, T.; KOMIYAMA, A.; LACLAU, J. P.; LUSK, C. H.; MAGUIRE, D. A.; LE MAIRE, G.; MÄKELÄ, A.; MARKESTEIJN, L.; MARSHALL, J.; MCCULLOH, K.; MIYATA, I.; MOKANY, K.; MORI, S.; MYSTER, R. W.; NAGANO, M.; NAIDU, S. L.; NOUVELLON, Y.; O'GRADY, A.P.; O'HARA, K. L.; OHTSUKA, T.; OSADA, N.; OSUNKOYA, O. O.; PERI, P. L.; PETRITAN, A. M.; POORTER, L.; PORTSMUTH, A.; POTVIN, C.; RANSIJN, J.; REID, D.; RIBEIRO, S. C.; ROBERTS, S. D.; RODRÍGUEZ, R.; ACOSTA, A. S.; SANTA-R, I.; SASA, K.; SELAYA, N. G.; SILLETT, S. C.; STERCK, FRANK.; TAKAGI, K.; TANGE, T.; TANOUCHE, H.; TISSUE, D.; UMEHARA, T.; UTSUGI, H.; VADEBONCOEUR, M. A.; VALLADARES, F.; VANNINEN, P.; WANG, J. R.; WENK, E.; WILLIAMS, R.; AQUINO XIMENES, F. DE; YAMABA, A.; YAMADA, T.; YAMAKURA, T.; YANAI, R. D.; YORK, R. A. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants. **Ecology**, v. 96, n. 5, p. 1445, 2015.

FRANÇOZO, R. D.; BRANDÃO, R.; NOGUEIRA, C. C.; SALMONA, Y. B.; MACHADO, R. B.; COLLI, G. R. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado biodiversity hotspot. **Natureza e Conservação**, v. 13, n. 1, p. 35–40, 2015.

GANEM, R. S.; DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. D. A. Conservation polices and control of habitat fragmentation in the Brazilian Cerrado biome. **Ambiente e Sociedade**, v. 16, n. 3, p. 99–118, 2013.

GOODMAN, R. C.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. **Ecological Applications**, v. 24, n. 4, p. 680–698, 2014.

IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos**. Rio de Janeiro: IBGE- Diretoria de Geociências, p. 271, 2012.

KEENAN, R. J.; REAMS, G. A.; ACHARD, F.; DE FREITAS, J. V.; GRAINGER, A.; LINDQUIST, E. Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 9–20, 2015.

LAHSEN, M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; DALLA-NORA, E. L. Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 58, n. 6, p. 4–15, 2016.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M. E.; NOGUEIRA, S. H.; WITTMANN, F.; DIAS, M. S.; DAGOSTA, F. C. P.; BAYER, M. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, p. 1–8, 2019.

LENZA, E.; SANTOS, J. O.; MARACAHIPES-SANTOS, L. Species composition, diversity, and vegetation structure in a gallery forest-cerrado sensu stricto transition zone in eastern Mato Grosso, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n. 3, p. 327–338, 2015.

LI, Y.; LI, M.; LI, C.; LIU, Z. Forest aboveground biomass estimation using Landsat 8 and Sentinel-1A data with machine learning algorithms. **Scientific Reports**, v. 10, n.1, p. 1–12, 2020.

LIANG, X.; KANKARE, V.; HYYPPÄ, J.; WANG, Y.; KUKKO, A.; HAGGRÉN, H.; YU, X.; KAARTINEN, H.; JAAKKOLA, A.; GUAN, F.; HOLOPAINEN, M.; VASTARANTA, M. Terrestrial laser scanning in forest inventories. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 115, p. 63–77, 2016.

LIMA, R. B. DE.; ALVES JÚNIOR, F. T.; OLIVEIRA, C. P. DE; DA SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Predicting of biomass in Brazilian tropical dry forest: A statistical evaluation of generic equations. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 3, p. 1815–1828, 2017.

MBOW, C.; VERSTRAETE, M. M.; SAMBOU, B.; DIAW, A. T.; NEUFELDT, H. Allometric models for aboveground biomass in dry savanna trees of the Sudan and Sudan-Guinean ecosystems of Southern Senegal. **Journal of Forest Research**, v. 19, n. 3, p. 340–347, 2014.

MCROBERTS, R. E.; TOMPPA, E.; SCHADAUER, K.; STÅHL, G. Harmonizing national forest inventories. **Forest Science**, v. 58, n. 3, p. 189–190, 2012.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; ENCINAS, J. M. I.; MIRANDA, J. F. N. Floristic, structural, and allometric equations to estimate arboreal volume and biomass in a cerradão site. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1691–1702, 2017a.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S.; DE AZEVEDO, G. B.; MOTA, F. C. M.; SOUZA, Á. N. DE.; JOAQUIM, M. S. Modeling and prediction of volume and aerial biomass of the tree vegetation in a Cerradão Area of Central Brazil. **Interciência**, v. 42, n. 1, p. 21–27, 2017b.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 527–538, 2011.

PAUL, K. I.; ROXBURGH, S. H.; CHAVE, J.; ENGLAND, J. R.; ZERIHUN, A.; SPECHT, A.; LEWIS, T.; BENNETT, L. T.; BAKER, T. G.; ADAMS, M. A.; HUXTABLE, D.; MONTAGU, K. D.; FALSTER, D. S.; FELLER, M.; SOCHACKI, S.; RITSON, P.; BASTIN, G.; BARTLE, J.; WILDY, D.; HOBBS, T.; LARMOUR, J.; WATERWORTH, R.; STEWART, H. T.L.; JONSON, J.; FORRESTER, D. I.; APPLGATE, G.; MENDHAM, D.; BRADFORD, M.; O'GRADY, A.; GREEN, D.; SUDMEYER, R.; RANCE, S. J.; TURNER, J.; BARTON, C.; WENK, E. H.; GROVE, T.; ATTIWILL, P.M.; PINKARD, E.; BUTLER, D.; BROOKSBANK, K.; SPENCER, B.; SNOWDON, P.; O'BRIEN, N.; BATTAGLIA, M.; CAMERON, D. M.;

HAMILTON, S.; MCAUTHUR, G.; SINCLAIR, J. Testing the generality of above-ground biomass allometry across plant functional types at the continent scale. **Global Change Biology**, v. 22, n. 6, p. 2106–2124, 2016.

PÉLLICO NETTO, S.; BEHLING, A. **Additivity of tree biomass components using ratio estimate**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 91, n. 3, 2019.

PETROKOFISKY, G.; KANAMARU, H.; ACHARD, F.; GOETZ, S. J.; JOOSTEN, H.; HOLMGREN, P.; LEHTONEN, A.; MENTON, M.C.S.; PULLIN, A.S.; WATTENBACH, M. Comparison of methods for measuring and assessing carbon stocks and carbon stock changes in terrestrial carbon pools. How do the accuracy and precision of current methods compare? A systematic review protocol. **Environmental Evidence**, v. 1, n. 6, p. 1–21, 2012.

REIS, A. A.DOS.; SOUZA DINIZ, J. M. F.DE.; ACERBI, JÚNIOR, F. W .; MELLO, J. M.DE.; BATISTA, A. P. B.; FILHO, A. C. F. Modeling the spatial distribution of wood volume in a Cerrado Stricto Sensu remnant in Minas Gerais state , Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, 2020.

REZENDE, A. V.; VALE, A. DO.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, n.2, p. 65–76, 2006.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.DE. (Eds.). **Cerrado** : ambiente e flora. Embrapa, Planaltina, p.89-166, 1998.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As matas de galeria no contexto do bioma Cerrado. In: RIBEIRO, J.F; FONSECA, C.E.L.; SOUZA-SILVA, J.C. (Eds.). **Cerrado**: caracterização e recuperação de Matas de Galeria. Embrapa, Planaltina, p. 29-47, 2001.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, T. M. B. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P.DE.; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado**: Ecologia e Flora. Brasília: EMBRAPA Informações Tecnológica; Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 152–212, 2008.

RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN,

- C.; OLIVEIRA GASPAR, R.DE. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, 2011.
- RITTER, L. M. O.; RIBEIRO, M. C.; MORO, R. S. Composição florística e fitofisionomia de remanescentes disjuntos de Cerrado nos Campos Gerais, PR, Brasil - limite austral do bioma. **Biota Neotropica**, v. 10, n. 3, p. 379–414, 2010.
- ROITMAN, I.; BUSTAMANTE, M. M.; HAIDAR, R. F.; SHIMBO, J. Z.; ABDALA, G. C.; EITEN, G.; FAGG, C.W.; FELFILI, M.C.; FELFILI, J.M.; JACOBSON, T.K.B.; LINDOSO, G.S.; KELLER, M.; LENZA, E.; MIRANDA, S.C.; PINTO, J.R.R.; RODRIGUES, A.A.; DELITTI, W.B.C.; ROITMAN, P.; SAMPAIO, J.M. Optimizing biomass estimates of savanna woodland at different spatial scales in the Brazilian Cerrado: Re-evaluating allometric equations and environmental influences. **Plos One**, v. 13, n. 8, p. e0196742, 2018.
- ROMERO, F. M. B.; JACOVINE, L. A. G.; RIBEIRO, S. C.; TORRES, C. M. M. E.; SILVA, L. F. D.; GASPAR, R. D. O.; ROCHA, S.J.S.S.DA.; STAUDHAMMER, C.L.; FEARNSSIDE, P. M. Allometric equations for volume, biomass, and carbon in commercial stems harvested in a managed forest in the southwestern amazon: A case study. **Forests**, v. 11, n. 8, p. 874, 2020.
- ROQUETTE, J. G. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1350–1363, 2018.
- ROXBURGH, S. H.; PAUL, K. I.; CLIFFORD, D.; ENGLAND, J. R.; RAISON, R. J. Guidelines for constructing allometric models for the prediction of woody biomass: How many individuals to harvest? **Ecosphere**, v. 6, n. 3, p. 1–27, 2015.
- SANO, E. E. Environment-friendly land use of the Cerrado. In: **Development for Sustainable Agriculture**, Palgrave Macmillan, London, p. 197–219, 2016.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados. **Embrapa Cerrados - Documentos (INFOTECA-E)**, 2007.
- SANTI, E.; PALOSCIA, S.; PETTINATO, S.; FONTANELLI, G.; MURA, M.; ZOLLI, C.; MASELLI, F.; CHIESI, M.; BOTTAI, L.; CHIRICI, G. The potential of multifrequency SAR images for estimating forest biomass in Mediterranean areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 200, p. 63–73, 2017.

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora**, p. 151613, 2020.

SFB. Manual de campo: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais. Anexo 1, Procedimentos específicos para o bioma Cerrado. **Serviço Florestal Brasileiro**, p. 10, 2015.

SFB. Manual de campo: procedimentos para coleta de dados biofísicos e socioambientais. **Serviço Florestal Brasileiro**, p. 90, 2019.

SILVA, J. F.; FARIÑAS, M. R.; FELFILI, J. M.; KLINK, C. A. Spatial heterogeneity, land use and conservation in the cerrado region of Brazil. **Journal of Biogeography**, v. 33, n. 3, p. 536–548, 2006.

SILVA, J. M. C. DA.; LACHER JR, T. E. Cerrado—South America. **Encyclopedia of the World's Biomes**, p. 546-553, 2020.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, R.; MUUKKONEN, P.; LEHTONEN, A.; WEISS, P. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. **European Journal of Forest Research**, v. 126, n. 2, p. 197–207, 2007.

STRASSBURG, B. B.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A.E.; OLIVEIRA FILHO, F.J.B.; SCARAMUZZA, C.A.DE.M.; SCARANO, F.R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017.

TASHI, S.; KEITEL, C.; SINGH, B.; ADAMS, M. Allometric equations for biomass and carbon stocks of forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 90, n. 3, p. 445–454, 2017.

VAHEDI, A. A. Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. **Biomass and Bioenergy**, v. 88, p. 66–76, 2016.

VIDAL, C.; ALBERDI, I.; REDMOND, J.; VESTMAN, M.; LANZ, A.; SCHADAUER, K. The role of European National Forest Inventories for international forestry reporting. **Annals of Forest Science**, v. 73, n. 4, p. 793–806, 2016.

VORSTER, A. G.; EVANGELISTA, P. H.; STOVALL, A. E.; EX, S. Variability and uncertainty in forest biomass estimates from the tree to landscape scale: The role of allometric equations. **Carbon Balance and Management**, v. 15, n. 8, p. 1–20, 2020.

ZENG, W. S.; TANG, S. Z. A new general allometric biomass model. **Nature Precedings**, p. 1–12, 2011.

ZIMBRES, B.; SHIMBO, J.; BUSTAMANTE, M.; LEVICK, S.; MIRANDA, S.; ROITMAN, I.; SILVÉRIO, D.; GOMES, L.; FAGG,C.; ALENCAR, A. Savanna vegetation structure in the Brazilian Cerrado allows for the accurate estimation of aboveground biomass using terrestrial laser scanning. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117798, 2020.



## 2. MODELOS PARA ESTIMATIVA DO VOLUME DE MADEIRA EM FITOFISIONOMIAS FLORESTAIS E SAVÂNICA DO BIOMA CERRADO

### 2.1 RESUMO

O Cerrado possui uma variabilidade de plantas e vertebrados, sendo um importante bioma para a conservação das espécies e de prestação de serviços ecossistêmicos. Equações de volume nesse bioma são escassas, devido ao tamanho e à diversidade fisionômica. Nesse contexto, o estudo foi realizado para desenvolver modelos volumétricos específicos para fitofisionomias (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão e Cerrado *sensu stricto*), modelo genérico e um modelo para formação florestal do Cerrado. Foram lançadas doze parcelas de 10m x 10m (100m<sup>2</sup>) (Inventário Florestal Nacional) para cada uma das fitofisionomias em diferentes sítios (regiões) no Distrito Federal-DF, na qual todas as árvores com diâmetro na altura do peito (DAP a 1.30 m  $\geq$  5cm) nas formações florestais, diâmetro na altura da base (Db a 0.30 m  $\geq$  5cm) na formação savânica, tiveram seus diâmetros e alturas mensurados e posteriormente cortadas e cubicadas e o volume de cada árvore foi obtido segundo a metodologia de Smalian. Foram ajustados modelos lineares e não lineares. Os critérios para a seleção dos modelos foram elaborados através do coeficiente de correlação, erro padrão da estimativa e análise gráfica dos resíduos e posteriormente validados pelo teste qui-quadrado. Os resultados dos modelos indicam que o ajuste por fitofisionomia específica é o ideal, todavia, o modelo genérico e o de formação florestal desenvolvidos, alcançaram estimativas aceitáveis, as quais podem ser utilizadas para estudos em escalas maiores e devem contribuir para melhoria das estimativas do volume no bioma Cerrado. Para uma melhor compreensão das estimativas de volume nesse bioma, são necessários mais estudos que desenvolvam modelos volumétricos para as diferentes fitofisionomias do Cerrado e alcancem as formações campestres.

**Palavras-chave:** Bioma Cerrado, Inventário Florestal, Mata Seca, Mata de Galeria, Cerradão, Cerrado.

## 2.2 ABSTRACT

The Cerrado has a variety of plants and vertebrates, being an important biome for the conservation of species and the provision of ecosystem services. Volume equations in this biome are scarce, due to its extent and physiognomic diversity. In this context, the study was carried out to develop specific volumetric models for phytophysiognomies (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão and Cerrado *sensu stricto*), a generic model, and a model for Cerrado forest formations only. Twelve plots of 10m x 10m (100m<sup>2</sup>) (National Forest Inventory) were launched for each of the phytophysiognomies in different sites in the Federal District-DF, in which all trees with a diameter at breast height (DBH at 1.30 m  $\geq$  5cm) in forest formations, diameter at base height (Db at 0.30 m  $\geq$  5cm) in savanna formation, had their diameters and heights measured and then cut and rigorously scaled by Smalian method. Linear and non-linear models were adjusted. The criteria for the selection of the models were the correlation coefficient, standard error of the estimate and graphical analysis of the residues. The selected model was later validated by the chi-square test. The results of the models indicate that the fit by specific phytophysiognomy is ideal, however, the generic models and the adjusted forest formation models have reached acceptable estimates, which can be used for studies on larger scales and should contribute on improving the estimates of the volume in the Cerrado biome. For a better understanding of the volume estimates in this biome, further studies are needed to develop volumetric models for the different vegetation types in the Cerrado including non-wood formations such as grasslands.

**Key words:** Cerrado Biome, Forest Inventory, Dry Forest, Gallery Forest, Cerradão, Cerrado.

## 2.3 INTRODUÇÃO

A savana brasileira, mais conhecida como Cerrado, é considerado o segundo maior bioma da América Latina (SANO et al., 2019). Apresenta uma variabilidade de plantas e vertebrados não encontrados em nenhum outro lugar, sendo um importante bioma para a conservação das espécies, prestador de serviços ecossistêmicos (STRASSBURG et al., 2017) e com paisagens altamente heterogêneas (SANO et al., 2019).

Uma das principais causas da perda de cobertura vegetal do Cerrado são agricultura e pecuária, resultando na fragmentação da paisagem e degradação da vegetação nativa (MARANHÃO et al., 2017; GUERRA et al., 2020;). Estas perturbações humanas são negligenciadas nas políticas públicas de conservação (OVERBECK et al., 2015) e causam impactos na estrutura, composição florística, dinâmica da vegetação (AZEVEDO et al., 2020) e contribuem para as recentes mudanças climáticas que ocorrem em todo o mundo (HIDASI-NETO et al., 2019).

Considerando os impactos no Cerrado, reconhecer o potencial volumétrico deste bioma é de extrema importância, pois permitirá compor planos de manejo, visando à produção, conservação e preservação do mesmo (RUFINI et al., 2010). Estudos que procuram estimar o volume para as áreas de Cerrado são escassos (IMAÑA-ENCINAS et al., 2009; MIGUEL et al., 2015; REIS et al., 2020;), devido à estrutura heterogênea da vegetação como forma do tronco, copa dos indivíduos (REZENDE et al., 2006) e variabilidade ambiental (ROITMAN et al., 2018).

A falta de modelos volumétricos para florestas nativas, representa uma lacuna no conhecimento sobre os estoques de volume nas áreas de florestas naturais (VIBRANS et al., 2015; CYSNEIROS et al., 2020). A predição do volume está relacionada a variáveis independentes coletadas em campo, como o diâmetro na altura do peito e altura total da árvore (PICARD et al., 2012; MUGASHA et al., 2016; SILVEIRA et al., 2019) através de equações.

A abordagem normalmente depende de equações, que é uma ferramenta para estimar o volume a partir dos dados de inventários florestais (ROJAS-GARCÍA et al., 2015; LEVICK et al., 2016). Elas podem ser desenvolvidas localmente e são mais bem

ajustadas às espécies locais (VORSTER et al., 2020) ou através de equações generalizadas aplicando múltiplas espécies de árvores (CHAVE et al., 2005).

Nesse contexto, os inventários florestais nacionais são essenciais para as predições de volume (GSCHWANTNER et al., 2019) e exercem um papel importante no ciclo global do carbono (REZENDE et al., 2006), no planejamento e avaliação do volume em áreas submetidas ao manejo florestal (LIMA et al., 2020), em programas de gestão sustentável (OLIVEIRA et al., 2018) e na compreensão das mudanças de cobertura vegetal (BUSTAMANTE et al., 2012).

Diante do exposto, pretendemos preencher algumas das lacunas do conhecimento em estudos de equações volumétricas específicas e genéricas no Cerrado. Os objetivos deste estudo foram:

- Desenvolver equações locais para estimativa de volume total em fitofisionomias de Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão e Cerrado *sensu stricto* do bioma Cerrado;
- Desenvolver uma equação genérica de volume para o conjunto de dados totais do Cerrado;
- Desenvolver uma equação de volume para o conjunto de formação florestal (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão);
- Avaliar se o ajuste por fitofisionomia específica é o ideal, quando comparado com modelos genéricos no Cerrado.

## **2.4 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.4.1 Localização e caracterização da área de estudo**

Conduzimos o estudo no Distrito Federal, região central do Brasil, para fitofisionomias florestais (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) e savânica (Cerrado *sensu stricto*) do bioma Cerrado (Tabela 1). De acordo com a plataforma MapBiomas (<https://mapbiomas.org/estatisticas>), o Cerrado em 2019, alcançou uma área de 14.7% para formações florestais e 30.2% para formações savânicas.

Tabela 1 - Síntese da legenda do mapeamento da vegetação para o Bioma Cerrado de acordo com a classificação do IBGE.

Região fitoecológica	Símbolo
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	Aa
Floresta Ombrófila Aberta Submontana	As
Floresta Estacional Decidual Terras baixas	Cb
Floresta Estacional Decidual Montana	Cm
Floresta Estacional Decidual Submontana	Cs
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	Da
Floresta Ombrófila Densa Submontana	Ds
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	Fa
Floresta Estacional Semidecidual Terras baixas	Fb
Floresta Estacional Semidecidual Montana	Fm
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Fs
Floresta Ombrófila Mista Montana	Mn
Outros	Outros
Formações Pioneiras Com Influência Fluviomarinha	Pf
Formações Pioneiras Com Influência Marinha	Pm
Savana Arborizada Com Floresta de Galeria	Saf
Savana Arborizada Sem Floresta de Galeria	Sas
Savana Florestada	Sd
Savana Parque Com Floresta de Galeria	Spf
Savana Parque Sem Floresta de Galeria	Sps
Savana Estépica Arborizada Com Floresta de Galeria	Taf
Savana Estépica Arborizada Sem Floresta de Galeria	Tas
Savana Estépica Florestada	Td
Savana Estépica Parque Com Floresta de Galeria	Tpf
Savana Estépica Parque Sem Floresta de Galeria	Tps
Vegetação Secundária	Vs

O Cerrado apresenta um clima tropical com duas estações bem definidas: a chuvosa, de outubro a março, e a seca, de abril a setembro. A precipitação média anual é

de 1.500 mm e as temperaturas variam entre 22° C e 27°C em média (KLINK; MACHADO, 2005).

Esse bioma compartilha transições com outros domínios brasileiros, como Floresta Amazônica, Caatinga, Pantanal e Mata de Galeria (BUSTAMANTE et al., 2012; MARQUES et al., 2020). A classificação da vegetação utilizada neste estudo para a construção da Figura 1 foi baseada no banco de dados do IBGE.

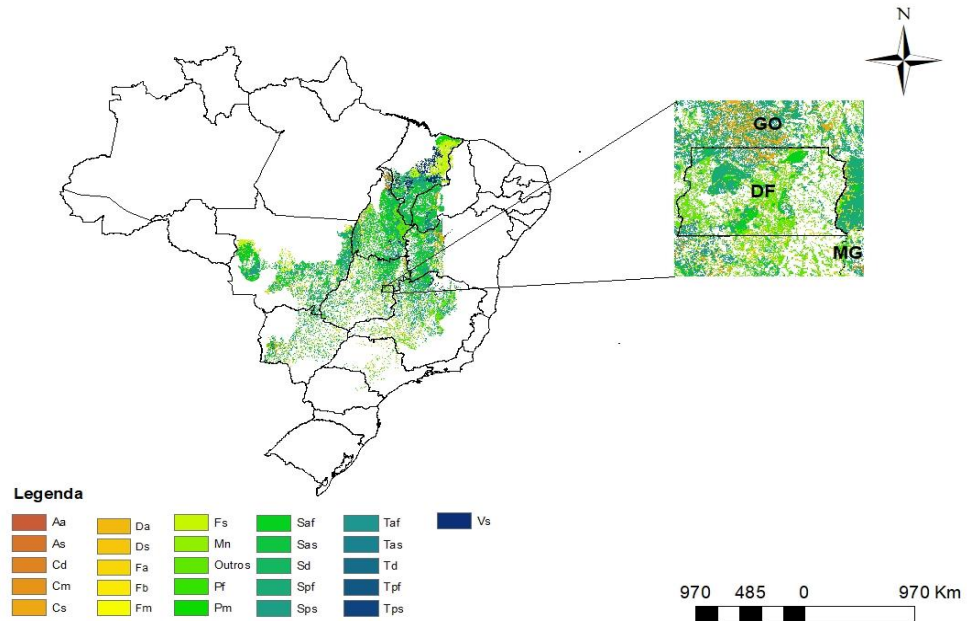


Figura 1 - Classificação da vegetação do Cerrado.

## 2.4.2 Inventário Florestal

O inventário florestal realizado na área de estudo seguiu o processo de amostragem aleatório, com doze parcelas de 10m x 10m (100 m<sup>2</sup>) em quatro diferentes sítios (regiões) envolvendo as diferentes tipologias florestais e savânicas do Cerrado. Nas parcelas, foram amostradas todas as árvores que apresentaram diâmetro a 1.3 m do solo (DAP) igual ou superior a 5 cm para formações florestais e altura da base a 0.30 m do solo (Db) igual ou superior a 5 cm para formação savânica.

Posteriormente, as árvores de cada parcela foram cortadas, suas alturas totais medidas, sequencialmente cubadas e o volume de cada indivíduo foi obtido.

### 2.4.3 Determinação do volume

A determinação do volume total foi realizada mediante a cubagem rigorosa, na qual o fuste de cada indivíduo foi mensurado em seções de comprimento variável e utilizando a fórmula de Smalian (MACHADO; FIGUEIREDO FILHO, 2006) que é dada por:

$$V = \frac{AS1 + AS2}{2} \cdot L$$

Em que:

V= Volume da seção (m<sup>3</sup>);

AS1 e AS2= São as áreas seccionais obtidas nas extremidades de cada seção (m<sup>2</sup>);

L= Comprimento da seção (m).

O volume total da árvore foi obtido com a soma dos volumes de cada seção.

### 2.4.4 Base de dados

Foram utilizados dados de amostragem destrutiva, coletados do Inventário Florestal Nacional, distribuídos em formações florestais e savânicas, com pontos amostrais aleatórios. Todas as árvores mensuradas no inventário, com DAP (diâmetro a 1.30 m do solo)  $\geq 5$  cm e Db (diâmetro a 0.30 m do solo)  $\geq 5$  cm foram utilizadas.

Nosso conjunto de dados estão distribuídos entre formações florestais (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) e formação savânica (Cerrado *sensu stricto*) (Tabela 2).

Tabela 2 - Informações da base de dados utilizada em cada fitofisionomia.

Tipologia	Quant. de árvores	D médio	D mín	D máx	H médio	H mín	H máx	Quant. de espécies
Mata de Galeria	50	13,75	5,57	37,36	10,27	3,45	15,20	17
Mata Seca	58	10,94	5,00	39,00	7,04	3,19	15,70	35
Cerradão	80	12,52	5,30	49,00	10,26	3,80	24,50	34
Cerrado <i>sensu stricto</i>	192	11,28	5,00	32,30	3,88	1,00	11,10	44

Quant. de árvores = quantidade de árvores amostradas em cada fitofisionomia; D médio = diâmetro médio (cm); D mín = diâmetro mínimo (cm); D máx = diâmetro máximo (cm); H médio = altura média (m); H mín = altura mínima (m); H máx = altura máxima (m); Quant. de espécies = quantidade de espécies em cada fitofisionomia.

Para análise da exclusividade das espécies entre as fitofisionomias (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão, Cerrado *sensu stricto*) foi confeccionado o diagrama de Venn utilizando o InteractiVenn (HEBERLE et al., 2015). Esse diagrama é utilizado para visualizar as interações entre os vários conjuntos de dados (LAM et al., 2016) com base na presença e ausência das espécies.

#### 2.4.5 Ajuste dos modelos volumétricos

Todos os dados passaram por uma análise preliminar para garantir a distribuição normal por meio do teste de Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0.05$ ) e remoção dos outliers, quando detectados pelo Teste Q de Dixon. Foram testados, combinados, adaptados e desenvolvidos um conjunto de modelos específicos para cada fitofisionomia, modelo genérico e modelo de formação florestal. Selecionamos os seis modelos que apresentaram melhor desempenho (Tabela 3) para estimativa de volume referentes à Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão, Cerrado *sensu stricto*, para o conjunto de dados genéricos (dados que compreende todas as fitofisionomias) e o conjunto de formação florestal que correspondem as três fitofisionomias do Cerrado (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão).



Tabela 3 - Modelos volumétricos ajustados para estimativa do volume total para formações Florestal e Savânica.

Modelos		Famílias
$Y = \beta_0 \cdot \sqrt{DAP^2 \cdot HT^2}^{\beta_1} + \varepsilon$	(1)	Não-linear
$Y = DAP^2 \cdot \frac{HT}{\beta_0 + \beta_1} + \varepsilon$	(2)	Não-linear
$Y = \frac{DAP^2 \cdot HT^{\beta_0}}{\beta_1 + \beta_2 \cdot DAP^2 + \beta_3 \cdot HT} + \varepsilon$	(3)	Não-linear
$Y = \beta_0 \cdot DAP^{\beta_1} \cdot HT^{\beta_2} + \varepsilon$	(4)	Não-linear
$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot DAP^2 \cdot HT + \varepsilon$	(5)	Linear
$Y = \frac{\beta_0 \cdot \beta_1 + \beta_2 \cdot X^{\beta_3}}{\beta_1 + X^{\beta_3}}$	(6)	Não-linear

Y= volume estimado (m<sup>3</sup>); DAP = diâmetro a 1.30 m do solo para formações florestais (cm); Db = diâmetro a 0.30 m do solo para formações savânicas (cm); HT = altura total da árvore (m);  $\beta$  = coeficientes a serem ajustados;  $x = DAP^3 \cdot HT$ ;  $\varepsilon$  = erro associado ao modelo.

A predição do volume foi realizada utilizando variáveis dendrométricas independentes: DAP (diâmetro a 1.3 m do solo para formações florestais), Db (diâmetro a 0.30 m do solo para formações savânicas) e HT (altura total da árvore). Essas variáveis estão relacionadas à predição do volume, pois, quando combinadas, proporcionam melhores ajustes (MORAIS et al., 2014).

Parte das árvores cubadas (80%) foram usadas para realizar os ajustes e, conseqüentemente, 20% foram designados aleatoriamente para realização da validação dos modelos, mediante o teste qui-quadrado.

Os ajustes dos modelos lineares e não-lineares foram realizados utilizando o *Software* Statistica 7.0. O modelo de regressão linear foi ajustado pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e os modelos não-lineares, utilizando o método de Levenberg-Marquardt (LM) (LEVENBERG, 1944; MARQUARDT, 1963). O programa CurveExpert 1.4 também foi utilizado para o ajuste do modelo sigmoidal.

#### 2.4.6 Critérios de seleção dos ajustes dos modelos

As escolhas dos melhores modelos para a estimativa de volume se basearam-se nos critérios de ajuste e seleção segundo (DRAPER; SMITH, 1981): coeficiente de correlação ( $r$ ), erro padrão da estimativa em percentual ( $S_{yx}\%$ ), verificação da homoscedasticidade e normalidade através da análise gráfica dos resíduos. Foram utilizados, também, o gráfico de observados versus preditos (PIÑEIRO et al., 2008) e o histograma de frequência em classes de erros relativos (CAMPOS; LEITE, 2017) para selecionar o melhor modelo.

#### 2.4.7 Validação dos modelos ajustados

Após a seleção do modelo, o mesmo foi submetido a um teste de validação, com o objetivo de avaliar a eficiência do modelo selecionado. Para o mencionado teste foram utilizados 20% do total do número de indivíduos para cada fitofisionomia. O teste escolhido para validação dos resultados foi o teste qui-quadrado.

As premissas de normalidade dos resíduos nos 20% de indivíduos utilizados para validação não foram atendidas, assim, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ) para verificar diferenças estatísticas entre o modelo genérico, modelo de formação florestal e os modelos específicos.

Foi realizado também um teste de acuracidade, utilizando o método da diferença agregada (MIGUEL et al., 2015) que indica a existência de tendenciosidades. Esse teste foi aplicado para os modelos específicos, genérico e de formação florestal frente ao valor real do volume total. O método da diferença agregada é calculado da seguinte forma:

$$DA = \frac{\Sigma Y_{obs} - \Sigma Y_{est}}{\Sigma Y_{obs}} \cdot 100$$

Em que:

DA= diferença agregada em percentagem;

$\Sigma Y_{obs}$  = somatório dos valores do volume real ( $m^3$ );

$\Sigma Y_{est}$  = somatório dos valores do volume estimado pelo modelo ( $m^3$ ).

## 2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.5.1 Exclusividade das espécies

Através do diagrama de Veen (Figura 2) permitiu observar que existem espécies exclusivas, ou seja, ocorrem apenas em uma fitofisionomia e quais fitofisionomias aproximam mais uma das outras. Quanto às espécies exclusivas, 14 foram identificadas em Mata de Galeria, 28 em Mata Seca, 25 em Cerradão e 37 em Cerrado *sensu stricto*. *Byrsonima pachyphylla* A.Juss. e *Tachigali vulgaris* L.G.Silva & H.C.Lima foram as espécies comuns em três fitofisionomias. Mata de Galeria e o Cerrado *sensu stricto* não apresentaram compartilhamento de espécies, possivelmente devido a diferenças em seus ambientes.

Assim, a utilização de modelos específicos influencia na estimativa de volume, já que a maioria das espécies são exclusivas nas diferentes tipologias do Cerrado e nenhuma espécie foi comum às quatro tipologias estudadas.

Uma vez que há diferenças estruturais significativas entre fitofisionomias, indicando que indivíduos com tipos de vegetação mais densa investem mais em crescimento ascendente do que em diâmetro (SANTOS et al., 2015), a utilização de modelos genéricos podem não relacionar essa variação e superestimar ou subestimar o volume nas diferentes fitofisionomias do Cerrado.

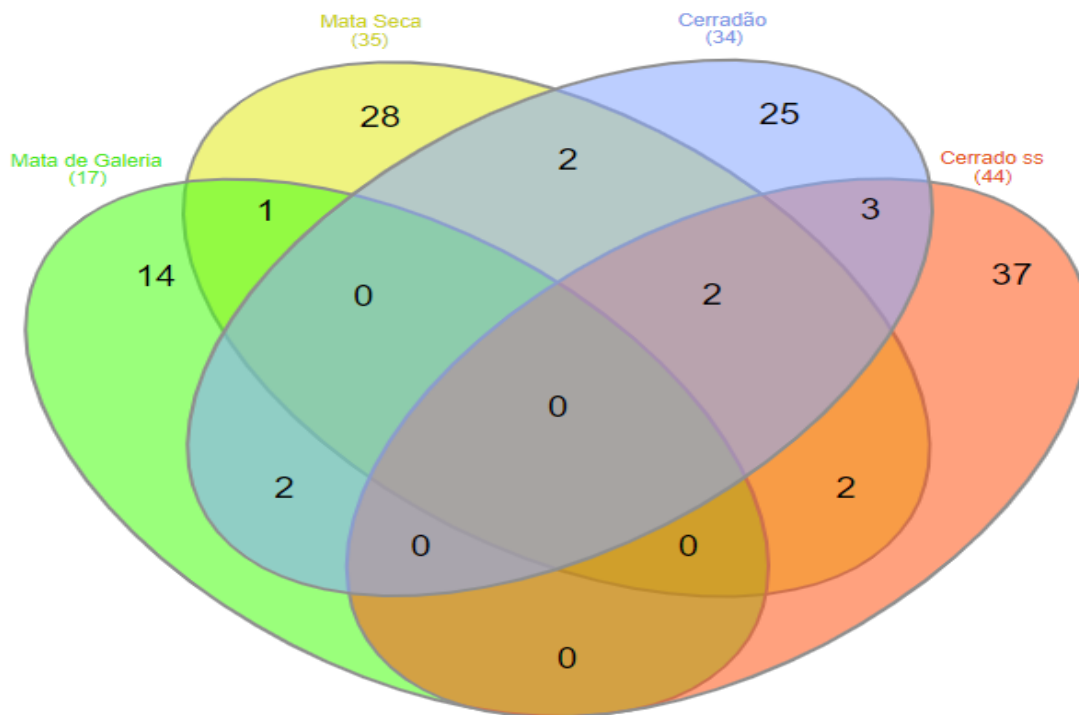


Figura 2 - Diagrama de Venn ilustrando o compartilhamento e exclusividade das espécies para as diferentes fitofisionomias no estudo de volume total.

### 2.5.2 Ajuste dos modelos para estimativa de volume

A partir do conjunto de dados, foram ajustados os seis modelos para a estimativa do volume para a base genérica, formação florestal e para o conjunto de dados específicos, que correspondem a Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão e Cerrado *sensu stricto*, os resultados de ajuste e precisão são apresentados na Tabela 4. Os resíduos dos modelos selecionados apresentaram normalidade (Teste de Shapiro-Wilk).

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos testados para estimar volume total para as fitofisionomias.

Modelos		Parâmetros				r	Syx(%)
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$		
Mata de	1	0,00004	1,4998	-	-	0,93	31,73
Galeria	2	-13385227	13414384	-	-	0,94	29,33
	3	-0,8557	831,0178	0,0800	-48,0847	0,97	18,78
	4	0,0001	1,8276	0,5967	-	0,96	24,18
	5	0,0120	0,00003	-	-	0,95	27,96
	<b>6</b>	<b>-0,0145</b>	<b>48200</b>	<b>14,1</b>	<b>0,573</b>	<b>0,96</b>	<b>23,74</b>
Mata	1	0,00001	1,8043	-	-	0,98	25,71
Seca	2	6484452	-6468395	-	-	0,97	30,39
	<b>3</b>	<b>0,3330</b>	<b>6900,4590</b>	<b>-0,1950</b>	<b>-284,8510</b>	<b>0,99</b>	<b>12,71</b>
	4	0,00001	2,0833	1,4936	-	0,99	17,09
	5	-0,0084	0,00006	-	-	0,98	29,58
	6	0,0043	1260000	31,6000	0,8030	0,96	41,40
Cerradão	1	0,00004	1,5593	-	-	0,93	53,71
	2	6163406	-6143889	-	-	0,98	22,57
	3	0,5900	6982,462	-0,1970	-35,9500	0,99	16,46
	4	0,00009	2,1095	0,6550	-	0,99	15,27
	5	0,0008	0,00005	-	-	0,98	22,57
	<b>6</b>	<b>0,0043</b>	<b>289000</b>	<b>10,4000</b>	<b>0,7730</b>	<b>0,99</b>	<b>14,58</b>
Cerrado	1	0,0003	1,3124	-	-	0,88	55,08
<i>sensu</i>	2	3523888	-3509097	-	-	0,91	48,23
<i>stricto</i>	3	1,3010	6053,714	-6,8880	3134,1960	0,93	42,10
	<b>4</b>	<b>0,00008</b>	<b>2,3477</b>	<b>0,3768</b>	<b>-</b>	<b>0,93</b>	<b>41,69</b>
	5	0,0059	0,00006	-	-	0,91	47,69

Continua...

**Continuação...**

	Modelos	Parâmetros				r	Syx(%)
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$		
	6	0,0014	51100	2,0900	0,7880	0,93	42,87
Genérico	1	0,0001	1,4204	-	-	0,87	72,28
	2	350847	-331601	-	-	0,93	52,23
	3	0,3680	4975,5890	-0,2010	-75,7320	0,95	45,53
	4	0,00009	2,1331	0,6119	-	0,95	45,87
	5	0,0082	0,00005	-	-	0,93	51,65
	<b>6</b>	<b>-0,0020</b>	<b>2150000</b>	<b>207</b>	<b>0,6890</b>	<b>0,95</b>	<b>46,23</b>
Formação	1	0,00004	1,5587	-	-	0,90	61,71
Florestal	2	-4288745	4308708	-	-	0,95	37,06
	3	0,6380	9218,8480	-0,4137	-78,3180	0,95	35,11
	<b>4</b>	<b>0,00005</b>	<b>2,1250</b>	<b>0,7874</b>	<b>-</b>	<b>0,95</b>	<b>34,08</b>
	5	-0,0007	0,00005	-	-	0,95	37,04
	6	0,00006	1370000	61,2000	1,0100	0,96	39,44

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  = coeficientes ajustados; r = coeficiente de correlação; Syx = erro padrão da estimativa.

Os modelos apresentaram valores do coeficiente de correlação (r) iguais ou superiores a 0.91, com exceção do modelo (1) para Cerrado *sensu stricto*, modelo genérico e de formação florestal. Valores elevados indicam o quanto a variável dependente (volume) é explicada pelas variáveis independentes (DAP, Db e altura) (RUFINI et al., 2010; MORAIS et al., 2014).

O erro padrão da estimativa (Syx%) dos modelos apresentou valores entre 12.71% a 72.28%, logo, essa estimativa mede a dispersão média entres os valores observados e estimados sendo que valores menores indicam melhores ajustes (RUFINI et al., 2010; MIGUEL et al., 2016).

Os gráficos de resíduos, observados versus preditos e histograma de frequência foram utilizados como apoio na escolha dos modelos (veja os Apêndices 1, 2, 3, 4, 5, 6).

Alternativas de interpretação gráfica como essas são necessárias na qualidade do ajuste (JARA et al., 2015; CAMPOS; LEITE, 2017) e na escolha de um modelo, considerando que erros de tendência podem ocorrer e não ser percebidos pelas demais estatísticas (MIGUEL et al., 2015)

Os modelos ajustados para Mata de Galeria apresentaram coeficientes de correlação entre 0.93 a 0.97 e erro padrão da estimativa entre 18.78% a 31.73%. O modelo 6 ( $r = 0.96$ ,  $Sy_x = 23.74\%$ ) apresenta superioridade em relação aos demais modelos, com distribuição uniforme dos resíduos ao longo da faixa de valores do volume (Figura 3: 1A), volumes estimados e observados próximos à linha de inclinação (Figura 3: 1B) e histograma de frequência de erros em torno de  $\pm 25\%$  (Figura 3: 1C).

Em fitofisionomia de Mata de Galeria, poucos modelos na literatura foram descritos relacionados a volumetria (IMANÑA-ENCINAS; KLEINN, 2001). A escassez de trabalhos nesta fitofisionomia, dificulta a comparação do modelo selecionado com outros, em diferentes locais. Isso se deve à grande heterogeneidade do Cerrado que, muitas vezes, implica em estimativas de volume onerosas e burocráticas (SILVEIRA et al., 2019; REIS et al., 2020). São necessários mais estudos de volumetria nessas áreas, já que a legislação brasileira, pelo Código Florestal, classifica essa fitofisionomia como área de preservação permanente (APP), sendo muito procurado para construção de condomínios o que torna obrigatório para esse tipo de empreendimento o licenciamento ambiental.

Para Mata Seca, os modelos apresentaram coeficientes de correlação próximos e erro padrão da estimativa com variação entre 12.71% a 41.40%. O modelo (3) ( $r = 0.99$ ,  $Sy_x = 12.71\%$ ) foi selecionado como o mais adequado, com tendência a superestimar os menores volumes no gráfico de resíduos (Figura 3: 2A) porém, as predições acuradas de volumes estimados e observados (Figura 3: 2B) e a concentração dos resíduos nas classes centrais (Figura 3: 2C) demonstram a superioridade desse modelo.

As estatísticas de ajuste do erro padrão da estimativa para Mata Seca variam em alguns estudos de 28.70% a 53.25% (SCOLFORO et al., 2008; ROCHA 2011). De uma forma geral, o modelo (3) apresenta valor de  $Sy_x$  superiores aos descritos na literatura, podendo ser explicado pelos modelos específicos testados, juntamente com a características da base de dados.

No Cerradão, os modelos apresentaram coeficiente de correlação entre 0.98 e 0.99, com exceção do modelo (1). Ajuste alto do coeficiente de correlação indica que a maior parte da variância foi explicada pelos modelos. Quanto ao erro padrão da estimativa, houve uma variação entre 14.58% a 53.71%. O modelo (6) foi selecionado como o mais adequado ( $r = 0.99$ ,  $S_{yx} = 14.58\%$ ), com baixa variabilidade dos dados ( $S_{yx}$  menor), apresentando gráficos de resíduos distribuídos de forma homogênea ao longo da linha de regressão (Figura 3: 3A), valores de volumes estimados e observados próximos ao eixo de  $45^\circ$  (Figura 3: 3B) e maior frequência de resíduos agrupados na amplitude de classes de  $\pm 25\%$  (Figura 3: 3C).

Os valores das medidas de precisão do modelo (6) do Cerradão, são considerados satisfatórios e superiores a outros estudos já realizados nessa fitofisionomia (SCOLFORO et al., 2008; MIGUEL et al., 2017a; 2017b). A superioridade desse modelo implica que modelos específicos são preferíveis para estimativa de volume (GOUSSANOU et al., 2016). Embora haja superioridade em relação ao modelo escolhido nessa fitofisionomia, outras formas de se obter o volume são importantes. Por exemplo, em estudos com redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira em áreas de Cerradão, foram encontrados estatísticas de ajustes e precisão superior ao do presente estudo (MIGUEL et al., 2015).

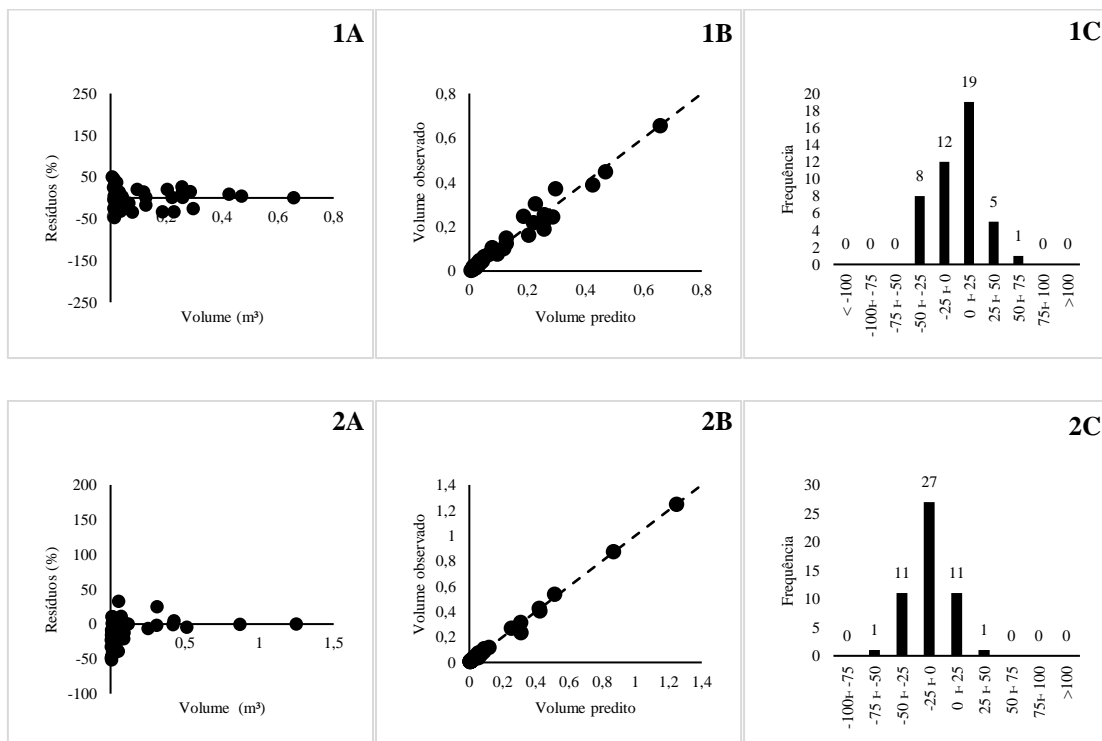
Na fitofisionomia Cerrado *sensu stricto* o coeficiente de correlação apresentou valores próximos, com exceção do modelo (1), com um  $r$  de 0.88. O erro padrão da estimativa teve uma variação entre 41.69% a 55.08%. O modelo (4) demonstrou resultados de ajuste melhores ( $r = 0.93$ ,  $S_{yx} = 41.69\%$ ), que corroboram com uma distribuição residual uniforme (Figura 3: 4A), uma vez que esses valores se distribuíram próximos à linha de inclinação de  $45^\circ$  (Figura 3: 4B) e o histograma de frequência de erros ocorreram nas classes centrais (Figura 3: 4C).

O modelo (4) para o Cerrado *sensu stricto* apresenta medidas de precisão inferiores aos obtidos em estudos anteriores para estimativa de volume nessa fitofisionomia (REZENDE et al., 2006; IMAÑA-ENCINAS et al., 2009; RUFINI et al., 2010; MORAIS et al., 2014). Entretanto, o modelo selecionado é satisfatório devido a variabilidade natural da estrutura da vegetação como já discutido por alguns autores (REZENDE et al., 2006; SCOLFORO et al., 2008). A alta variabilidade da vegetação do Cerrado *sensu stricto* (SILVEIRA et al., 2019) reforça a importância de considerar diferentes métodos para estimativa do volume (REIS et al., 2020).



Para o modelo genérico, o coeficiente de correlação variou de 0.87 a 0.95 e o erro padrão da estimativa entre 45.53% a 72.28%. O modelo (6) ( $r = 0.95$ ,  $Sy_x = 46.23\%$ ) apresentou as melhores estatísticas de ajuste e precisão, todavia estas estatísticas são inferiores aos modelos específicos devido à alta variabilidade dos dados atribuído às diferentes fitofisionomias e com o maior número de espécies. O modelo selecionado, apresentou distribuição homogênea ao longo da linha de resíduos (Figura 3: 5A), com valores de volumes estimados e observados próximos a inclinação da reta (Figura 3: 5B) e com maior concentração dos resíduos entre  $\pm 25\%$  (Figura 3: 5C).

Na formação florestal (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), o coeficiente de correlação variou entre 0.90 a 0.96 e o erro padrão da estimativa entre 34.08% a 61.71%. O modelo (4) ( $r = 0.95$ ,  $Sy_x = 34.08\%$ ), evidenciou menor tendência de superestimativa e subestimativa na análise gráfica dos resíduos, com erros compreendidos em  $\pm 60\%$  (Figura 3: 6A), valores estimados e observados de volume próximos a linha de inclinação (Figura 3: 6B) e frequência de classes de erros em  $\pm 25\%$  (Figura 3: 6C) o que reforçam a seleção deste modelo.



Continua...

Continuação...

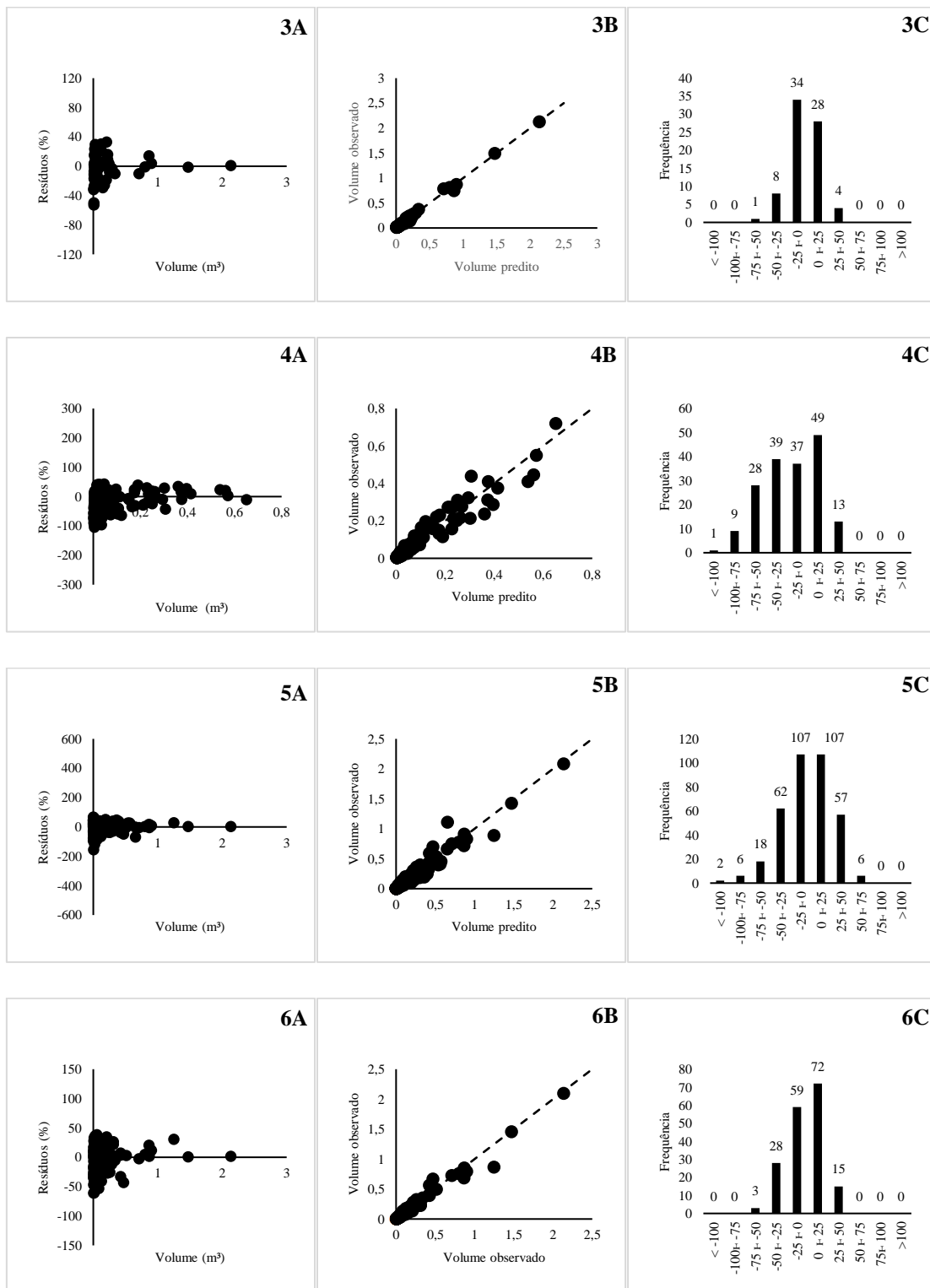


Figura 3 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para os modelos escolhidos de Mata de Galeria (1), Mata Seca (2), Cerradão (3), Cerrado *sensu stricto* (4), modelo genérico (5) e formação florestal (6).

Modelos de volume genérico e formação florestal são novos para o bioma Cerrado. Modelos dessa magnitude, foram desenvolvidos apenas em alguns estados brasileiros (SCOLFORO et al., 2008; VIBRANS et al., 2015; CYSNEIROS et al., 2020).

Esforços são necessários para desenvolver modelos genéricos nesse bioma que represente a vegetação florestal e savânica do Cerrado como um todo. Sua utilização apresenta algumas limitações para o apoio efetivo do manejo florestal (MALATA et al., 2017), entretanto, os modelos genéricos desenvolvidos nesse estudo incluem um grande número de indivíduos e podem ser usados em grandes áreas do Cerrado onde as estimativas do volume podem ser generalizadas.

Modelos de volume para florestas naturais em escalas locais ou geográficas são poucos estudados (VIBRANS et al., 2015) e altamente recomendados quando comparados com modelos genéricos (MALATA et al., 2017). As estimativas de volume devem ser calculadas de acordo com o tipo de floresta, respeitando a composição e estrutura de espécies (VIBRANS et al., 2015).

Outro fator importante nos estudos de modelos genéricos e locais que prejudicam o desenvolvimento de novos modelos, é que os procedimentos de seleção não consideram a qualidade dos ajustes, das estatísticas associadas ao modelo, do projeto de amostragem e das informações quanto à incerteza sobre seus parâmetros (SILESHI, 2014; JARA et al., 2015; VIBRANS et al., 2015) e isso afeta a modelagem do volume.

A escolha de qual modelo será utilizado depende dos requisitos de precisão, do grau de generalidade (MBOW et al., 2014) e das informações da área de estudo. Os modelos genéricos devem priorizar amostras maiores (VIBRANS et al., 2015) e em áreas com falta de modelos locais à medida que os modelos locais são recomendados em regiões de inventários locais (MAUYA et al., 2014) e que apresentem heterogeneidade florística (VIBRANS et al., 2015) como em fitofisionomias do Cerrado.

Os modelos desenvolvidos nesse estudo podem ser de grande importância para o entendimento do ciclo do carbono nas áreas de Cerrado e também na precisão dos inventários de gases de efeito estufa no Brasil. A disponibilidade de modelos tem sido uma limitação na avaliação do volume florestal (HENRY et al., 2013) e o desenvolvimento de modelos específicos e genéricos contribui para a melhora de estimativas dessa variável.

Considerando o custo de melhorar as estimativas de volume para o Cerrado, novos estudos com técnicas de previsão como regressão não-linear, dados de satélites e técnicas de inteligência artificial são necessários (MIGUEL et al., 2015; LACERDA et al., 2017; REIS et al., 2020) para compreender as mudanças no bioma, estimular o uso sustentável das florestas e o mercado de crédito de carbono (MUGASHA et al., 2016; BELTRAN et al., 2017; LATRUBESSE et al., 2019).

Deve-se considerar também outras formas de amostragem não destrutivas, como o LiDAR, em estudos futuros para coleta de dados dendrométricos. Esse tipo de amostragem garante tamanhos de amostras maiores, podem ser conduzidas de forma sistemática no campo, torna-se mais viável em áreas protegidas, podem ser feitas ao longo de toda a vida útil da árvore e inclui árvores muito grandes para as quais a amostragem destrutiva não seria viável (DUNCANSON et al., 2015; STOVALL et al., 2018).

### **2.5.3 Validação dos modelos de volume**

De acordo com os resultados (Tabela 5), o teste de qui-quadrado não apresentou diferenças estatísticas entre os valores reais de volume e os estimados pelos modelos, o que comprova a confiabilidade das estimativas geradas pelos modelos selecionados.

Tabela 5 - Estatística do teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) a 95% de probabilidade nas diferentes tipologias analisadas para estimativa volumétrica.

Fitofisionomia	$\chi^2$ calculado	$\chi^2$ tabelado
Mata de Galeria	0,02	2,73
Mata Seca	0,002	3,33
Cerradão	0,08	6,57
Cerrado <i>sensu stricto</i>	0,20	21,66
Dados Totais	0,40	51,74
Formação Florestal	0,14	22,47

8 graus de liberdade em Mata de Galeria; 9 graus de liberdade em Mata Seca; 14 graus de liberdade em Cerradão; 34 graus de liberdade em Cerrado *sensu stricto*; 72 graus de liberdade no modelo Genérico; 35 graus de liberdade no modelo de Formação Florestal.

O teste de Kruskal-Wallis (Tabela 6) indicou que o modelo genérico e o de formação florestal em relação aos modelos específicos não apresentam diferença significativa entre os grupos, o que corrobora com estimativas confiáveis para ambos os modelos. Entretanto, como apresentado no diagrama de Venn (Figura 3), a maioria das espécies são exclusivas de cada fitofisionomia o que fortalece a preferência de modelos específicos.

A diferença agregada, apresentou alguns valores negativos para o modelo genérico e o de formação florestal. Esse resultado evidencia a tendência desses modelos em superestimar o volume quando utilizados em regiões específicas. Já a maioria dos modelos específicos, apresentaram comportamento inverso, com valores positivos o que demonstra tendência de subestimar os volumes, porém, com valores próximos aos reais.

Tabela 6 - Estatística da diferença agregada (DA%) do modelo genérico, modelo de formação florestal, modelos específicos e do teste de Kruskal-Wallis (H) para o volume.

	Fitofisionomia	Método	DA(%)	H
Genérico	Mata de Galeria	REAL x ESP	-2,20	1,79 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-35,63	
	Mata Seca	REAL x ESP	0,24	0,02 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-1,53	
	Cerradão	REAL x ESP	4,31	0,02 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	4,99	
	Cerrado <i>sensu stricto</i>	REAL x ESP	-3,91	0,86 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	10,94	
	Formação Florestal	REAL x ESP	-1,70	0,23 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-6,42	
Florestal	Mata de Galeria	REAL x ESP	-2,20	1,17 <sup>ns</sup>
		REAL x FLOR	-21,48	
	Mata Seca	REAL x ESP	0,24	0,44 <sup>ns</sup>
		REAL x FLOR	9,28	
	Cerradão	REAL x ESP	4,31	0,12 <sup>ns</sup>
		REAL x FLOR	10,57	

REAL = valores reais; ESP = modelo específico; GEN = modelo genérico; FLOR = modelo florestal; ns: não significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Assim, a escolha de qual modelo utilizar depende da precisão desejada. No geral, em regiões extensas do Cerrado onde nenhum modelo específico está disponível, o

modelo genérico e o de formação florestal desenvolvidos nesse estudo oferecem uma alternativa aos modelos específicos. Esses modelos compartilham diferentes espécies o que aumenta a variabilidade dos dados em relação aos modelos específicos (VIBRANS et al., 2015) e contribui para melhorar as estimativas de volume, já que alguns modelos específicos são desenvolvidos a partir de pequenas amostras o que resulta em estimativas enviesadas (MANURI et al., 2016).

## 2.6 CONCLUSÃO

Foram obtidas as seguintes conclusões:

- Os modelos específicos desenvolvidas nesse estudo, melhoram a compreensão das estimativas de volume total para as diferentes fitofisionomias do Cerrado por apresentar estatísticas de ajuste satisfatórias;
- Em áreas extensas do Cerrado onde apresentam elevado potencial de generalização (diferentes fitofisionomias), o modelo genérico e de formação florestal podem ser utilizados por apresentar desempenho semelhantes aos modelos específicos;
- Considerando a diversidade do Cerrado, o desenvolvimento de modelos específicos e genéricos para a estimativa do volume são necessários e que alcance também as demais fitofisionomias savânicas e campestres.



## 2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, G. B. DE. ; REZENDE, A. V.; AZEVEDO, G. T. D. O. S.; MIGUEL, E. P.; DE GOIS AQUINO, F.; BRUZINGA, J. S. C.; DE OLIVEIRA, L. S. C.; PEREIRA, R. S.; TEODORO, P. E. Woody biomass accumulation in a Cerrado of Central Brazil monitored for 27 years after the implementation of silvicultural systems. **Forest Ecology and Management**, v. 455, p. 117718, 2020.

BELTRAN, H. A.; CHAUCHARD, L.; IACONIS, A.; PASTUR, G. M. Volume and taper equations for commercial stems of *Nothofagus obliqua* and *N. alpina*. **Cerne**, v. 23, n. 3, p. 299–309, 2017.

BUSTAMANTE, M. M. D. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. D. S.; RESENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 655–671, 2012.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração florestal: perguntas e respostas. **Editores UFV**, 5ª edição, p. 636, 2017.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87–99, 2005.

CYSNEIROS, V. C.; GAUI, T. D.; SILVEIRA FILHO, T. B.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. D. A.; DE CARVALHO, D. C.; MOURA, T. A.; AMORIM, H. B. Tree volume modeling for forest types in the Atlantic Forest: generic and specific models. **iForest**, v. 13, n. 5, p. 417–425, 2020.

DUNCANSON, L.; ROURKE, O.; DUBAYAH, R. Small sample sizes yield biased allometric equations in temperate forests. **Scientific Reports**, v. 5, p. 17153, 2015.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, p. 736, 1981.

GOUSSANOU, C. A.; GUENDEHOU, S.; ASSOGBADJO, A. E.; KAIRE, M.; SINSIN, B.; CUNI-SANCHEZ, A. Specific and generic stem biomass and volume models of tree species in a West African tropical semi-deciduous forest. **Silva Fennica**, v. 50, n. 2, p. 1474, 2016.

GSCHWANTNER, T.; ALBERDI, I.; BALÁZS, A.; BAUWENS, S.; BENDER, S.; BOROTA, D.; BOSELA, M.; BOURIAUD, O.; CAÑELLAS, I.; DONIS, J.; FREUDENSCHUß, A.; HERVÉ, J-C.; HLADNIK, D.; JANSONS, J.; KOLOZS, L.; KORHONEN, K.T.; KUCERA, M.; KULBOKAS, G.; KULIEŠIS, A.; LANZ, A.; LEJEUNE, P.; LIND, T.; MARIN, G.; MORNEAU, F.; NAGY, D.; NORD-LARSEN, T.; NUNES, L.; PANTIĆ, D.; PAULO, J.A.; PIKULA, T.; REDMOND, J.; REGO, F.C.; RIEDEL, T.; SAINT-ANDRÉ, L.; ŠEBEŇ, V.; SIMS, A.; SKUDNIK, M.; SOLTI, G.; TOMTER, S.M.; TWOMEY, M.; WESTERLUND, B.; ZELL, J. Harmonisation of stem volume estimates in European National Forest Inventories. **Annals of Forest Science**, v. 76, n. 1, p. 24, 2019.

GUERRA, A.; REIS, L. K.; BORGES, F. L. G.; OJEDA, P. T. A.; PINEDA, D. A. M.; MIRANDA, C. O.; MAIDANA, D.P.F.L.; DOS SANTOS, T.M.R; SHIBUYA, P.S.; MARQUES, M.CM.; LAURANCE, S. G.W.; GARCIA, L.C. Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117802, 2020.

HEBERLE, H.; MEIRELLES, G. V.; DA SILVA, F. R.; TELLES, G. P.; MINGHIM, R. InteractiVenn: a web-based tool for the analysis of sets through Venn diagrams. **BMC Bioinformatics**, v. 16, n. 1, p. 1–7, 2015.

HENRY, M.; BOMBELLI, A.; TROTTA, C.; ALESSANDRINI, A.; BIRIGAZZI, L.; SOLA, G.; VIEILLEDENT, G.; SANTENOISE, P.; LONGUETAUD, F.; VALENTINI, R.; PICARD, N.; SAINT-ANDRÉ, L. GlobAllomeTree: international platform for tree allometric equations to support volume, biomass and carbon assessment. **IForest**, v. 6, n. 6, p. 326, 2013.

HIDASI-NETO, J.; JONER, D. C.; RESENDE, F.; DE MACEDO MONTEIRO, L.;

FALEIRO, F. V.; LOYOLA, R. D.; CIANCIARUSO, M. V. Climate change will drive mammal species loss and biotic homogenization in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 17, n. 2, p. 57–63, 2019.

IMAÑA-ENCINAS, J.; KLEINN, C. Determinação do volume de madeira em Floresta de Galeria. **Brasil Florestal**, n. 70, p. 32–41, 2001.

IMAÑA-ENCINAS, J.; SANTANA, O. A.; DE PAULA, J. E.; IMAÑA, C. R. Equações de volume de madeira para o Cerrado de Planaltina De Goiás. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 107–116, 2009.

JARA, M. C.; HENRY, M.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; WAYSON, C.; ZAPATA-CUARTAS, M.; PIOTTO, D.; GUIER, F.A.; LOMBIS, H.C.; LÓPEZ, E.C.; LARA, R.C.; ROJAS, K.C.; PASQUEL, J. D.A.; MONTOYA, A.D.; VEJA, J. F.; GALO, A. J.; LÓPEZ, O.R.; MARKLUND, L.G.; FUENTES, J. M. M.; MILLA, F.; CHAIDEZ, J. J. N.; MALAVASSI, E.O.; PÉREZ, J.; ZEA, C. R.; GARCÍA, L.R.; PONS, R. R.; SAINT-ANDRÉ, L.; SANQUETTA, C.; SCOTT, C.; WESTFALL, J. Guidelines for documenting and reporting tree allometric equations. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 763–768, 2015.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005.

LACERDA, T. H. S.; CABACINHA, C. D.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; MAIA, R. D.; LACERDA, K. W. D. S. Artificial neural networks for estimating tree volume in the Brazilian Savanna. **Cerne**, v. 23, n. 4, p. 483–491, 2017.

LAM, F.; LALANSINGH, C. M.; BABARAN, H. E.; WANG, Z.; PROKOPEC, S. D.; FOX, N. S.; BOUTROS, P. C. VennDiagramWeb: a web application for the generation of highly customizable Venn and Euler diagrams. **BMC Bioinformatics**, v. 17, n. 1, p. 401, 2016.

LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E.; FERREIRA, M. E.; NOGUEIRA, S. H.; WITTMANN, F.; DIAS, M. S.; DAGOSTA, F. C. P.; BAYER, M. Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, v. 1, n. 9, p. 1–8, 2019.

LEVENBERG, K. A method for the solution of certain nonlinear problems in least squares. **Quarterly of applied mathematics**, v. 2, n. 2, p. 164–168, 1944.

LEVICK, S. R.; HESSENMÖLLER, D.; SCHULZE, E-D. Scaling wood volume estimates from inventory plots to landscapes with airborne LiDAR in temperate deciduous forest. **Carbon balance and management**, v. 11, n. 1, p. 1-14, 2016.

LIMA, R. B. DE.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A. DA.; ALVES JÚNIOR, F. T.; OLIVEIRA, C. P.DE. Estimating Tree Volume of Dry Tropical Forest in the Brazilian Semi-Arid Region : A Comparison Between Regression and Artificial Neural Networks. **Journal of Sustainable Forestry**, p. 1–19, 2020.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. 2.ed. Guarapuava: **UNICENTRO**, p. 316, 2006.

MALATA, H.; NGULUBE, E. S.; MISSANJO, E. Site specific stem volume models for *Pinus patula* and *Pinus oocarpa*. **International Journal of Forestry Research**, v. 2017, p. 1–6, 2017.

MANURI, S.; BRACK, C.; NOOR'AN, F.; RUSOLONO, T.; ANGGRAINI, S. M.; DOTZAUER, H.; KUMARA, I. Improved allometric equations for tree aboveground biomass estimation in tropical dipterocarp forests of Kalimantan, Indonesia. **Forest Ecosystems**, v. 3, n. 1, p. 28, 2016.

MARANHÃO, D. D. C.; AGUADO, O. I. D. O.; PEREIRA, M. G.; ARAÚJO, A. P.; CASTRO, S. S. D.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. Analysis of potential for linear erosion in the Cerrado Biome using morphopedology. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 41, p. 1–17, 2017.

MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics**, v.11, n.2, p. 431–441, 1963.

MARQUES, E. Q.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MARIMON, B. S.; MATRICARDI, E. A.; MEWS, H. A.; COLLI, G. R. Redefining the Cerrado–Amazonia transition: implications for conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1501–1517, 2020.

MAUYA, E. W.; MUGASHA, W. A.; ZAHABU, E.; BOLLANDSÅS, O. M.; EID, T. Models for estimation of tree volume in the miombo woodlands of Tanzania. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 76, n.4, p. 209–219, 2014.

MBOW, C.; VERSTRAETE, M. M.; SAMBOU, B.; DIAW, A. T.; NEUFELDT, H. Allometric models for aboveground biomass in dry savanna trees of the Sudan and Sudan-Guinean ecosystems of Southern Senegal. **Journal of Forest Research**, v. 19, n. 3, p. 340–347, 2014.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T. DO.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 829–839, 2015.

MIGUEL, E. P.; MOTA, F. I. C. M.; TÉO, S. J.; NASCIMENTO, R. G. M.; LEAL, F. I. A.; PEREIRA, R. S. E.; REZENDE, A. V. E. Artificial intelligence tools in predicting the volume of trees within a forest stand. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 21, p. 1914–1923, 2016.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; ENCINAS, J. M. I.; MIRANDA, J. F. N. Floristic, structural, and allometric equations to estimate arboreal volume and biomass in a cerradão site. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1691–1702, 2017a.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S.; DE AZEVEDO, G. B.; MOTA, F. C. M.; SOUZA, Á. N. DE.; JOAQUIM, M. S. Modeling and prediction of volume and aerial biomass of the tree vegetation in a Cerradão area of central Brazil. **Interciencia**, v. 42, n. 1, p. 21–27, 2017b.

MORAIS, V. A.; MELLO, J. M. D.; GOMIDE, L. R.; SCOLFORO, J. R. S.; ARAÚJO, E. J. G. D.; RUFINI, A. L. Influence of diameter measuring height on the adjustment of volume and biomass equations of Cerrado in Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 3, p. 230–239, 2014.

MUGASHA, W. A.; MWAKALUKWA, E. E.; LUOGA, E.; MALIMBWI, R. E.; ZAHABU, E.; SILAYO, D. S.; SOLA, G.; CRETE, P.; HENRY, M.; KASHINDYE, A. Allometric models for estimating tree volume and aboveground biomass in lowland forests of Tanzania. **International Journal of Forestry Research**, v. 2016, p. 13, 2016.

OLIVEIRA, L. Z.; KLITZKE, A. R.; FANTINI, A. C.; ULLER, H. F.; CORREIA, J.; VIBRANS, A. C. Robust volumetric models for supporting the management of secondary forest stands in the Southern Brazilian Atlantic Forest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 4, p. 3729–3744, 2018.

OVERBECK, G. E.; VÉLEZ-MARTIN, E.; SCARANO, F. R.; LEWINSOHN, T. M.; FONSECA, C. R.; MEYER, S. T.; MULLER, S. C.; CEOTTO, P.; DADALT, L.; DURIGAN, G.; GANADE, G.; GOSSNER, M. M.; GUADAGNIN, D. L.; LORENZEN, K.; JACOBI, C. M.; WEISSER, W. W.; PILLAR, V. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, v. 21, n. 12, p. 1455–1460, 2015.

PICARD, N.; SAINT-ANDRÉ, L.; HENRY, M. **Manual for building tree volume and biomass allometric equations: from field measurement to prediction**. FAO/CIRAD, p. 215, 2012.

PIÑEIRO, G.; PERELMAN, S.; GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M. How to evaluate models: observed vs. predicted or predicted vs. observed? **Ecological Modelling**, v. 216, n. 3–4, p. 316–322, 2008.

REIS, A. A. DOS.; SOUZA DINIZ, J. M. F. DE.; ACERBI, JÚNIOR, F. W. .; MELLO, J. M. DE.; BATISTA, A. P. B.; FILHO, A. C. F. Modeling the spatial distribution of wood volume in a Cerrado Stricto Sensu remnant in Minas Gerais state , Brazil. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, 2020.

REZENDE, A. V.; VALE, A. DO.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, n.2, p. 65–76, 2006.

ROCHA, C. C. DA C. Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás. 70f. Dissertação (Mestrado) - **Departamento de Engenharia Florestal**, Universidade de Brasília, 2011.

ROITMAN, I.; BUSTAMANTE, M. M.; HAIDAR, R. F.; SHIMBO, J. Z.; ABDALA, G. C.; EITEN, G.; FAGG, C.W.; FELFILI, M.C.; FELFILI, J.M.; JACOBSON, T.K.B.; LINDOSO, G.S.; KELLER, M.; LENZA, E.; MIRANDA, S.C.; PINTO, J.R.R.; RODRIGUES, A.A.; DELITTI, W.B.C.; ROITMAN, P.; SAMPAIO, J.M. Optimizing biomass estimates of savanna woodland at different spatial scales in the Brazilian Cerrado: Re-evaluating allometric equations and environmental influences. **Plos One**, v. 13, n. 8, p. e0196742, 2018.

ROJAS-GARCÍA, F.; DE JONG, B. H.; MARTÍNEZ-ZURIMENDÍ, P.; PAZ-PELLAT, F. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 835–864, 2015.

RUFINI, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. D.; MELLO, J. M. D. Equações volumétricas para o cerrado sensu stricto, em Minas Gerais. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 1–11, 2010.

SANO, E. E.; RODRIGUES, A. A.; MARTINS, E. S.; BETTIOL, G. M.; BUSTAMANTE, M. M.; BEZERRA, A. S.; COUTO JR, A.F.; VASCONCELOS, V.; SCHÜLER, J.; BOLFE, E. L. Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal of Environmental Management**, v. 232, p. 818–828, 2019.

SANTOS, L. M.; LENZA, E.; SANTOS, J. O.DOS.; MARIMON, B. S.; EISENLOHR, P. V.; JUNIOR, B. H. M.; FELDPAUSCH, T. R. Diversity, floristic composition, and structure of the woody vegetation of the Cerrado in the Cerrado–Amazon transition zone in Mato Grosso, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v.38, n.4, p. 877-887 2015.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI-JÚNIOR, F. W. Inventário Florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisionomias da flora nativa. Lavras: **Editora UFLA**, p. 216, 2008.

SILESHI, G. W. A critical review of forest biomass estimation models, common mistakes and corrective measures. **Forest Ecology and Management**, v. 329, p. 237–254, 2014.

SILVEIRA, E. M.; REIS, A. A.; TERRA, M. C.; WITHEY, K. D.; MELLO, J. M.; ACERBI-JÚNIOR, F. W.; FERRAZ FILHO, A.C.; MELLO, C. R. Spatial distribution of wood volume in Brazilian savannas. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 91, n. 4, p. e20180666, 2019.

STOVALL, A. E. L.; ANDERSON-TEIXEIRA, K. J.; SHUGART, H. H. Assessing terrestrial laser scanning for developing non-destructive biomass allometry. **Forest Ecology and Management**, v. 427, p. 217–229, 2018.

STRASSBURG, B. B.; BROOKS, T.; FELTRAN-BARBIERI, R.; IRIBARREM, A.; CROUZEILLES, R.; LOYOLA, R.; LATAWIEC, A. E.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B.; SCARAMUZZA, C. A. DE. M.; SCARANO, F. R.; SOARES-FILHO, B.; BALMFORD, A. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature Ecology and Evolution**, v. 1, n. 4, p. 1-3, 2017.

VIBRANS, A. C.; MOSER, P.; OLIVEIRA, L. Z.; MAÇANEIRO, J. P. DE. Generic and specific stem volume models for three subtropical forest types in southern Brazil. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 865–874, 2015.

VORSTER, A. G.; EVANGELISTA, P. H.; STOVALL, A. E.; EX, S. Variability and uncertainty in forest biomass estimates from the tree to landscape scale: the role of allometric equations. **Carbon Balance and Management**, v. 15, n. 8, p. 1–20, 2020.



### 3. MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVAS DA BIOMASSA DO CERRADO EM DIFERENTES FITOFISIONOMIAS FLORESTAIS E SAVÂNICAS

#### 3.1 RESUMO

O Cerrado apresenta altas taxas de destruição e perda de biodiversidade e isso influencia na mudança climática, já que os solos desse bioma apresentam uma grande quantidade de carbono. Métodos robustos para estimativa de carbono dependem do conhecimento de biomassa seca, através de medidas diretas ou indiretas. Nesse contexto, o estudo foi realizado para desenvolver modelos de biomassa específicos para fitofisionomias (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão e Cerrado *sensu stricto*), modelo genérico, modelo para formação florestal do Cerrado e comparar se um modelo pantropical utilizado em diferentes regiões do mundo, tem validade para estimar o estoque de biomassa em fitofisionomias florestal e savânica deste bioma. Foram lançadas doze parcelas de 10m x 10m (100m<sup>2</sup>) (Inventário Florestal Nacional) para cada uma das fitofisionomias em diferentes sítios (regiões) no Distrito Federal-DF, nas quais todas as árvores com diâmetro na altura do peito (DAP a 1.30 m  $\geq$  5cm) nas formações florestais e diâmetro na altura da base (Db a 0.30 m  $\geq$  5cm) na formação savânica tiveram seus diâmetros e alturas mensurados e posteriormente cortadas, cubicadas e pesadas em diferentes compartimentos acima do solo. Os modelos utilizados para o ajuste são lineares e não lineares. Os critérios para a seleção dos modelos foram elaborados através do coeficiente de correlação, erro padrão da estimativa e análise gráfica dos resíduos e posteriormente validados pelo teste qui-quadrado. Os resultados dos modelos indicam que o ajuste por fitofisionomia específica é o mais indicado na estimativa de biomassa, todavia, os modelos genéricos alcançaram estimativas aceitáveis e são recomendados para monitorar a biomassa acima do solo em um conjunto grande e representativo de árvores do Cerrado. O uso do modelo pantropical (CHAVE et al., 2014) nas diferentes fitofisionomias, apresentou limitação para a predição de biomassa, recomendamos a validação desse modelo antes do uso em estudos futuros para áreas de Cerrado. Estudos como este são necessários para implementar, no Cerrado, políticas de conservação e preservação e devem contribuir para melhorar a precisão da biomassa nesse bioma.

**Palavras-chave:** Bioma Cerrado, Equações Alométricas, Formações Florestais, Formações Savânicas, Modelo Pantropical.

### 3.2 ABSTRACT

The Cerrado is under high rates of destruction and loss of biodiversity and this influences climate change once the soils of this biome stock large amounts of carbon. Robust methods for estimating carbon depends on knowledge of dry biomass, through direct or indirect measures. In this context, the study was carried out to develop specific biomass models for different Cerrado phytophysiognomies (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão and Cerrado *sensu stricto*), a generic model, a model for Cerrado forest formations only and compare whether a pantropical model used in different regions of the world, is valid to estimate the biomass stock in forest and savanna phytophysiognomies of this biome. Twelve plots of 10m x 10m (100m<sup>2</sup>) (National Forest Inventory) were launched for each of the phytophysiognomies in different sites in the Federal District-DF, in which all trees with a diameter at breast height (DBH at 1.30 m  $\geq$  5cm) in the forest formations and the diameter at the base height (Db at 0.30 m  $\geq$  5cm) in the savanna formation had their diameters and heights measured and later cut, scaled and weighed considering different compartments above ground. The models used for the adjustment are linear and non-linear. The criteria for the selection of the models were the correlation coefficient, standard error of the estimate, and graphical analysis of the residues. The selected model was later validated by the chi-square test. The results indicate that the adjustment by specific phytophysiognomy is the most indicated for the biomass estimate, however, the generic models have reached acceptable estimates and are recommended to monitor the biomass above ground in large and representative samples of Cerrado trees. The adjustment of the pantropical model (CHAVE et al., 2014) in different phytophysiognomies showed limitation for the prediction of biomass ,we recommend the validation of this model before use in future studies for Cerrado areas. Studies like this are necessary to implement conservation and preservation policies in Cerrado and should contribute to improving the accuracy of biomass estimation in that biome.

**Key words:** Cerrado Biome, Allometric Equations, Forest Formations, Savanna Formations, Pantropical Model.

### 3.3 INTRODUÇÃO

O Cerrado é a savana mais diversa do mundo e desempenha um importante papel na produção de água dos rios amazônicos (SCHMIDT; ELOY, 2020). Abrange a maior parte do Brasil Central, sendo composto por duas camadas: uma lenhosa que inclui árvores e arbustos grandes e outra composta de subarbustos e ervas (SILVA; LACHER JR, 2020). No entanto, esse bioma está experimentando crescentes taxas de destruição de habitats e perda de biodiversidade (LAMBERS et al., 2020) e isso influencia na mudança climática já que os solos do Cerrado são profundos e contêm uma grande quantidade de carbono (MORAIS et al., 2020).

Aplicação de métodos robustos para estimativa de estoque de carbono são importantes para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, nos mecanismos de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD+), implementar estratégias de mitigação de mudança climática, indicativos de produtividade em um local e avaliar os processos dinâmicos nas florestas (SAATCHI et al., 2011; RUTISHAUSER et al., 2013; KEBEDE; SOROMESSA, 2018; URBAZAEV et al., 2018; PÉLLICO NETTO; BEHLING, 2019). Esses métodos dependem do conhecimento da biomassa seca presente nas florestas, através de medidas diretas (colheita e pesagem de árvores) ou medidas indiretas (modelos alométricos) (RIBEIRO et al., 2018).

Modelos pelo método indireto são baseadas em equações preditivas que foram desenvolvidos através de medidas diretas (TASHI et al., 2017) do inventário florestal. As variáveis que compõem esses modelos são variáveis estruturais da floresta, como diâmetro, altura e densidade da madeira através de medidas diretas (CHAVE et al., 2005; CHAVE et al., 2014) e garantem a redução dos custos evitando a derrubada de árvores (PÉLLICO NETTO; BEHLING, 2019).

Alguns estudos avaliaram estimativas de biomassa para as diferentes fitofisionomias do Cerrado (REZENDE et al., 2006; RIBEIRO et al., 2011; MIRANDA et al., 2014; MIGUEL et al., 2015; MIGUEL et al., 2017a; NUNES et al., 2018; ROITMAN et al., 2018; ROQUETTE, 2018; AZEVEDO et al., 2020; BISPO et al., 2020; ZIMBRES et al., 2020), no entanto, eles não contemplam todas as fitofisionomias em apenas um modelo (MIRANDA et al., 2014; MIGUEL et al., 2015) e limita o conhecimento sobre os aspectos globais do Cerrado no estoque de carbono. Isso se deve às dificuldades em mensurar as variáveis dendrométricas, como diâmetro e altura, por

causa da tortuosidade do tronco das árvores, profundidade dos solos (ROQUETTE, 2018), variabilidade entre árvores de uma mesma espécie e à grande diversidade de espécies (REZENDE et al., 2006; ROITMAN et al., 2018).

Entender como a biomassa se comporta, considerando suas diferentes fitofisionomias, ajudará a reduzir as incertezas na estimativa dos estoques de carbono e poderá contribuir para uma maior confiabilidade na formulação de políticas de conservação (FIDELIS et al., 2013; MORANDI et al., 2020) e de planos de manejo (REZENDE et al., 2006; RIBEIRO et al., 2011) no Cerrado. No entanto, as informações de biomassa são incertas para muitas áreas devido à escassez de modelos alométricos específicos (HENRY et al., 2011; CHAVE et al., 2014; ZENG et al., 2018). Assim, são utilizados modelos genéricos ou modelos pantropicais (DJOMO et al., 2010; ZENG; TANG, 2011; COLGAN et al., 2013; CHOJNACKY et al., 2014; GOODMAN et al., 2014; FALSTER et al., 2015; PAUL et al., 2016) para serem aplicados em diferentes regiões de florestas pelo mundo.

O uso de modelos genéricos geram discussão sobre sua validação e erros relacionados à adoção de modelos alométricos pantropicais para florestas (ALVAREZ et al., 2012; NGOMANDA et al., 2014), o que deve ser verificado e comparado com modelos locais (LIMA et al., 2017). Alguns estudos afirmam que grandes conjuntos de dados de modelos genéricos têm um desempenho melhor para avaliação em maior escala do que modelos locais (FAYOLLE et al., 2013; RUTISHAUSER et al., 2013). No entanto, outros estudos sugerem que os modelos locais são mais precisos (VAN BREUGEL et al., 2011; DABA; SOROMESSA, 2019).

Em nosso trabalho, buscamos preencher a falta de estudos sobre modelos alométricos de biomassa para a vegetação do Cerrado, que considerem as diferentes fitofisionomias que esse bioma possui. Essas dificuldades são relatadas em trabalhos que utilizam modelos para tipologias parecidas e até mesmo modelos pantropicais em áreas de Cerrado. Os objetivos deste estudo foram:

- Desenvolver equações alométricas locais de biomassa acima do solo em fitofisionomias de Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão e Cerrado *sensu stricto* do bioma Cerrado;
- Desenvolver uma equação genérica de biomassa acima do solo para o conjunto de dados totais do Cerrado;

- Desenvolver uma equação de biomassa acima do solo para o conjunto de formação florestal (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão);
- Avaliar se o ajuste por fitofisionomia específica é o ideal, quando comparado com o modelo genérico e de formação florestal para o Cerrado;
- Comparar se o modelo pantropical de CHAVE et al. (2014) tem validade para estimar o estoque de biomassa para as fitofisionomias florestal e savânica do Cerrado.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 Localização e caracterização da área de estudo

Conduzimos o estudo no Distrito Federal, região central do Brasil para fitofisionomias florestais (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) e savânica (Cerrado *sensu stricto*) do bioma Cerrado (Tabela 7). De acordo com a plataforma MapBiomias (<https://mapbiomas.org/estatisticas>), o Cerrado em 2019, alcançou uma área de 14.7% para formações florestais e 30.2% para formações savânicas.

Tabela 7 - Síntese da legenda do mapeamento da vegetação para o Bioma Cerrado de acordo com a classificação do IBGE.

Região fitoecológica	Símbolo
Floresta Ombrófila Aberta Aluvial	Aa
Floresta Ombrófila Aberta Submontana	As
Floresta Estacional Decidual Terras baixas	Cb
Floresta Estacional Decidual Montana	Cm
Floresta Estacional Decidual Submontana	Cs
Floresta Ombrófila Densa Aluvial	Da
Floresta Ombrófila Densa Submontana	Ds
Floresta Estacional Semidecidual Aluvial	Fa

**Continua...**

### Continuação...

Região fitoecológica	Símbolo
Floresta Estacional Semidecidual Terras baixas	Fb
Floresta Estacional Semidecidual Montana	Fm
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	Fs
Floresta Ombrófila Mista Montana	Mn
Outros	Outros
Formações Pioneiras Com Influência Fluviomarinha	Pf
Formações Pioneiras Com Influência Marinha	Pm
Savana Arborizada Com Floresta de Galeria	Saf
Savana Arborizada Sem Floresta de Galeria	Sas
Savana Florestada	Sd
Savana Parque Com Floresta de Galeria	Spf
Savana Parque Sem Floresta de Galeria	Sps
Savana Estépica Arborizada Com Floresta de Galeria	Taf
Savana Estépica Arborizada Sem Floresta de Galeria	Tas
Savana Estépica Florestada	Td
Savana Estépica Parque Com Floresta de Galeria	Tpf
Savana Estépica Parque Sem Floresta de Galeria	Tps
Vegetação Secundária	Vs

O Cerrado apresenta um clima tropical, com duas estações bem definidas: a chuvosa, de outubro a março, e a seca, de abril a setembro. A precipitação média anual é de 1.500mm e as temperaturas variam entre 22°C e 27°C em média (KLINK; MACHADO, 2005).

Esse bioma, compartilha transições com outros domínios brasileiros, como Floresta Amazônica, Caatinga, Pantanal e Mata de Galeria (BUSTAMANTE et al., 2012; MARQUES et al., 2020). A classificação da vegetação utilizada neste estudo para a construção da Figura 4 foi baseada no banco de dados do IBGE.

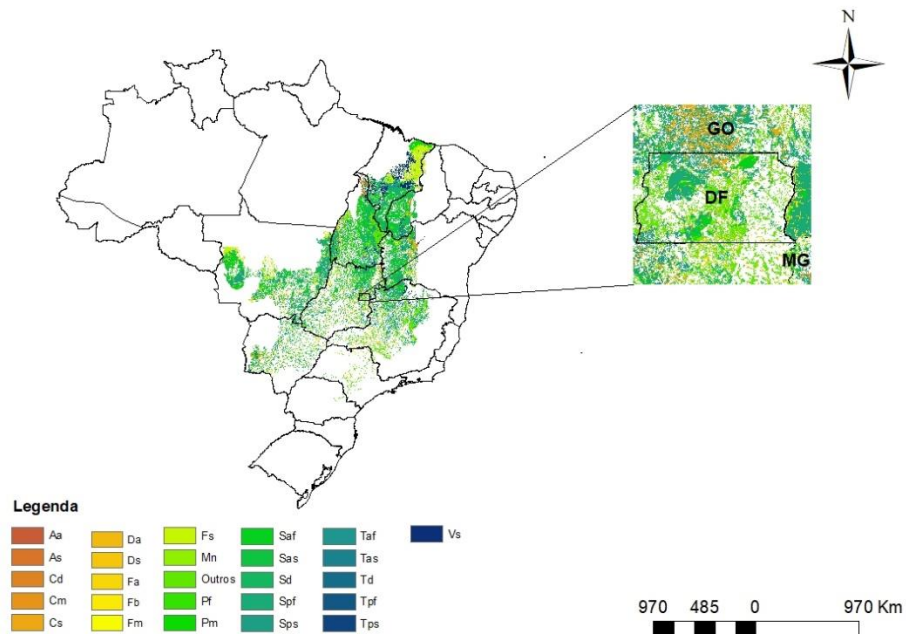


Figura 4 - Classificação da vegetação do Cerrado.

### 3.4.2 Inventário Florestal

O inventário florestal realizado na área de estudo seguiu o processo de amostragem aleatório, com doze parcelas de 10m x 10m (100 m<sup>2</sup>) em quatro diferentes sítios (regiões) envolvendo as diferentes tipologias florestais e savânicas. Nas parcelas, foram amostradas todas as árvores que apresentaram diâmetro a 1.3 m do solo (DAP) igual ou superior a 5 cm para formações florestais e à altura da base (Db) igual ou superior a 5 cm para formação savânica.

Posteriormente, as árvores de cada parcela, foram abatidas, cubadas e a biomassa de cada indivíduo foi calculada.

### 3.4.3 Determinação da biomassa

A quantificação da biomassa foi realizada com base na metodologia de MIGUEL (2014), através do peso verde dos diferentes compartimentos (folhas, galhos, fuste e casca) dos indivíduos e posteriormente separados para determinação do peso seco.

Os dados de peso úmido e seco foram calculados através do coeficiente de relação entre massa seca e massa úmida (MIGUEL et al., 2017a). O coeficiente é obtido da seguinte forma:

$$C_R = \frac{M_{0\%}}{M_U}$$

Em que:

$C_R$  = Coeficiente da relação;

$M_{0\%}$  = Peso verde da amostra (g ou kg);

$M_U$  = Peso seco da amostra (g ou kg).

### 3.4.4 Base de dados

Foram utilizados dados de amostragem destrutiva coletados do Inventário Florestal Nacional, distribuídos em formações florestais e savânicas, com pontos amostrais aleatórios. Todas as árvores mensuradas no inventário, com DAP (diâmetro a 1.3 m do solo)  $\geq 5$  cm e Db (diâmetro a 0.30 m do solo)  $\geq 5$  cm e foram utilizadas.

Nosso conjunto de dados estão distribuídos entre formações florestais (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão) e formação savânica (Cerrado *sensu stricto*) (Tabela 8).

Tabela 8 - Informações da base de dados utilizada em cada fitofisionomia.

Tipologia	Quant. de árvores	D médio	D mín	D máx	H médio	H mín	H máx	Quant. de espécies
Mata de Galeria	47	13,57	5,57	37,36	10,56	3,45	15,20	16
Mata Seca	55	10,89	5,00	39,00	7,22	3,25	15,70	34
Cerradão	80	12,52	5,30	49,00	10,26	3,80	24,50	34

**Continua...**



### Continuação...

Tipologia	Quant. de árvores	D médio	D mín	D máx	H médio	H mín	H máx	Quant. de espécies
Cerrado <i>sensu</i> <i>stricto</i>	192	11,28	5,00	32,30	3,88	1,00	11,10	44

Quant. de árvores = quantidade de árvores amostradas em cada fitofisionomia; D médio = diâmetro médio (cm); D mín = diâmetro mínimo (cm); D máx = diâmetro máximo (cm); H médio = altura média (m); H mín = altura mínima (m); H máxima = altura máx (m); Quant. de espécies = quantidade de espécies em cada fitofisionomia.

Para análise da exclusividade das espécies entre as fitofisionomias (Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão, Cerrado *sensu stricto*) foi confeccionado o diagrama de Venn utilizando o InteractiVenn (HEBERLE et al., 2015). Esse diagrama é utilizado para visualizar as interações entre os vários conjuntos de dados (LAM et al., 2016) com base na presença e ausência das espécies.

### 3.4.5 Ajustes dos modelos de biomassa

Todos os dados passaram por uma análise preliminar para garantir a distribuição normal por meio do teste de Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0.05$ ) e remoção dos outliers, quando detectados pelo Teste Q Dixon. Foram testados, combinados, adaptados e desenvolvidos um conjunto de modelos alométricos específicos para cada fitofisionomia, modelo genérico e modelo de formação florestal. Selecionamos oito modelos que apresentaram melhor desempenho (Tabela 9) para estimativa de biomassa, referentes à Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão, Cerrado *sensu stricto*, para o conjunto de dados genéricos (dados que compreende todas as fitofisionomias) e o conjunto de formação florestal que correspondem as três fitofisionomias do Cerrado (Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão).

Tabela 9 - Modelos alométricos ajustados para estimar biomassa seca acima do solo para formações Florestal e Savânica.

Modelos		Famílias
$Y = \beta_0. DAP^{\beta_1}. HT. d^{\beta_2} + \varepsilon$	(1)	Não-linear
$Y = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1. HT} \cdot \sqrt{d^{\beta_2}} + \varepsilon$	(2)	Não-linear
$Y = \frac{DAP^2}{\beta_0 + \beta_1. DAP^2 + \beta_2. HT + (\frac{1}{d})^{\beta_3}} + \varepsilon$	(3)	Não-linear
$Y = \beta_0. DAP^{\beta_1}. HT^{\beta_2}. d^{\beta_3} + \varepsilon$	(4)	Não-linear
$Y = \beta_0 + \beta_1. DAP^2. HT. d + \varepsilon$	(5)	Linear
$Y = \beta_0. (d. DAP^2. HT)^{\beta_1} *$	(6)	Não-linear
$Y = \frac{\beta_0. \beta_1 + \beta_2. X^{\beta_3}}{\beta_1 + X^{\beta_3}} + \varepsilon$	(7)	Não-linear
$Y = \beta_0. DAP^{\beta_1}. HT^{\beta_2} + \varepsilon$	(8)	Não- linear

Y= biomassa estimada (kg); DAP=diâmetro a 1.3 m do solo (cm); Db= diâmetro a 0.30 m do solo para formações savânicas (cm); HT=altura total da árvore (m); d=densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>); X=DAP<sup>3</sup>.HT.d; β=coeficientes a serem ajustados; ε=erro associado ao modelo; \*Modelo de CHAVE et al. (2014).

As variáveis independentes utilizadas nos modelos são DAP (diâmetro a 1.3 m do solo para formações florestais), Db (diâmetro a 0.30 m do solo para formações savânicas), HT (altura total da árvore) e d (densidade básica da madeira). Esses parâmetros são os mais importantes na previsão da biomassa (CHAVE et al., 2005).

Parte das árvores cubadas (80%) foram usadas para realizar os ajustes e conseqüentemente 20% foram designados aleatoriamente para realização do teste qui-quadrado para validação.

Os ajustes dos modelos lineares e não-linear foram realizados utilizando o *Software* Statistica 7.0. Os modelos de regressão linear foram ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e os modelos não-lineares utilizando o método

de Levenberg-Marquardt (LM) (LEVENBERG, 1944; MARQUARDT, 1963). O programa CurveExpert 1.4 também foi utilizado para o ajuste do modelo sigmoidal.

### **3.4.6 Densidade da madeira**

Os dados das densidades a nível de espécies, utilizados nos modelos de predição de biomassa, foram obtidos a partir de pesquisas na literatura (Apêndice 13) porém, devido à falta de informações, alguns indivíduos foram identificados à nível de gênero. A densidade da madeira é uma variável importante na estimativa da biomassa e se correlaciona com propriedades morfológicas, mecânicas, fisiológicas e ecológicas das plantas (CHAVE et al., 2006).

### **3.4.7 Coeficientes utilizados para o modelo de pantropical de CHAVE et al. (2014)**

O modelo 6, desenvolvido por CHAVE et al. (2014) conhecido como modelo pantropical, foi utilizado para comparar com os modelos locais e genéricos desenvolvidos no trabalho. Esse modelo inclui um total de 4004 árvores com diâmetro variando de 5 a 212 cm. Sendo assim, os coeficientes utilizados para ajuste desse modelo é o mesmo proposto por tal trabalho, onde:

$$Y = \beta_0 \cdot (d \cdot DAP^2 \cdot HT)^{\beta_1}$$

Em que:

Y= biomassa estimada (kg);

d = densidade da madeira (g/cm<sup>3</sup>);

DAP = diâmetro a 1.3 m do solo (cm);

HT = altura total da árvore (m);

$\beta_0 = 0.0673$ ;

$\beta_1 = 0.9760$ .

### 3.4.8 Critérios de seleção dos ajustes dos modelos

As escolhas dos melhores modelos para a estimativa de biomassa basearam-se nos critérios de ajuste e seleção segundo (DRAPER; SMITH, 1981): coeficiente de correlação ( $r$ ), erro padrão da estimativa em percentual ( $Sy_x\%$ ), verificação da homoscedasticidade e normalidade através da análise gráfica dos resíduos. Foram utilizados, também, o gráfico de observados versus preditos (PIÑEIRO et al., 2008) e o histograma de frequência em classes de erros relativos (CAMPOS; LEITE, 2017) para selecionar o melhor modelo.

### 3.4.9 Validação dos modelos ajustados

Após a seleção do modelo, o mesmo foi submetido a um teste de validação, com o objetivo de avaliar a eficiência do modelo selecionado. Para o mencionado teste foram utilizados 20% do total do número de indivíduos para cada fitofisionomia. O teste escolhido para validação dos resultados foi o teste qui-quadrado.

As premissas de normalidade dos resíduos nos 20% de indivíduos utilizados para validação não foram atendidas, assim, foi realizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ( $\alpha = 0.05$ ) para verificar diferenças estatísticas entre os modelos genéricos e específicos com os valores reais.

Foi realizado também um teste de acuracidade, utilizando o método da diferença agregada (MIGUEL et al., 2015) que indica a existência de tendências. Esse teste foi aplicado para os modelos específicos, genérico e de formação florestal frente ao valor real da biomassa total. O método da diferença agregada é calculado da seguinte forma:

$$DA = \frac{\Sigma Y_{obs} - \Sigma Y_{est}}{\Sigma Y_{obs}} \cdot 100$$

Em que:

DA= diferença agregada em percentagem;

$\Sigma Y_{obs}$  = somatório dos valores da biomassa real (kg);

$\Sigma Y_{est}$  = somatório dos valores da biomassa estimada pelo modelo (kg).

## 3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.5.1 Exclusividade das espécies

Através do diagrama de Veen (Figura 5) foi possível observar que há um maior número de espécies exclusivas nas diferentes fitofisionomias e quais fitofisionomias aproximam mais umas das outras. A fitofisionomia Mata de Galeria compartilhou duas espécies com o Cerradão, a Mata Seca e o Cerradão compartilharam espécies com as demais fitofisionomias e o Cerrado *sensu stricto* só compartilhou com as fitofisionomias de Mata Seca e Cerradão. A espécie *Byrsonima pachyphylla* A.Juss. foi a única que é comum em três fitofisionomias. A Mata de Galeria e o Cerrado *sensu stricto* não compartilharam espécies devido as diferenças locais nas condições ambientais, o que sustenta a diferenciação na composição de espécies (LENZA et al., 2015).

Assim, a utilização de modelos específicos influencia na estimativa de biomassa, já que a maioria das espécies são exclusivas nas diferentes tipologias do Cerrado e nenhuma espécie foi comum às quatro tipologias estudadas.

Uma vez que há diferenças estruturais significativas entre as fitofisionomias, indicando que indivíduos com tipos de vegetação mais densa investem mais em crescimento ascendente do que em diâmetro (SANTOS et al., 2015), a utilização de modelos genéricos podem não relacionar essa variação e superestima ou subestimar a biomassa nas diferentes fitofisionomias do Cerrado.

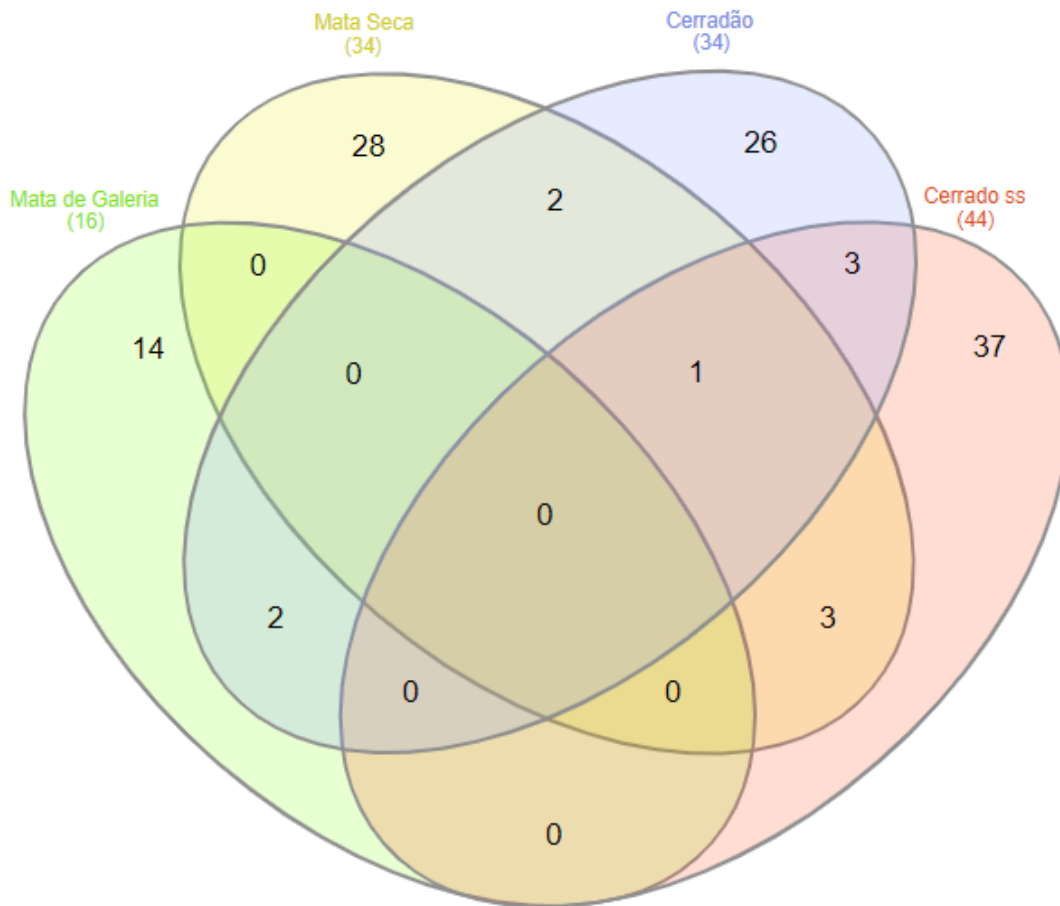


Figura 5 - Diagrama de Venn ilustrando o compartilhamento e exclusividade das espécies para as diferentes fitofisionomias no estudo de biomassa acima do solo.

### 3.5.2 Ajuste dos modelos alométricos para estimativa de biomassa

A partir do conjunto de dados, foram ajustados os oito modelos alométricos para a estimativa de biomassa para a base genérica, formação florestal e para o conjunto de dados específicos, que correspondem a Mata de Galeria, Mata Seca, Cerradão, Cerrado *sensu stricto*, os resultados de seus ajustes e precisão são apresentados na Tabela 10. Os resíduos dos modelos selecionados apresentaram normalidade (Teste de Shapiro-Wilk).

Tabela 10 - Estimativas dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos ajustados para estimar biomassa seca acima do solo para as fitofisionomias.

Modelos		Parâmetros				r	Syx(%)
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$		
Mata de	1	0,0476	1,8016	0,1551	-	0,76	44,19
Galeria	2	8,6411	-0,3730	-0,2107	-	0,77	40,42
	<b>3</b>	<b>8,9056</b>	<b>0,0008</b>	<b>-0,5541</b>	<b>0,5114</b>	<b>0,77</b>	<b>36,65</b>
	4	0,0545	1,8139	0,9336	0,1580	0,76	45,37
	5	11,4564	0,0349	-	-	0,76	46,68
	6	0,0673	0,9760	-	-	0,55	97,73
	7	1,7000	986000	128000	0,6230	0,88	49,36
	8	0,0468	1,8294	0,9410	-	0,77	44,74
Mata	1	0,0393	2,0970	1,0262	-	0,98	27,79
Seca	2	3,5414	-0,1530	1,8608	-	0,98	28,22
	3	2,8440	0,0002	-0,1926	1,3592	0,98	29,53
	<b>4</b>	<b>0,0273</b>	<b>1,9333</b>	<b>1,3422</b>	<b>0,8980</b>	<b>0,98</b>	<b>25,64</b>
	5	-3,8615	0,0548	-	-	0,98	27,54
	6	0,0673	0,9760	-	-	0,98	29,41
	7	945	945	0,00001	1,2200	0,96	41,54
	8	0,0033	1,4989	2,6094	-	0,94	51,17
Cerradão	1	0,1906	1,7746	1,9878	-	0,98	31,72
	2	1,2998	-0,0280	2,7342	-	0,98	26,66
	3	0,4572	0,00004	-0,0466	1,3811	0,98	27,43
	4	0,2236	2,0136	0,5646	1,0872	0,98	28,24
	5	6,1347	0,0658	-	-	0,97	35,44
	6	0,0673	0,9760	-	-	0,92	61,17
	<b>7</b>	<b>1,200</b>	<b>193000</b>	<b>11600</b>	<b>0,7500</b>	<b>0,98</b>	<b>30,02</b>
	8	0,1061	2,3253	0,3352	-	0,98	32,56

Continua...

**Continuação...**

Modelos		Parâmetros				r	Syx(%)	
		$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$			
Cerrado	1	0,0443	2,0785	0,0496	-	0,71	32,83	
	<i>sensu</i>	2	7,8866	-0,7797	0,3713	-	0,73	32,21
	<i>stricto</i>	3	8,9282	-0,0331	-0,5734	0,6609	0,75	32,67
	4	<b>0,0296</b>	<b>2,5870</b>	<b>0,4926</b>	<b>0,1307</b>	<b>0,75</b>	<b>32,22</b>	
	5	2,2241	0,0637	-	-	0,63	37,78	
	6	0,0673	0,9760	-	-	0,58	45,98	
	7	2,0800	74100	27,1000	1,5500	0,77	34,00	
	8	0,0272	2,5825	0,5174	-	0,75	32,50	
Genérico	1	0,0803	1,9544	1,3328	-	0,91	65,59	
	2	1,7207	-0,0471	2,8303	-	0,92	61,72	
	3	1,2668	-0,00009	-0,0751	1,4943	0,93	57,07	
	4	<b>0,1115</b>	<b>2,1874</b>	<b>0,5667</b>	<b>1,2413</b>	<b>0,93</b>	<b>60,79</b>	
	5	6,2604	0,0618	-	-	0,91	66,22	
	6	0,0673	0,9760	-	-	0,89	74,83	
	7	3,0200	412000	21100	0,748	0,91	66,13	
	8	0,0237	2,3733	0,7464	-	0,87	82,81	
Formação Florestal	1	<b>0,0547</b>	<b>2,0706</b>	<b>1,6238</b>	-	<b>0,94</b>	<b>53,09</b>	
	2	1,6035	-0,0443	3,4724	-	0,94	53,71	
	3	1,2900	-0,00007	-0,0829	1,7228	0,94	50,55	
	4	0,0581	2,0845	0,9588	1,6029	0,94	53,20	
	5	-3,5480	0,0604	-	-	0,93	56,90	
	6	0,0673	0,9760	-	-	0,92	66,22	
	7	1,8900	565000	20400	0,7740	0,92	61,15	
	8	0,0049	2,5019	1,1310	-	0,87	79,74	

$\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  = coeficientes ajustados; r = coeficiente de correlação; Syx = erro padrão da estimativa.



Os modelos ajustados apresentaram valores para o coeficiente de correlação ( $r$ ), variando entre 0.55 a 0.98 para as diferentes fitofisionomias. Mata de Galeria e Cerrado *sensu stricto* foram as tipologias que apresentaram menores valores de coeficiente de correlação. Essa medida de precisão, indica que a variação total dos dados é explicada pelo modelo (LIMA et al., 2017), sendo que valores maiores de ( $r$ ) representam maiores semelhanças entre os valores estimados e os valores medidos (VAHEDI, 2016).

O erro padrão da estimativa (Syx%), apresentou valores entre 25.64% a 97.73%, logo essa estimativa mede a dispersão média entres os valores observados e estimados, valores menores indicam melhores ajustes (RUFINI et al., 2010; MIGUEL et al., 2016; VAHEDI, 2016). Essa variação demonstra heterogeneidade das características dendrométricas do Cerrado (OLIVEIRA et al., 2019).

O desempenho dos modelos pode ser explicado também pelas interpretações visuais como os gráficos de resíduos, observados versus preditos e histograma de frequência (veja os Apêndices 7, 8, 9, 10, 11, 12). Alternativas de interpretação gráfica como essas são necessárias na qualidade do ajuste (JARA et al., 2015; CAMPOS; LEITE, 2017) e na escolha de um modelo, considerando que erros de tendência podem ocorrer e não ser percebidos pelas demais estatísticas (MIGUEL et al., 2015).

Os modelos ajustados para Mata de Galeria apresentaram um coeficiente de correlação entre 0.55 a 0.88. O erro padrão da estimativa teve uma variação de 36.65% a 97.73%. O modelo (3) ( $r = 0.77$ , Syx = 36.65%) apresenta melhor medidas de precisão, com homogeneidade dos resíduos variando entre -71.23% a 69.73% (Figura 6: 1A). A biomassa estimada e observada desse modelo está próxima à linha de inclinação de 45°, o que demonstra como as estimativas do modelo são distribuídas (Figura 6: 1B) e a maior frequência de erros pertencendo à classe de  $\pm 25\%$  (Figura 6: 1C).

Em fitofisionomias de Mata de Galeria, atualmente, não existe um modelo alométrico local para estimar biomassa. Logo, para qualquer estimativa de biomassa nessa fitofisionomia será necessária a aplicação de modelos locais de outras áreas. Regiões mais próximas ao curso de água apresentam maiores estoques de carbono e biomassa (DELITTI et al., 2006; NUNES et al., 2018; ZIMBRES et al., 2020) e o desenvolvimento de modelos para essa tipologia poderiam aumentar o conhecimento nessas áreas, já que são importantes na preservação da qualidade da água. As medidas de

precisão e seus respectivos gráficos, demonstram que o modelo (3), proposto no trabalho é o que melhor estima a biomassa em Mata de Galeria.

Para Mata Seca, os modelos resultaram em correlação no valor de 0.98, com exceção dos modelos (7) e (8) e Syx% com variação entre 25.64% a 51.17%. O modelo (4) ( $r = 0.98$ ,  $Syx = 25.64\%$ ) foi considerado o mais adequado, com melhor medidas de precisão e suas análises gráficas foram determinantes para a escolha desse modelo. A interpretação gráfica da análise dos resíduos demonstra homogeneidade (Figura 6: 2A), com os valores de biomassa estimadas e observadas próximos à linha de inclinação (Figura 6: 2B) e a maior frequência de erros pertencendo às classes entre  $\pm 25\%$  (Figura 6: 2C).

Resultados previstos pelo modelo (4) são semelhantes aos de outros estudos, que apresentam  $r$  entre 0.67 a 0.98 e Syx entre 12.3% a 139.68% em Mata Seca (SCOLFORO et al., 2008; ROCHA, 2011; MIRANDA, 2015). Entretanto, nenhum estudo aqui referido usou a densidade da madeira como variável independente.

A densidade está associada ao crescimento da planta, espécies com baixa densidade estão associadas a um crescimento rápido, enquanto espécies de alta densidade estão associadas a um crescimento lento (CHAVE et al., 2009) e a quantidade de massa que representa a densidade está ligada aos estoques de carbono (NAM et al., 2018). Portanto, a inclusão da densidade básica da madeira em modelos para estimar a biomassa seca é um importante traço funcional, que descreve o investimento ou armazenamento de carbono (CHAVE et al., 2009), está relacionada com a estimativa da biomassa (BAKER et al., 2009; FELDPAUSCH et al., 2012; MITCHARD et al., 2014; DJOMO et al., 2016) e aumenta a eficiência dos modelos de predição de biomassa (MUGASHA et al., 2016; NAM et al., 2016; AABEYIR et al., 2020; PUC-KAUIL et al., 2020).

No Cerradão, os modelos ajustados apresentaram um coeficiente de correlação com valores altos entre 0.92 a 0.98. Quanto ao erro padrão da estimativa, houve uma variação entre 26.66% a 61.17%. Os modelos que apresentaram parâmetros de coeficiente de correlação e erro padrão da estimativa superiores não foram apresentados como os melhores devido suas análises gráficas. O modelo (7) ( $r = 0.98$ ,  $Syx = 30.02\%$ ) foi selecionado como melhor modelo, já que apresentava gráfico de resíduos com distribuição homogênea (Figura 6: 3A), valores de biomassa estimados e observados

distribuídos de forma uniforme ao longo da linha de inclinação (Figura 6: 3B) e maior frequência de erros nas classes centrais  $\pm 25\%$  (Figura 6: 3C).

Estudos na fitofisionomia Cerradão apresentaram coeficiente de correlação entre 0.91 a 0.97 e erro padrão da estimativa entre 22.76 a 28% (MIGUEL et al., 2015, 2017a, 2017b). Esses estudos não consideram a densidade em seus modelos, e como dito anteriormente, essa variável é importante para estimativa de biomassa.

Na fitofisionomia para o Cerrado *sensu stricto*, verifica-se que os melhores coeficiente de correlação variaram entre 0.58 a 0.77 com erro padrão da estimativa entre 32.21% a 45.98%. O modelo (4) ( $r = 0.75$ ,  $Sy_x = 32.22\%$ ) é o que melhor estima a biomassa nessa fitofisionomia, com distribuição homogênea dos resíduos variando de -74.18% a 56.37% (Figura 6: 4A), biomassa estimada e observada próximo à linha de 45° (Figura 6: 4B) e a frequência de erros nas classes centrais (Figura 6: 4C).

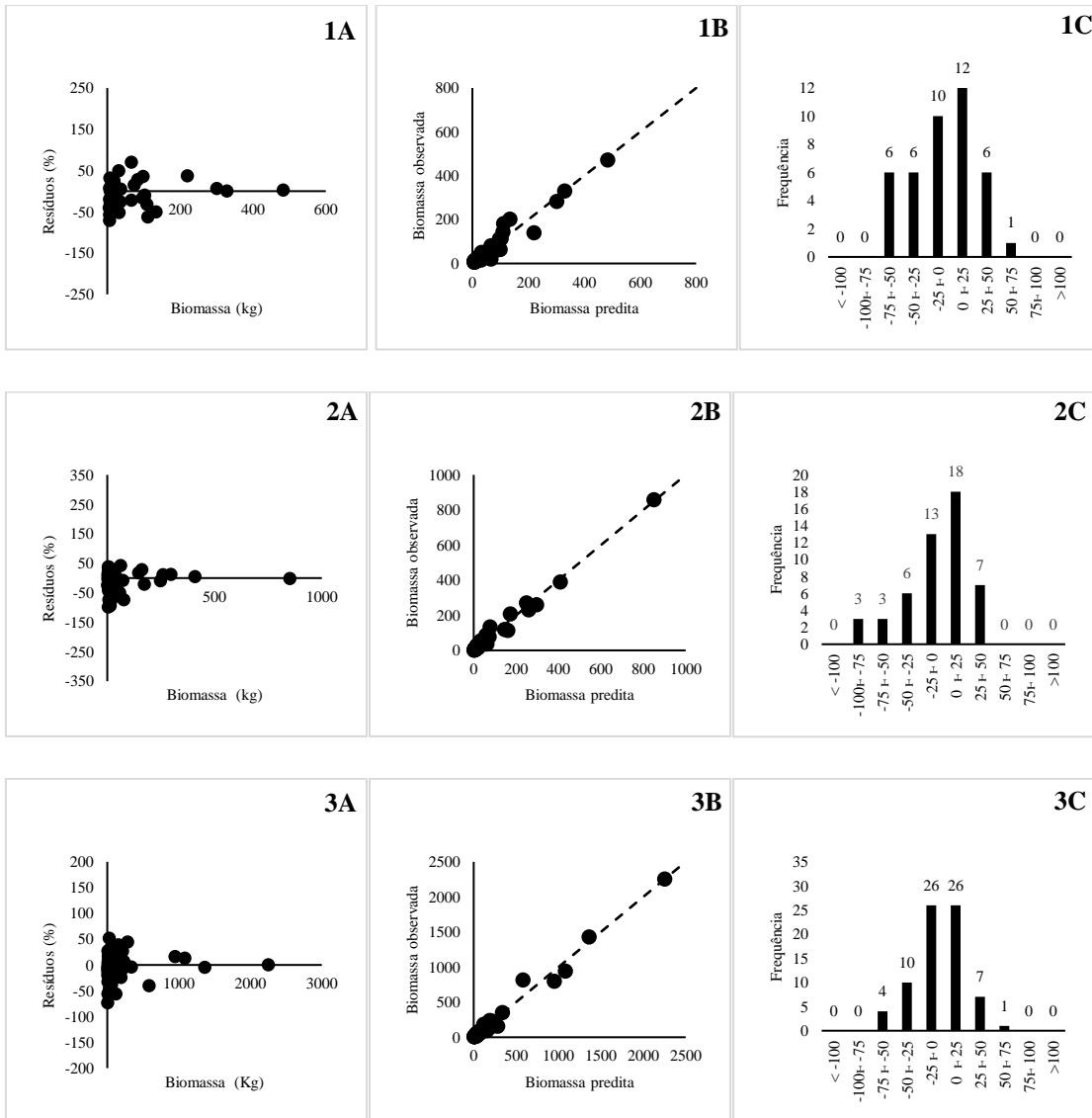
Alguns estudos encontraram resultados altos de erro padrão da estimativa em Cerrado *sensu stricto* (REZENDE et al., 2006; RIBEIRO et al., 2011). Valores altos de erro padrão, refletem a variabilidade real da natureza, uma intensidade de amostragem maior poderia melhorar a relação da regressão (REZENDE et al., 2006). Também nesses estudos, os autores encontraram maiores coeficientes de correlação variando entre 0.89 a 0.98, cabe ressaltar que apenas um modelo (RIBEIRO et al., 2011) testou modelo combinando DAP, altura e densidade da madeira.

O modelo genérico apresentou coeficiente de correlação entre 0.87 a 0.93 e erro padrão da estimativa entre 57.07% a 82.81%. O modelo (4) ( $r = 0.93$ ,  $Sy_x = 60.79\%$ ) representa o modelo genérico, com melhores medidas de precisão, homogeneidade dos resíduos (Figura 6: 5A), valores de biomassa estimada e observada próximos a inclinação da reta (Figura 6: 5B) e concentração de erros entre as classes centrais de  $\pm 25\%$  (Figura 6: 5C).

Elevados valores de erro da estimativa no modelo genérico, se devem à heterogeneidade de uma amostra típica das árvores nativas, onde a variação das copas é muito grande (SCOLFORO et al., 2008) e das características dendrométricas (DAP e altura) (OLIVEIRA et al., 2019) observadas no Cerrado.

Já para a formação florestal, os modelos apresentaram uma variação do coeficiente de correlação entre 0.87 a 0.94 e um erro padrão da estimativa entre 50.55% a 79.74%. O

modelo (1) ( $r = 0.94$ ,  $Syx = 53.09\%$ ) apresenta-se com as melhores medidas de precisão, com menor tendência em superestimar biomassa e gráfico de resíduos entre  $-93.23\%$  a  $83.29\%$  (Figura 6: 6A). Os valores estimados e observados de biomassa estão distribuídos próximos a linha de inclinação (Figura 6: 6B) e as frequências de erros nas classes centrais (Figura 6: 6C).



Continua...

Continuação...

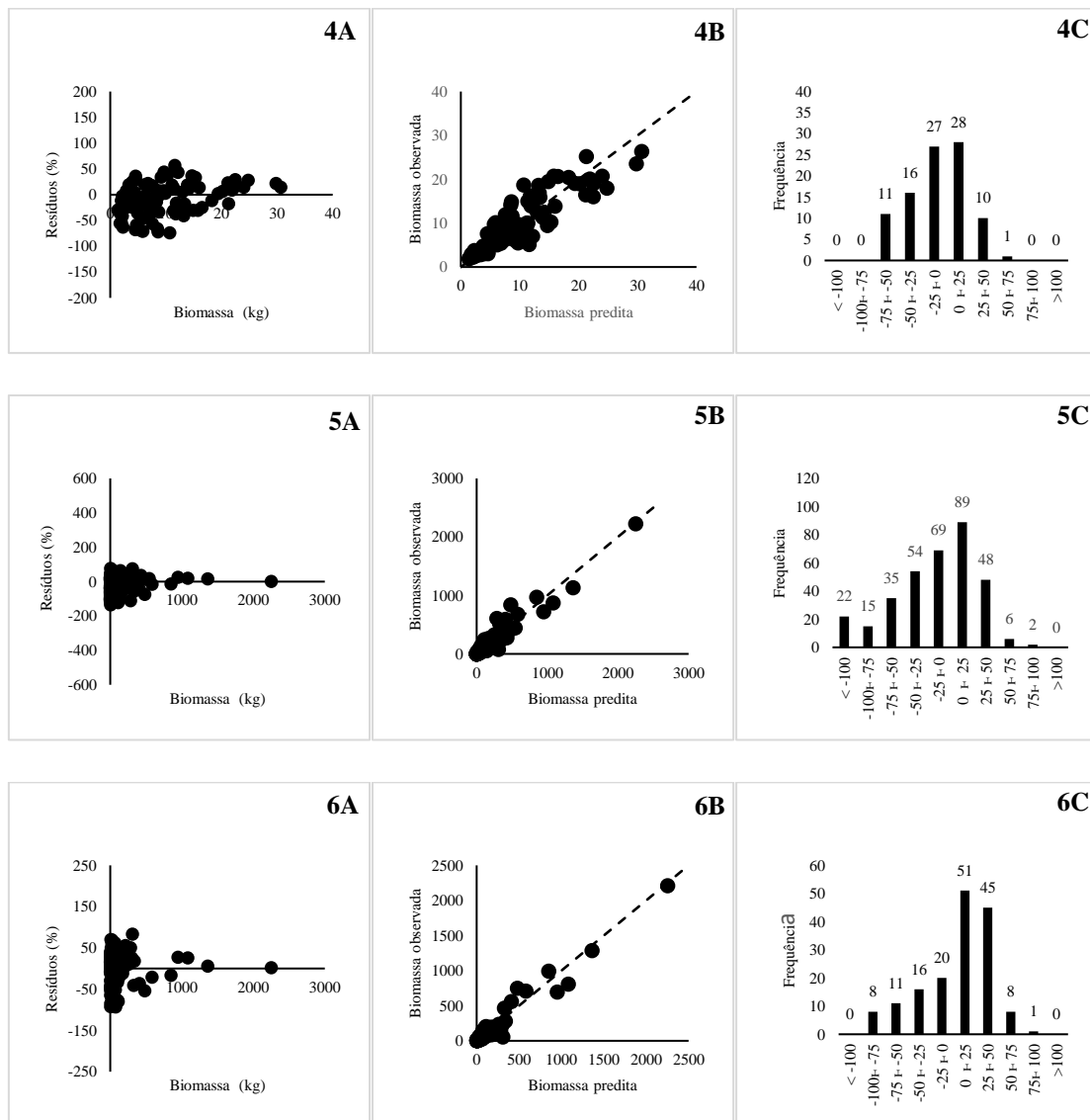


Figura 6 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para os modelos escolhidos de Mata de Galeria (1), Mata Seca (2), Cerradão (3), Cerrado *sensu stricto* (4), modelo genérico (5) e formação florestal (6).

No geral o modelo (6), que é conhecido como modelo pantropical de CHAVE et al. (2014), apresentou as piores medidas de precisão quando comparado aos modelos desenvolvidos neste estudo (Tabela 6). Esse resultado confirma a importância de formulações de equações alométricas no bioma Cerrado.

A única fitofisionomia que o modelo pantropical apresenta uma ligeira melhora na estimativa das medidas de precisão foi a Mata Seca. Essa fitofisionomia é classificada como formação florestal e aproxima do conjunto de dados iniciais de floresta tropical seca, incluída no estudo de CHAVE et al. (2014).

Já a Mata de Galeria por ser considerada uma fitofisionomia complexa (NUNES et al., 2018) com coberturas herbáceas, altura do dossel e profundidade da serapilheira maiores (CAMARGO et al., 2018), forneceu a pior estimativa das medidas de precisão para o modelo pantropical.

Estudos já demonstraram que aplicação de modelos genéricos ou modelos pantropicais fora do domínio onde foram desenvolvidos resultam em erros associadas à estimativa de biomassa (FONSECA et al., 2012; NGOMANDA et al., 2014; HUY et al., 2016; MENSAH et al., 2016; ABICH et al., 2019).

Em estudos na Amazônia brasileira, o erro padrão da estimativa apresentou valores entre 10.6% a 14.8% para modelos pantropicais enquanto o modelo local mostrou 5.63% (LIMA et al., 2012). Em trabalhos na Amazônia Central o modelo de CHAVE et al. (2014) superestimou a biomassa quando comparado com modelos locais (MARRA et al., 2016). Em florestas de savana de Gana, modelos locais e o modelo de CHAVE et al. (2014) foram comparados e os resultados consideraram o modelo local como o melhor para estimar biomassa (AABEYIR et al., 2020). Viés também foram relatados na aplicação do modelo de CHAVE et al. (2005) na região da Mata Atlântica (NOGUEIRA et al., 2014).

Modelos pantropicais apresentam um grande conjunto de banco de dados que compreendem regiões da Ásia, América Central, Austrália, Amazônia Oriental e Central e África (CHAVE et al., 2005; FELDPAUSCH et al., 2012; CHAVE et al., 2014), mas não incluem a vegetação do Cerrado e usam o diâmetro da altura do peito como variável independente, sem considerar que no Cerrado *sensu stricto* é recomendado medir o diâmetro à 0.30 m acima do solo como propõem alguns trabalhos (FELFILI et al. 2005; REZENDE et al., 2006).

A combinação de medidas de árvores pertencentes a várias espécies, coletadas em locais diferentes e com variedade de condições ambientais daquelas onde os modelos foram desenvolvidos (LEWIS et al., 2013), podem produzir uma relação estatística que fornece uma estimativa aproximada das propriedades do bioma e não são consistentes

com as leis ecológicas (GOUSSANOU et al., 2016) Essas estimativas serão bastante imprecisas para qualquer indivíduo em particular, sendo necessário saber a localização geográfica em que o modelo foi desenvolvido e seu grau de generalidade (MBOW et al., 2014). Uma única fórmula matemática pode não ser capaz de reproduzir a variação da floresta natural e pode afetar na qualidade do ajuste do modelo, o que fornece estimativas falsas (SANQUETTA et al., 2015).

Este estudo está entre as primeiras iniciativas no Cerrado em desenvolver equações locais e genéricas de biomassa acima do solo em diferentes fitofisionomias. Com o desenvolvimento de outros modelos alométricos, ou a expansão da base de dados, áreas do Cerrado como regiões do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), poderiam ser estudadas já que nessas regiões faltam conhecimento das reais quantidades e padrões da biomassa armazenado na vegetação lenhosa acima do solo (DIONIZIO et al., 2020).

Trabalhos como esse são importantes para reduzir as incertezas na estimativa de biomassa, contribui para avaliação e monitoramento do ciclo global do carbono e estima a biomassa de forma correta em grandes áreas do bioma, considerando a estrutura do Cerrado, como altura, diâmetro e densidade da madeira.

Modelos nas diferentes fitofisionomias do Cerrado, refletem a estrutura da floresta, dada a grande diversidade de espécies, produz estimativas não tendenciosas na avaliação do balanço de carbono (KEBEDE; SOROMESSA, 2018) e melhoram a precisão das estimativas de biomassa, impulsionados pela formulação de políticas climáticas (ROJAS-GARCÍA et al., 2015). Esses modelos oferecem uma alternativa aos modelos genéricos e podem ser mais bem ajustados às espécies locais e suas formas de crescimento (VORSTER et al., 2020). Sugerimos que os modelos locais gerados nesse estudo, sejam utilizados em escalas pequenas e com correta identificação da fitofisionomia existente. Já o modelo genérico e o de formação florestal desenvolvidos, devem ser utilizados em grande escala como por exemplo, no monitoramento de projetos de REDD+ (NAM et al., 2016) para reduzir as incertezas no balanço de carbono em áreas do Cerrado.

Dificuldades na construção dos modelos genéricos e específicos podem ser encontradas principalmente em relação à amostragem destrutiva de árvores, que é uma tarefa onerosa, maior extensão de áreas nativas (ROITMAN et al., 2018) e pequeno

tamanho de amostra para estimar a biomassa. Pesquisas futuras, podem considerar a combinação da estimativa de biomassa com os dados de inventários florestais a partir de técnicas de sensoriamento remoto (ALMEIDA et al., 2014) e de redes neurais (NANDY et al., 2017).

Percebemos que a inclusão da variável densidade da madeira na predição de biomassa em fitofisionomias do Cerrado, melhoram o ajuste do modelo. Assim, para todas as fitofisionomias analisadas, o modelo (8) que desconsiderou a variável preditora densidade, apresentou medidas de precisão inferiores aos modelos analisados nesse trabalho.

Vários estudos sugerem a importância de considerar as variáveis dendrométricas (DAP, altura e densidade) na formulação de modelos de regressão de biomassa (CHAVE et al., 2014; DABA; SOROMESSA, 2019; ROMERO et al., 2020). Infelizmente, ainda faltam informações sobre os valores de densidade em áreas do Cerrado brasileiro (RIBEIRO et al., 2011).

Entender como a densidade da madeira pode influenciar na biomassa também é necessário, devido a sua importância na estimativa de biomassa arbórea (HENRY et al., 2010), visto que são escassos estudos que utilizem essa variável combinada com diâmetro e altura na estimativa de modelos para o bioma Cerrado.

### **3.5.3 Validação dos modelos de biomassa**

De acordo com os resultados (Tabela 11), o teste de qui-quadrado não apresentou diferenças estatísticas entre os valores reais de biomassa e os estimados pelos modelos, o que comprova a confiabilidade das estimativas geradas pelos modelos selecionados.



Tabela 11 - Estatística do teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) a 95% de probabilidade nas diferentes tipologias para estimativa de biomassa acima do solo.

Fitofisionomia	$\chi^2$ calculado	$\chi^2$ tabelado
Mata de Galeria	0,68	2,16
Mata Seca	1,39	3,32
Cerradão	0,76	6,57
Cerrado <i>sensu stricto</i>	2,57	9,39
Genérico	14,56	51,73
Formação Florestal	6,57	19,28

7 graus de liberdade em Mata de Galeria; 9 graus de liberdade em Mata Seca; 14 graus de liberdade em Cerradão; 18 graus de liberdade em Cerrado *sensu stricto*; 67 graus de liberdade no modelo Genérico; 31 graus de liberdade no modelo de Formação Florestal.

O teste de Kruskal-Wallis (Tabela 12), indicou que os dados de modelos genéricos em relação aos modelos específicos não apresentam diferença significativa entre os grupos, o que corrobora com a validação dos modelos selecionados.

A diferença agregada apresentou, no geral, valores negativos para o modelo genérico e de formação florestal. Esses resultados demonstram, que esses modelos resultam em superestimativa de biomassa quando comparado com os modelos específicos. Já os modelos específicos, apresentaram valores menores de diferença agregada e próximos aos valores reais de biomassa.

Tabela 12 - Estatística da diferença agregada (DA%) do modelo genérico, modelo de formação florestal, modelos específicos e do teste de Kruskal-Wallis (H) para biomassa acima do solo.

	Fitofisionomia	Método	DA(%)	H
Genérico	Mata de Galeria	REAL x ESP	-0,91	1,82 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-76,86	
	Mata Seca	REAL x ESP	-0,99	1,77 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-17,65	
	Cerradão	REAL x ESP	-0,74	0,88 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	15,38	
	Cerrado <i>sensu stricto</i>	REAL x ESP	-0,75	0,72 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-15,18	
	Formação Florestal	REAL x ESP	3,15	2,81 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-18,47	
Florestal	Mata de Galeria	REAL x ESP	-0,91	1,22 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-55,03	
	Mata Seca	REAL x ESP	-0,99	0,13 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	-16,45	
	Cerradão	REAL x ESP	-0,74	2,16 <sup>ns</sup>
		REAL x GEN	34,46	

REAL = valores reais; ESP = modelo específico; GEN = modelo genérico; FLOR = modelo florestal; ns: não significativo ao nível de 95% de probabilidade.

Em comparação com a diferença agregada da estimativa de volume, a diferença agregada de biomassa apresentou valores superiores para os modelos genéricos, isso

demonstra a complexidade da biomassa em ser mensurada, pois envolve a variável densidade da madeira além do diâmetro e altura dos indivíduos.

Neste contexto, os modelos específicos fornecem estimativas mais precisas de biomassa. Entretanto, o modelo genérico e o de formação florestal desenvolvidos nesse estudo, também podem ser utilizados em extensas áreas do Cerrado, devido a amplitude de espécies consideradas e as respectivas medidas de precisão analisadas.

### 3.5.4 Validação do modelo de CHAVE et al. (2014) para as diferentes fitofisionomias

De acordo com os resultados (Tabela 13), o teste qui-quadrado revela a existência de diferenças significativas entre os valores reais de biomassa e o estimado pelo modelo de CHAVE et al. (2014). Esse resultado demonstra, que o modelo pantropical de CHAVE et al. (2014) não se aproxima dos valores reais de biomassa calculados nesse estudo.

Tabela 13 - Estatística do teste Qui-Quadrado ( $\chi^2$ ) a 95% de probabilidade para o modelo de CHAVE et al. (2014) nas diferentes tipologias para estimativa de biomassa.

Fitofisionomia	$\chi^2$ calculado	$\chi^2$ tabelado
Mata de Galeria	43,70	2,16
Mata Seca	9,14	3,32
Cerradão	32,20	6,57
Cerrado <i>sensu stricto</i>	28,23	9,39
Genérico	115,93	51,73
Formação Florestal	19,28	16,52

7 graus de liberdade em Mata de Galeria; 9 graus de liberdade em Mata Seca; 14 graus de liberdade em Cerradão; 18 graus de liberdade em Cerrado *sensu stricto*; 67 graus de liberdade no modelo Genérico; 31 graus de liberdade no modelo de Formação Florestal.

Embora alguns trabalhos utilizem o modelo de CHAVE et al. (2014) em áreas de Cerrado (ROITMAN et al., 2018; ZIMBRES et al., 2020) e apresentem uma ampla gama de espécies distribuídas em diferentes regiões tropicais, eles não produzem estimativas confiáveis nas diferentes fitofisionomias do Cerrado. Além disso, os valores do teste qui-quadrado apresentados na Tabela 13 para o modelo de CHAVE et al. (2014) em relação aos modelos específicos, genéricos e florestal mostraram diferenças estatísticas significativas para o modelo pantropical.

Modelos desenvolvidos em regiões tropicais, são mais suscetíveis a tendenciosidade na estimativa de biomassa no Cerrado, por não considerar a complexidade estrutural observada nesse bioma e a variação dos estoques de biomassa em diferentes fitofisionomias (SILVEIRA et al., 2019; ZIMBRES et al., 2020). Assim, os modelos específicos ou genéricos desenvolvidos nesse bioma, são recomendados por apresentarem estimativas mais acuradas quando comparado com o modelo de CHAVE et al. (2014).

Considerando os resultados obtidos nesse estudo e a ausência de espécies do bioma Cerrado na base de dados do modelo pantropical de CHAVE et al. (2014), é necessário cuidado na utilização desse modelo em áreas de Cerrado, o que pode levar a viés na estimativa de biomassa.

### 3.6 CONCLUSÃO

Foram obtidas as seguintes conclusões:

- Os modelos alométricos específicos desenvolvidos, reduzem as incertezas nas estimativas de biomassa acima do solo e contribui para melhorar a modelagem em fitofisionomias do Cerrado, já que suas medidas de precisão foram avaliadas e consideradas satisfatórias;
- O modelo genérico e de formação florestal desenvolvidos, são recomendados para monitorar a biomassa acima do solo em um conjunto grande e representativo de árvores do Cerrado que inclua mais de uma fitofisionomia;
- O modelo de CHAVE et al. (2014) apresentou aplicação limitada na predição de biomassa acima do solo para o conjunto de dados desse estudo. Essa limitação pode surgir, devido as diferenças nas espécies incluídas no modelo pantropical e não observadas no Cerrado;
- Recomendamos a utilização das equações para estimativa de biomassa desenvolvidas em nossa pesquisa, por apresentarem estimativas semelhantes aos valores de biomassa obtidos em campo ou a validação do modelo de CHAVE et al. (2014) antes do uso em estudos futuros para áreas de Cerrado.

### 3.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AABEYIR, R.; ADU-BREDU, S.; AGYARE, W. A.; WEIR, M. J. Allometric models for estimating aboveground biomass in the tropical woodlands of Ghana, West Africa. **Forest Ecosystems**, v. 7, n. 1, p. 1–23, 2020.

ABICH, A.; MUCHEYE, T.; TEBIKEW, M.; GEBREMARIAM, Y.; ALEMU, A. Species-specific allometric equations for improving aboveground biomass estimates of dry deciduous woodland ecosystems. **Journal of Forestry Research**, v. 30, n. 5, p. 1619–1632, 2019.

ALMEIDA, A. Q. DE.; DE MELLO, A. A.; NETO, A. L. D.; FERRAZ, R. C. Relações empíricas entre características dendrométricas da Caatinga brasileira e dados TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 306–315, 2014.

ALVAREZ, E.; DUQUE, A.; SALDARRIAGA, J.; CABRERA, K.; DE LAS SALAS, G.; DEL VALLE, I.; LEMA, A.; MORENO, F.; ORREGO, S.; RODRÍGUEZ, L. Tree above-ground biomass allometries for carbon stocks estimation in the natural forests of Colombia. **Forest Ecology and Management**, v. 267, p. 297-308, 2012.

AZEVEDO, G. B. DE. ; REZENDE, A. V.; AZEVEDO, G. T. D. O. S.; MIGUEL, E. P.; DE GOIS AQUINO, F.; BRUZINGA, J. S. C.; DE OLIVEIRA, L. S. C.; PEREIRA, R. S.; TEODORO, P. E. Woody biomass accumulation in a Cerrado of Central Brazil monitored for 27 years after the implementation of silvicultural systems. **Forest Ecology and Management**, v. 455, p. 117718, 2020.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; LAURANCE, W. F.; PITMAN, N. C.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; DIFIORE, A.; ERWIN, T.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; NASCIMENTO, H.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; SILVA, J. N. M.; MALHI, Y.; LÓPEZ GONZALEZ, G.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J. Do species traits determine patterns of wood production in Amazonian forests? **Biogeosciences**, v. 6, p. 297–307, 2009.

BISPO, P.C.; RODRÍGUEZ-VEIGA, P.; ZIMBRES, B.; DO COUTO DE MIRANDA, S.; CEZARE, C. H.G; FLEMING, S.; BALDACCHINO, F.; LOUIS, V.; RAINS, D.; GARCIA, M.; DEL BON ESPÍRITO-SANTO, F. ROITMAN, I.; PACHECO-

PASCAGAZA, A. M.; GOU, Y.; ROBERTS, J.; BARRETT, K.; FERREIRA, L.G.; SHIMBO, J.Z.; ALENCAR, A.; BUSTAMANTE, M.; WOODHOUSE, I.H.; SANO, E.E.; OMETTO, J.P.; TANSEY, K.; BALZTER, H. Woody aboveground biomass mapping of the Brazilian savanna with a multi-sensor and machine learning approach. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2685, 2020.

BUSTAMANTE, M. M. D. C.; NARDOTO, G. B.; PINTO, A. D. S.; RESENDE, J. C. F.; TAKAHASHI, F. S. C.; VIEIRA, L. C. G. Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, n. 3, p. 655–671, 2012.

CAMARGO, N. F. DE.; SANO, N. Y.; VIEIRA, E. M. Forest vertical complexity affects alpha and beta diversity of small mammals. **Journal of Mammalogy**, v. 99, n. 6, p. 1444–1454, 2018.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração florestal: perguntas e respostas. **Editores UFV**, 5ª edição, p. 636, 2017.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FÖLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIÉRA, B.; YAMAKURA, T. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87–99, 2005.

CHAVE, J. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 neotropical tree species. **Ecological Applications**, v. 16, p. 2356–2367, 2006.

CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S. L.; SWENSON, N. G.; ZANNE, A. E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, v. 12, n. 4, p. 351–366, 2009.

CHAVE, J.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; BÚRQUEZ, A.; CHIDUMAYO, E.; COLGAN, M. S.; DELITTI, W.; DUQUE, A.; EID, T.; FEARNSIDE, P. M.; GOODMAN, R. C.; HENRY, M.; MARTÍNEZ-YRÍZAR, A.; MUGASHA, W. A.; MULLER-LANDAU, H. C.; MENCUCCINI, M.; NELSON, B. W.; NGOMANDA, A.; NOGUEIRA, E. M.;

ORTIZ-MALAVASSI, E.; PÉLISSIER, R.; PLOTON, P.; RYAN, C. M.; SALDARRIAGA, J. G.; VIEILLEDENT, G. Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees. **Global Change Biology**, v. 20, n. 10, p. 3177–3190, 2014.

CHOJNACKY, D. C.; HEATH, L. S.; JENKINS, J. C. Updated generalized biomass equations for North American tree species. **Forestry**, v. 87, n. 1, p. 129–151, 2014.

COLGAN, M. S.; ASNER, G. P.; SWEMMER, T. Harvesting tree biomass at the stand level to assess the accuracy of field and airborne biomass estimation in savannas. **Ecological Applications**, v. 23, n. 5, p. 1170–1184, 2013.

DABA, D. E.; SOROMESSA, T. The accuracy of species-specific allometric equations for estimating aboveground biomass in tropical moist montane forests: case study of *Albizia grandibracteata* and *Trichilia dregeana*. **Carbon Balance and Management**, v. 14, n. 1, p. 18, 2019.

DELITTI, W. B. C.; MEGURO, M.; PAUSAS, J. G. Biomass and mineralmass estimates in a “cerrado” ecosystem. **Revista Brasileira de Botanica**, v. 29, n. 4, p. 531–540, 2006.

DIONIZIO, E. A.; PIMENTA, F. M.; LIMA, L. B.; COSTA, M. H. Carbon stocks and dynamics of different land uses on the Cerrado agricultural frontier. **Plos one**, v. 15, n. 11, p. e0241637, 2020.

DJOMO, A. N.; IBRAHIMA, A.; SABOROWSKI, J.; GRAVENHORST, G. Allometric equations for biomass estimations in Cameroon and pan moist tropical equations including biomass data from Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 10, p. 1873–1885, 2010.

DJOMO, A. N.; PICARD, N.; FAYOLLE, A.; HENRY, M.; NGOMANDA, A.; PLOTON, P.; MCLELLAN, J.; SABOROWSKI J.; ADAMOU I.; LEJEUNE, P. Tree allometry for estimation of carbon stocks in African tropical forests. **Forestry**, v. 89, n. 4, p. 446–455, 2016.



DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley, p. 736, 1981.

FALSTER, D. S.; DUURSMA, R. A.; ISHIHARA, M. I.; BARNECHE, D. R.; FITZJOHN, R. G.; VÅRHAMMAR, A.; AIBA, M.; ANDO, M.; ANTEN, N.; ASPINWALL, M. J.; BALTZER, J. L.; BARALOTO, C.; BATTAGLIA, M.; BATTLES, J. J.; LAMBERTY, B. B.; VAN BREUGEL, M.; CAMAC, J.; CLAVEAU, Y.; COLL, L.; DANNOURA, M.; DELAGRANGE, S.; DOMEQ, J. C.; FATEMI, F.; FENG, W.; GARGAGLIONE, V.; GOTO, Y.; HAGIHARA, A.; HALL, J. S. HAMILTON, S.; HARJA, D.; HIURA, T.; HOLDAWAY, R.; HUTLEY, L. B.; ICHIE, T.; JOKELA, E. J.; KANTOLA, A.; KELLY, J. W.G.; KENZO, T.; KING, D.; KLOEPPPEL, B. D.; KOHYAMA, T.; KOMIYAMA, A.; LACLAU, J. P.; LUSK, C. H.; MAGUIRE, D. A.; LE MAIRE, G.; MÄKELÄ, A.; MARKESTEIJN, L.; MARSHALL, J.; MCCULLOH, K.; MIYATA, I.; MOKANY, K.; MORI, S.; MYSTER, R. W.; NAGANO, M.; NAIDU, S. L.; NOUVELLON, Y.; O'GRADY, A.P.; O'HARA, K. L.; OHTSUKA, T.; OSADA, N.; OSUNKOYA, O. O.; PERI, P. L.; PETRITAN, A. M.; POORTER, L.; PORTSMUTH, A.; POTVIN, C.; RANSIJN, J.; REID, D.; RIBEIRO, S. C.; ROBERTS, S. D.; RODRÍGUEZ, R.; ACOSTA, A. S.; SANTA-R, I.; SASA, K.; SELAYA, N. G.; SILLETT, S. C.; STERCK, FRANK.; TAKAGI, K.; TANGE, T.; TANOUCHE, H.; TISSUE, D.; UMEHARA, T.; UTSUGI, H.; VADEBONCOEUR, M. A.; VALLADARES, F.; VANNINEN, P.; WANG, J. R.; WENK, E.; WILLIAMS, R.; AQUINO XIMENES, F. DE; YAMABA, A.; YAMADA, T.; YAMAKURA, T.; YANAI, R. D.; YORK, R. A. BAAD: a Biomass And Allometry Database for woody plants. **Ecology**, v. 96, n. 5, p. 1445, 2015.

FAYOLLE, A.; DOUCET, J. L.; GILLET, J. F.; BOURLAND, N.; LEJEUNE, P. Tree allometry in Central Africa: testing the validity of pantropical multi-species allometric equations for estimating biomass and carbon stocks. **Forest Ecology and Management**, v. 305, p. 29–37, 2013.

FELDPAUSCH, T. R.; LLOYD, J.; LEWIS, S. L.; BRIENEN, R. J.; GLOOR, M.; MONTEAGUDO MENDOZA, A.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; BANIN, L.; ABU SALIM, K.; AFFUM-BAFFOE, K.; ALEXIADES, M.; ALMEIDA, S.; AMARAL, I.; ANDRADE, A.; ARAGÃO, L. E.O.C.; ARAUJO MURAKAMI, A.; ARETS, E. J.M.;

ARROYO, L.; AYMARD C., G. A.; BAKER, T. R.; BÁNKI, O. S.; BERRY, N. J.; CARDOZO, N.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; ALVAREZ, E.; OLIVEIRA, A.DE.; DI FIORE, A.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L.; FEARNSSIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; FREITAS, M. A.; HIGUCHI, N.; HONORIO C. E.; IIDA, Y.; JIMÉNEZ, E.; KASSIM, A. R.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LOVETT, J. C.; MALHI, Y.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; MENDOZA, C.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T.A.; NEILL, D. A.; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; PARADA, A.; S.-H. PEH, K.; PENA CRUZ, A.; PEÑUELA, M. C.; PITMAN, N. C.A.; PRIETO, A.; QUESADA, C. A.; RAMÍREZ, F.; RAMÍREZ-ANGULO, H.; REITSMA, J. M.; RUDAS, A.; SAIZ, G.; SALOMÃO, R. P.; SCHWARZ, M.; SILVA, N.; SILVA-ESPEJO, J. E.; SILVEIRA, M.; SONKÉ, B.; STROPP, J.; TAEDOUMG, H. E.; TAN, S.; TER STEEGE, H.; TERBORGH, J.; TORELLO-RAVENTOS, M.; VAN DER HEIJDEN, G. M.F.; VÁSQUEZ, R.; VILANOVA, E.; VOS, V. A.; WHITE, L.; WILLCOCK, S.; WOELL, H.; PHILLIPS, O. L. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. **Biogeosciences**, v. 9, p. 3381–3403, 2012.

FELFILI, J.M.; CARVALHO, F.A.; HAIDAR, R.F. Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal. Brasília, Brasília: Universidade de Brasília, **Departamento de Engenharia Florestal**, 2005.

FIDELIS, A.; LYRA, M. F. DI S.; PIVELLO, V. R. Above- and below-ground biomass and carbon dynamics in Brazilian Cerrado wet grasslands. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n.2, p. 356–364, 2013.

FONSECA, W.; ALICE, F. E.; REY-BENAYAS, J. M. Carbon accumulation in aboveground and belowground biomass and soil of different age native forest plantations in the humid tropical lowlands of Costa Rica. **New Forests**, v. 43, n. 2, p. 197–211, 2012.

GOODMAN, R. C.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R. The importance of crown dimensions to improve tropical tree biomass estimates. **Ecological Applications**, v. 24, n. 4, p. 680–698, 2014.

GOUSSANOU, C. A.; GUENDEHOU, S.; ASSOGBADJO, A. E.; KAIRE, M.; SINSIN, B.; CUNI-SANCHEZ, A. Specific and generic stem biomass and volume models of tree species in a West African tropical semi-deciduous forest. **Silva Fennica**, v. 50, n. 2, p.

1474, 2016.

HEBERLE, H.; MEIRELLES, G. V.; DA SILVA, F. R.; TELLES, G. P.; MINGHIM, R. InteractiVenn: a web-based tool for the analysis of sets through Venn diagrams. **BMC Bioinformatics**, v. 16, n. 1, p. 1–7, 2015.

HENRY, M.; BESNARD, A.; ASANTE, W. A.; ESHUN, J.; ADU-BREDU, S.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 8, p. 1375–1388, 2010.

HENRY, M.; PICARD, N.; TROTTA, C.; MANLAY, R.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Estimating tree biomass of sub-Saharan African forests: A review of available allometric equations. **Silva Fennica**, v. 45, n. 3, p. 477–569, 2011.

HUY, B.; POUDEL, K. P.; TEMESGEN, H. Aboveground biomass equations for evergreen broadleaf forests in South Central Coastal ecoregion of Viet Nam: Selection of eco-regional or pantropical models. **Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 276–283, 2016.

JARA, M. C.; HENRY, M.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; WAYSON, C.; ZAPATA-CUARTAS, M.; PIOTTO, D.; GUIER, F.A.; LOMBIS, H.C.; LÓPEZ, E.C.; LARA, R.C.; ROJAS, K.C.; PASQUEL, J. D.A.; MONTOYA, A.D.; VEJA, J. F.; GALO, A. J.; LÓPEZ, O.R.; MARKLUND, L.G.; FUENTES, J. M. M.; MILLA, F.; CHAIDEZ, J. J. N.; MALAVASSI, E.O.; PÉREZ, J.; ZEA, C. R.; GARCÍA, L.R.; PONS, R. R.; SAINT-ANDRÉ, L.; SANQUETTA, C.; SCOTT, C.; WESTFALL, J. Guidelines for documenting and reporting tree allometric equations. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 763–768, 2015.

KEBEDE, B.; SOROMESSA, T. Allometric equations for aboveground biomass estimation of *Olea europaea* L. subsp. *cuspidata* in Mana Angetu Forest. **Ecosystem Health and Sustainability**, v. 4, n. 1, p. 1–12, 2018.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005.

LAM, F.; LALANSINGH, C. M.; BABARAN, H. E.; WANG, Z.; PROKOPEC, S. D.; FOX, N. S.; BOUTROS, P. C. VennDiagramWeb: a web application for the generation of highly customizable Venn and Euler diagrams. **BMC Bioinformatics**, v. 17, n. 1, p.

1–8, 2016.

LAMBERS, H.; DE BRITTO COSTA, P.; OLIVEIRA, R. S.; SILVEIRA, F. A. Towards more sustainable cropping systems : lessons from native Cerrado species. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 32, n. 3, p. 175–194, 2020.

LEVENBERG, K. A method for the solution of certain nonlinear problems in least squares. **Quarterly of applied mathematics**, v. 2, n. 2, p. 164–168, 1944.

LENZA, E.; SANTOS, J. O.; MARACAHIPES-SANTOS, L. Species composition, diversity, and vegetation structure in a gallery forest-cerrado sensu stricto transition zone in eastern Mato Grosso, Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 29, n. 3, p. 327–338, 2015.

LEWIS, S. L.; SONKÉ, B.; SUNDERLAND, T.; BEGNE, S. K.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; VAN DER HEIJDEN, G. M.F; PHILLIPS, O. L.; AFFUM-BAFFOE, K.; BAKER, T. R.; BANIN, L.; BASTIN, J-F.; BEECKMAN, H.; BOECKX, P.; BOGAERT, J.; DE CANNIÈRE, C.; CHEZEAUX, E.; CLARK, C. J.; COLLINS, M.; DJAGBLETEY, G.; DJUIKOUO, M.N.K.; DROISSART, V.; DOUCET, J-L.; EWANGO, C. E. N.; FAUSET, S.; FELDPAUSCH, T. R.; FOLI, E. G.; GILLET, J-F.; HAMILTON, A.C.; HARRIS, D. J.; HART, T. B.; DE HAULLEVILLE, T.; HLADIK, A.; HUFKENS, K.; HUYGENS, D.; JEANMART, P.; JEFFERY, K. J.; KEARSLEY, E.; LEAL, M. E.; LLOYD, J.; LOVETT, J. C.; MAKANA, J-R.; MALHI, Y.; MARSHALL, A. R.; OJO, L.; PEH, K. S-H.; PICKAVANCE, G.; POULSEN, J.R.; REITSMA, J. M.; SHEIL, D.; SIMO, M.; STEPPE, K.; TAEDOUMG, H. E.; TALBOT, J.; TAPLIN, J. R D.; TAYLOR, D.; THOMAS, S.C.; TOIRAMBE, B.; VERBEECK, H.; VLEMINCKX, J.; WHITE, L.J.T.; WILLCOCK, S.; WOELL, H.; ZEMAGHO, L. Above-ground biomass and structure of 260 African tropical forests. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 368, n. 1625, p. 20120295, 2013.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; MELLO RIBEIRO, G. H. P.DE; KAJIMOTO, T.; SANTOS, J. DOS; SILVA, R. P. DA; SOUZA, C.A.S.DE; BARROS, P.C.DE; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. Allometric models for estimating above-and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 277, p. 163–172, 2012.

LIMA, R. B. DE.; ALVES JÚNIOR, F. T.; OLIVEIRA, C. P. DE; DA SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C. Predicting of biomass in Brazilian tropical dry forest: a statistical

evaluation of generic equations. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 3, p. 1815–1828, 2017.

MARQUARDT, D. W. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. **Journal of the society for Industrial and Applied Mathematics**, v.11, n.2, p. 431–441, 1963.

MARQUES, E. Q.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; MARIMON, B. S.; MATRICARDI, E. A.; MEWS, H. A.; COLLI, G. R. Redefining the Cerrado–Amazonia transition: implications for conservation. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1501–1517, 2020.

MARRA, D. M.; HIGUCHI, N.; TRUMBORE, S. E.; RIBEIRO, G. H., SANTOS, J. DOS.; CARNEIRO, V. M.; LIMA, A.J.N.; CHAMBERS, J.Q.; NEGRÓN-JUÁREZ, R.I.; HOLZWARTH, F.; REU, B.; WIRTH, C. Predicting biomass of hyperdiverse and structurally complex central Amazonian forests – a virtual approach using extensive field data. **Biogeosciences**, v. 13, n. 5, p. 1553–1570, 2016.

MBOW, C.; VERSTRAETE, M. M.; SAMBOU, B.; DIAW, A. T.; NEUFELDT, H. Allometric models for aboveground biomass in dry savanna trees of the Sudan and Sudan-Guinean ecosystems of Southern Senegal. **Journal of Forest Research**, v. 19, n. 3, p. 340–347, 2014.

MENSAH, S.; VELDTMAN, R.; SEIFERT, T. Allometric models for height and aboveground biomass of dominant tree species in South African Mistbelt forests. **Southern Forests: a Journal of Forest Science**, v. 79, n. 1, p. 19–30, 2016.

MIGUEL, E. P. Caracterização da flora e da produção em volume, biomassa e carbono da vegetação arbórea em área de cerradão no estado do Tocantins. **Departamento De Engenharia Florestal**, p. 96, 2014.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; VALE, A. T. DO.; PEREIRA, R. S. Redes neurais artificiais para a modelagem do volume de madeira e biomassa do cerradão com dados de satélite. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 829–839, 2015.

MIGUEL, E. P.; MOTA, F. I. C. M.; TÉO, S. J.; NASCIMENTO, R. G. M.; LEAL, F. I. A.; PEREIRA, R. S. E.; REZENDE, A. V. E. Artificial intelligence tools in predicting the volume of trees within a forest stand. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 21, p. 1914–1923, 2016.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; LEAL, F. A.; MATRICARDI, E. A. T.; ENCINAS, J. M. I.; MIRANDA, J. F. N. Floristic, structural, and allometric equations to estimate arboreal volume and biomass in a cerradão site. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 4, p. 1691–1702, 2017a.

MIGUEL, E. P.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S.; DE AZEVEDO, G. B.; MOTA, F. C. M.; SOUZA, Á. N. DE.; JOAQUIM, M. S. Modeling and prediction of volume and aerial biomass of the tree vegetation in a Cerradão area of central Brazil. **Interciencia**, v. 42, n. 1, p. 21–27, 2017b.

MIRANDA, S. D. C. DE.; BUSTAMANTE, M.; PALACE, M.; HAGEN, S.; KELLER, M.; FERREIRA, L. G. Regional variations in biomass distribution in Brazilian savanna woodland. **Biotropica**, v. 46, n. 2, p. 125–138, 2014.

MIRANDA, J. F. N. DE. Modelos de regressão e de redes neurais artificiais na quantificação de carbono e biomassa lenhosa em Floresta Estacional Decidual no Brasil Central. 76 f. Dissertação (Mestrado) - **Departamento de Engenharia Florestal**, Universidade de Brasília, 2015.

MITCHARD, E. T.; FELDPAUSCH, T. R.; BRIENEN, R. J.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; QUESADA, C. A.; GLOOR, M.; TER STEEGE, H.; MEIR, P.; ALVAREZ, E.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; BANKI, O.; BONAL, D.; BROWN, S.; BROWN, F. I.; CERÓN, C. E.; MOSCOSO, V. C.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CORNEJO, F.; MEDINA, M. C.; COSTA, L. DA.; COSTA, F. R. C.; FIORE, A. DI.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L.; FREDERICKSON, T.; HIGUCHI, N.; CORONADO, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LEVIS, C.; MAGNUSSON, W. E.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B.H.; POLO, I. M.; MISHRA, P.; NASCIMENTO, M. T.; NEILL, D.; VARGAS, M.P.N.; PALACIOS, W.A.; PARADA, A.; MOLINA, G.P.; PEÑA-CLAROS, M.; PITMAN, N.; PERES,

C.A.; POORTER, L.; PRIETO, A.; RAMIREZ-ÂNGULO, H.; CORREA, Z.R.; ROOPSIND, A.; ROUCOUX, P.F. DE.; RUDAS, A.; SALOMÃO, R.P.; SCHIETTI, J.; SILVEIRA, M.; SOUZA, P. F. DE.; STEININGER, M. K.; STROPP, J.; TERBORGH, J.; THOMAS, R.; TOLEDO, M.; TORRES-LEZAMA, A.; VAN ANDEL, T.; VAN DER HEIJDEN, G.M.F.; VIEIRA, I.C.G.; VIEIRA, S.; VILANOVA-TORRE, E.; VOS, V.A.; WANG, O.; ZARTMAN, C.E.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O.L. Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites. **Global Ecology and Biogeography**, v. 23, n. 8, p. 935–946, 2014.

MORAIS, V. A.; FERREIRA, G. W. D.; MELLO, J. M. DE.; SILVA, C. A.; MELLO, C. R. DE.; ARAÚJO, E. J. G.; DAVID, H.C.; SILVA, A.C. DA.; SCOLFORO, J. R. S. Spatial distribution of soil carbon stocks in the Cerrado biome of Minas Gerais, Brazil. **Catena**, v. 185, n. 104285, 2020.

MORANDI, P. S.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; RATTER, J. A.; FELDPAUSCH, T. R.; COLLI, G. R.; MUNHOZ, C.B.R.; SILVA JÚNIOR, M.C.DA.; LIMA, E. DE.S.; HAIDAR, R.F.; ARROYO, L.; MURAKAMI, A.A.; AQUINO, F. DE.G.; WALTER, B.M.T.; RIBEIRO, J.F.; FRANÇOZO, R.; ELIAS, F.; OLIVEIRA, E.A. DE.; REIS, S.M.; OLIVEIRA, B. DE.; NEVES, E.C.DAS.; NOGUEIRA, D.S.; LIMA, H.S.; CARVALHO, T.P. DE.; RODRIGUES, S.A.; VILLARROEL, D.; FELFILI, J.M.; PHILLIPS, O. L. Tree diversity and above-ground biomass in the South America Cerrado biome and their conservation implications. **Biodiversity and Conservation**, v. 29, n. 5, p. 1519–1536, 2020.

MUGASHA, W. A.; MWAKALUKWA, E. E.; LUOGA, E.; MALIMBWI, R. E.; ZAHABU, E.; SILAYO, D. S.; SOLA, G.; CRETE, P.; HENRY, M.; KASHINDYE, A. Allometric models for estimating tree volume and aboveground biomass in lowland forests of Tanzania. **International Journal of Forestry Research**, v. 2016, p. 13, 2016.

NAM, V. T.; VAN KUIJK, M.; ANTEN, N. P. R. Allometric equations for aboveground and belowground biomass estimations in an evergreen forest in Vietnam. **PLoS ONE**, v. 11, n. 6, p. e0156827, 2016.

NAM, V. T.; ANTEN, N. P. R.; VAN KUIJK, M. Biomass dynamics in a logged forest:

the role of wood density. **Journal of Plant Research**, v. 131, n. 4, p. 611–621, 2018.

NANDY, S.; SINGH, R.; GHOSH, S.; WATHAM, T.; KUSHWAHA, S. P. S.; KUMAR, A. S.; DADHWAL, V. K. Neural network-based modelling for forest biomass assessment. **Carbon Management**, v. 8, n. 4, p. 305–317, 2017.

NGOMANDA, A.; OBIANG, N. L. E.; LEBAMBA, J.; MAVOUROULOU, Q. M.; GOMAT, H.; MANKOU, G. S.; LOUMETO, J.; IPONGA, D. M.; DITSOUGA, F. K.; KOUMBA, R. Z.; BOBÉ, K. H. B.; OKOUYI, C. M.; NYANGADOUMA, R.; LÉPENGUÉ, N.; MBATCHI, B.; PICARD, N. Site-specific versus pantropical allometric equations: Which option to estimate the biomass of a moist central African forest? **Forest Ecology and Management**, v. 312, p. 1–9, 2014.

NOGUEIRA JÚNIOR, L. R.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.; MELO, A. C. G. D.; RÉ, D. S. Allometric equations for estimating tree biomass in restored mixed-species Atlantic Forest stands. **Biota Neotropica**, v. 14, n. 2, p. 1–9, 2014.

NUNES, M. H.; CASTRO NUNES SANTOS TERRA, M. DE.; OLIVEIRA, I. R. C. DE.; VAN DEN BERG, E. The influence of disturbance on driving carbon stocks and tree dynamics of riparian forests in Cerrado. **Journal of Plant Ecology**, v. 11, n. 3, p. 401–410, 2018.

OLIVEIRA, C. P. DE.; FRANCELINO, M. R.; DAHER, M.; ARAÚJO, E. J. G. DE.; SOUZA SANCHES, L. DE.; ANDRADE, K. D. C. DE.; CAMPOS, J. S. N. DE. Estimation of the aboveground biomass and carbon stocks in open Brazilian Savannah developed on sandy soils. **Carbon Balance and Management**, v. 14, n. 1, p. 5, 2019.

PAUL, K. I.; ROXBURGH, S. H.; CHAVE, J.; ENGLAND, J. R.; ZERIHUN, A.; SPECHT, A.; LEWIS, T.; BENNETT, L. T.; BAKER, T. G.; ADAMS, M. A.; HUXTABLE, D.; MONTAGU, K. D.; FALSTER, D. S.; FELLER, M.; SOCHACKI, S.; RITSON, P.; BASTIN, G.; BARTLE, J.; WILDY, D.; HOBBS, T.; LARMOUR, J.; WATERWORTH, R.; STEWART, H. T. L.; JONSON, J.; FORRESTER, D. I.; APPLGATE, G.; MENDHAM, D.; BRADFORD, M.; O'GRADY, A.; GREEN, D.; SUDMEYER, R.; RANCE, S. J.; TURNER, J.; BARTON, C.; WENK, E. H.; GROVE, T.; ATTIWILL, P. M.; PINKARD, E.; BUTLER, D.; BROOKSBANK, K.; SPENCER, B.; SNOWDON, P.; O'BRIEN, N.; BATTAGLIA, M.; CAMERON, D. M.;



HAMILTON, S.; MCAUTHUR, G.; SINCLAIR, J. Testing the generality of above-ground biomass allometry across plant functional types at the continent scale. **Global Change Biology**, v. 22, n. 6, p. 2106–2124, 2016.

PÉLLICO NETTO, S.; BEHLING, A. **Additivity of tree biomass components using ratio estimate**. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 91, n. 3, 2019.

PIÑEIRO, G.; PERELMAN, S.; GUERSCHMAN, J. P.; PARUELO, J. M. How to evaluate models: observed vs. predicted or predicted vs. observed? **Ecological Modelling**, v. 216, n. 3–4, p. 316–322, 2008.

PUC-KAUIL, R.; ÁNGELES-PÉREZ, G.; VALDÉZ-LAZALDE, J. R.; REYES-HERNÁNDEZ, V. J.; DUPUY-RADA, J. M.; SCHNEIDER, L.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, P.; GARCÍA-CUEVAS, X. Allometric equations to estimate above-ground biomass of small-diameter mixed tree species in secondary tropical forests. **IForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 13, n. 3, p. 165–174, 2020.

REZENDE, A. V.; VALE, A. DO.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v. 71, n.2, p. 65–76, 2006.

RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; OLIVEIRA GASPAR, R. DE. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 3, p. 491–499, 2011.

RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; TORRES, C. M. M. E.; SOUZA, A. L. Influence of interspecific variation on tree carbon stock of a brazilian cerrado. **Revista Árvore**, v. 41, n. 5, 2017.

ROCHA, C. C. DA C. Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás. 70f. Dissertação (Mestrado) - **Departamento de Engenharia Florestal**, Universidade de Brasília, 2011.

ROITMAN, I.; BUSTAMANTE, M. M.; HAIDAR, R. F.; SHIMBO, J. Z.; ABDALA, G. C.; EITEN, G.; FAGG, C. W.; FELFILI, M. C.; FELFILI, J. M.; JACOBSON, T. K. B.; LINDOSO, G. S.; KELLER, M.; LENZA, E.; MIRANDA, S. C.; PINTO, J. R. R.; RODRIGUES, A. A.; DELITTI, W. B. C.; ROITMAN, P.; SAMPAIO, J. M. Optimizing

biomass estimates of savanna woodland at different spatial scales in the Brazilian Cerrado: Re-evaluating allometric equations and environmental influences. **Plos One**, v. 13, n. 8, p. e0196742, 2018.

ROJAS-GARCÍA, F.; DE JONG, B. H.; MARTÍNEZ-ZURIMENDÍ, P.; PAZ-PELLAT, F. Database of 478 allometric equations to estimate biomass for Mexican trees and forests. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 835–864, 2015.

ROMERO, F. M. B.; JACOVINE, L. A. G.; RIBEIRO, S. C.; TORRES, C. M. M. E.; SILVA, L. F. D.; GASPAR, R. D. O.; ROCHA, S.J.S.S.DA.; STAUDHAMMER, C.L.; FEARNSTIDE, P. M. Allometric equations for volume, biomass, and carbon in commercial stems harvested in a managed forest in the southwestern amazon: A case study. **Forests**, v. 11, n. 8, p. 874, 2020.

ROQUETTE, J. G. Distribuição da biomassa no cerrado e a sua importância na armazenagem do carbono. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 1350–1363, 2018.

RUFINI, A. L.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. D.; MELLO, J. M. D. Equações volumétricas para o cerrado sensu stricto, em Minas Gerais. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 1–11, 2010.

RUTISHAUSER, E.; NOOR'AN, F.; LAUMONIER, Y.; HALPERIN, J.; HERGOUALC'H, K.; VERCHOT, L. Generic allometric models including height best estimate forest biomass and carbon stocks in Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 307, p. 219–225, 2013.

SAATCHI, S. S.; HARRIS, N. L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E. T.; SALAS, W.; ZUTTA, B.R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S.L.; HAGEN, S.; PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL, A. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continents. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 108, n. 24, p. 9899–9904, 2011.

SANQUETTA, C. R.; WOJCIECHOWSKI, J.; DALLA CORTE, A. P.; BEHLING, A.; NETTO, S. P.; RODRIGUES, A. L.; SANQUETTA, M. N. Comparison of data mining and allometric model in estimation of tree biomass. **BMC Bioinformatics**, v. 16, n. 1, p. 247, 2015.

SANTOS, L. M.; LENZA, E.; SANTOS, J. O. DOS; MARIMON, B. S.; EISENLOHR, P. V.; JUNIOR, B. H. M.; FELDPAUSCH, T. R. Diversity, floristic composition, and

structure of the woody vegetation of the Cerrado in the Cerrado–Amazon transition zone in Mato Grosso, Brazil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 38, n. 4, p. 877–887, 2015.

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. **Flora**, p. 151613, 2020.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI-JÚNIOR, F. W. Inventário Florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fitofisionomias da flora nativa. Lavras: **Editora UFLA**, p. 216, 2008.

SILVA, J. M. C. DA.; LACHER JR, T. E. Cerrado—South America. **Encyclopedia of the World's Biomes**, p. 546-553, 2020.

SILVEIRA, E. M.O.; TERRA, M. C. N. S.; ACERBI-JÚNIOR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Estimating aboveground biomass loss from deforestation in the savanna and semi-arid biomes of Brazil between 2007 and 2017. **In Forest Degradation Around the World**. IntechOpen, 2019.

TASHI, S.; KEITEL, C.; SINGH, B.; ADAMS, M. Allometric equations for biomass and carbon stocks of forests along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 90, n. 3, p. 445–454, 2017.

URBAZAEV, M.; THIEL, C.; CREMER, F.; DUBAYAH, R.; MIGLIAVACCA, M.; REICHSTEIN, M.; SCHMULLIUS, C. Estimation of forest aboveground biomass and uncertainties by integration of field measurements, airborne LiDAR, and SAR and optical satellite data in Mexico. **Carbon Balance and Management**, v. 13, n. 1, p. 1-20, 2018.

VAHEDI, A. A. Artificial neural network application in comparison with modeling allometric equations for predicting above-ground biomass in the Hyrcanian mixed-beech forests of Iran. **Biomass and Bioenergy**, v. 88, p. 66–76, 2016.

VAN BREUGEL, M.; RANSIJN, J.; CRAVEN, D.; BONGERS, F.; HALL, J. S. Estimating carbon stock in secondary forests: decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. **Forest Ecology and Management**, v. 262, n. 8, p. 1648–1657, 2011.

VORSTER, A. G.; EVANGELISTA, P. H.; STOVALL, A. E.; EX, S. Variability and

uncertainty in forest biomass estimates from the tree to landscape scale: the role of allometric equations. **Carbon Balance and Management**, v. 15, n. 8, p. 1–20, 2020.

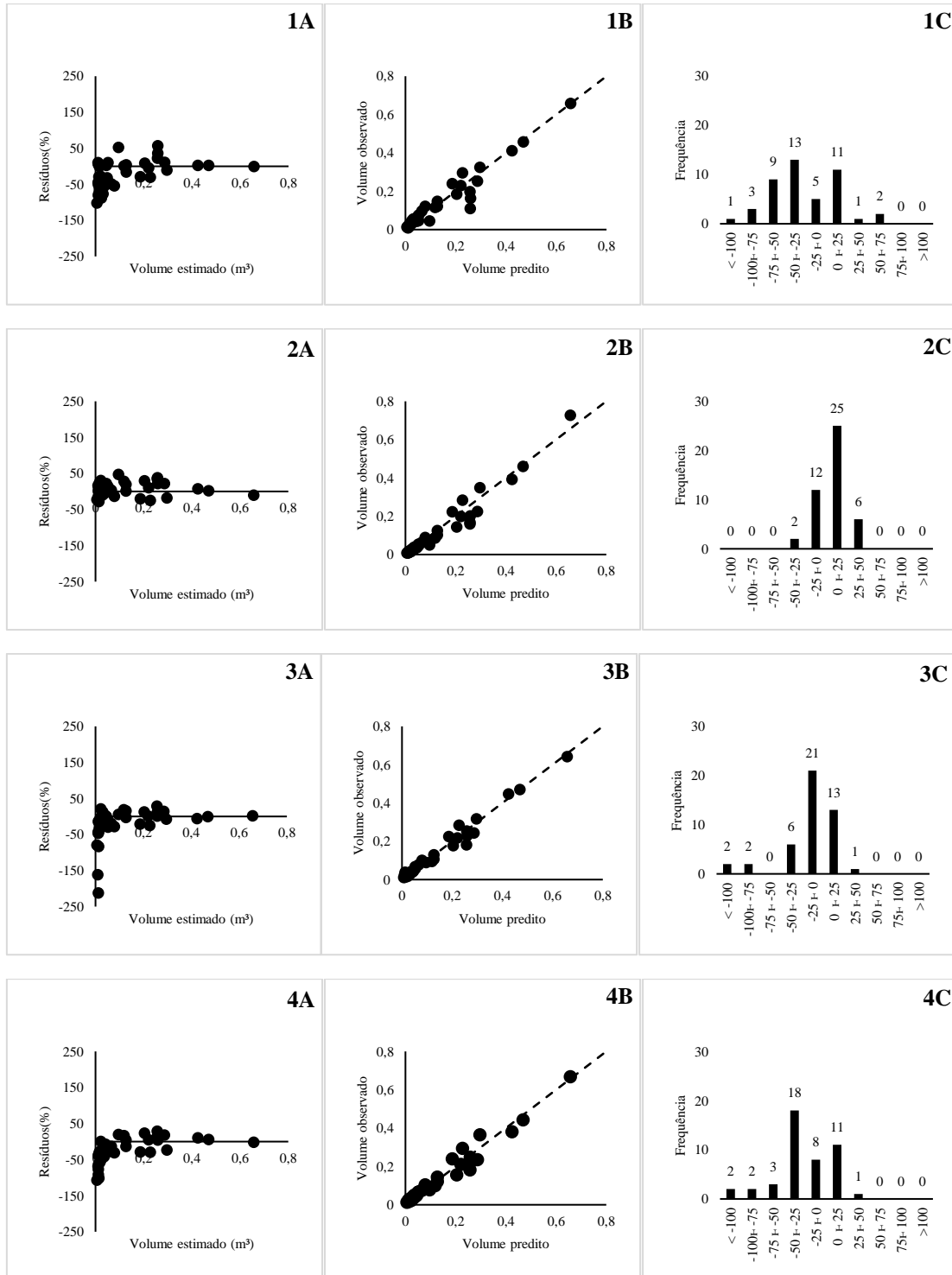
ZENG, W. S.; TANG, S. Z. A new general allometric biomass model. **Nature Precedings**, p. 1–12, 2011.

ZENG, W.; FU, L.; XU, M.; WANG, X.; CHEN, Z.; YAO, S. Developing individual tree-based models for estimating aboveground biomass of five key coniferous species in China. **Journal of Forestry Research**, v. 29, n. 5, p. 1251–1261, 2018.

ZIMBRES, B.; SHIMBO, J.; BUSTAMANTE, M.; LEVICK, S.; MIRANDA, S.; ROITMAN, I.; SILVÉRIO, D.; GOMES, L.; FAGG, C.; ALENCAR, A. Savanna vegetation structure in the Brazilian Cerrado allows for the accurate estimation of aboveground biomass using terrestrial laser scanning. **Forest Ecology and Management**, v. 458, p. 117798, 2020.

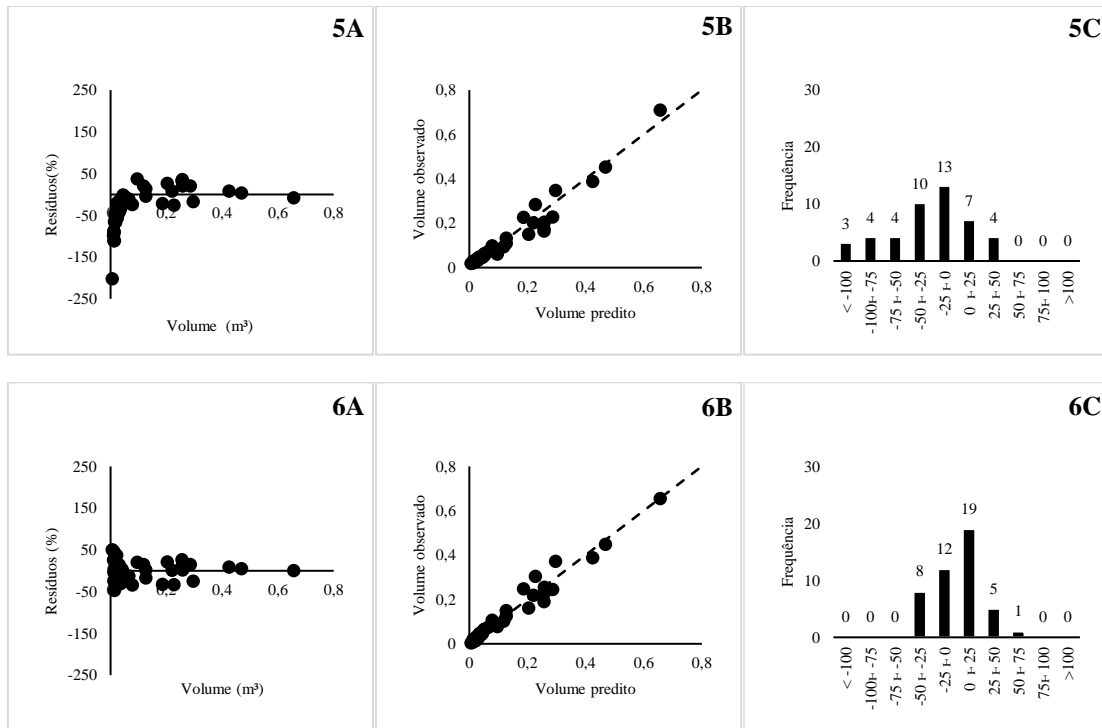
## 4 APÊNDICES

Apêndice 1 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Mata de Galeria.

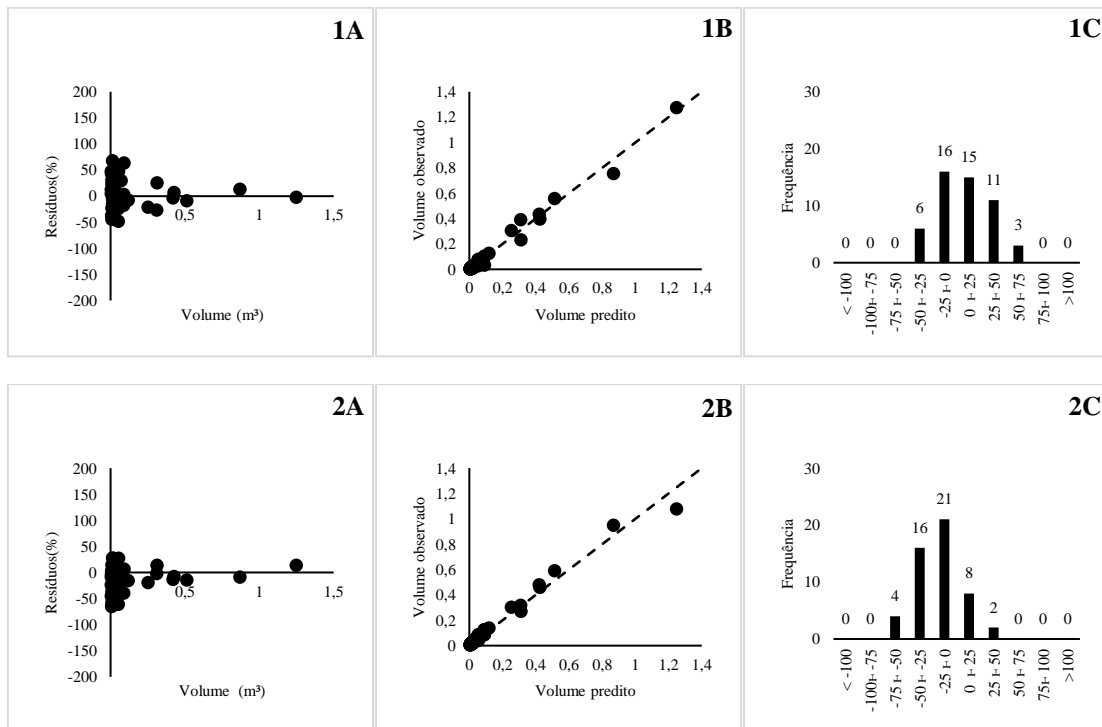


Continua...

Continuação...

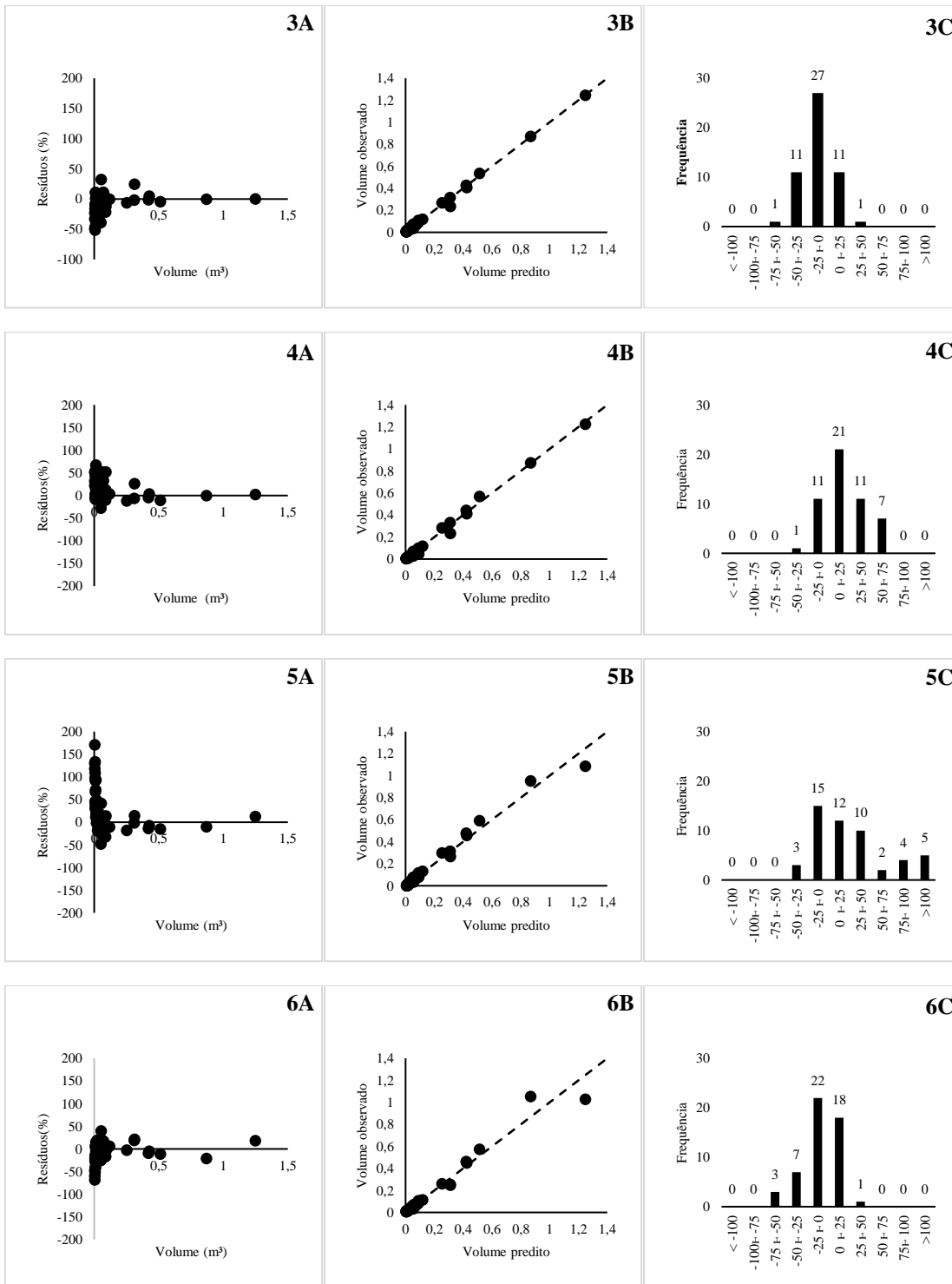


Apêndice 2 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Mata Seca.

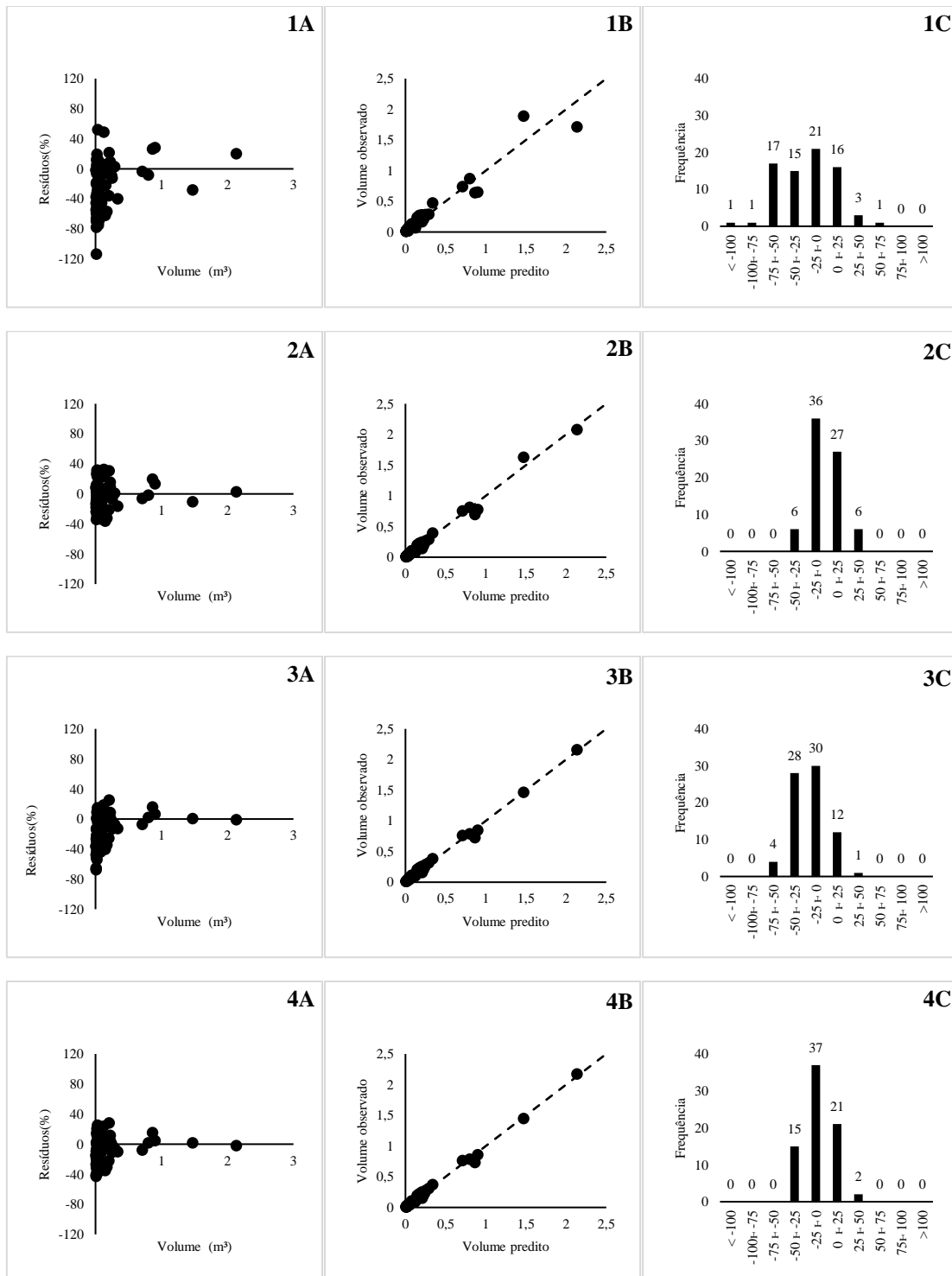


Continua...

Continuação...



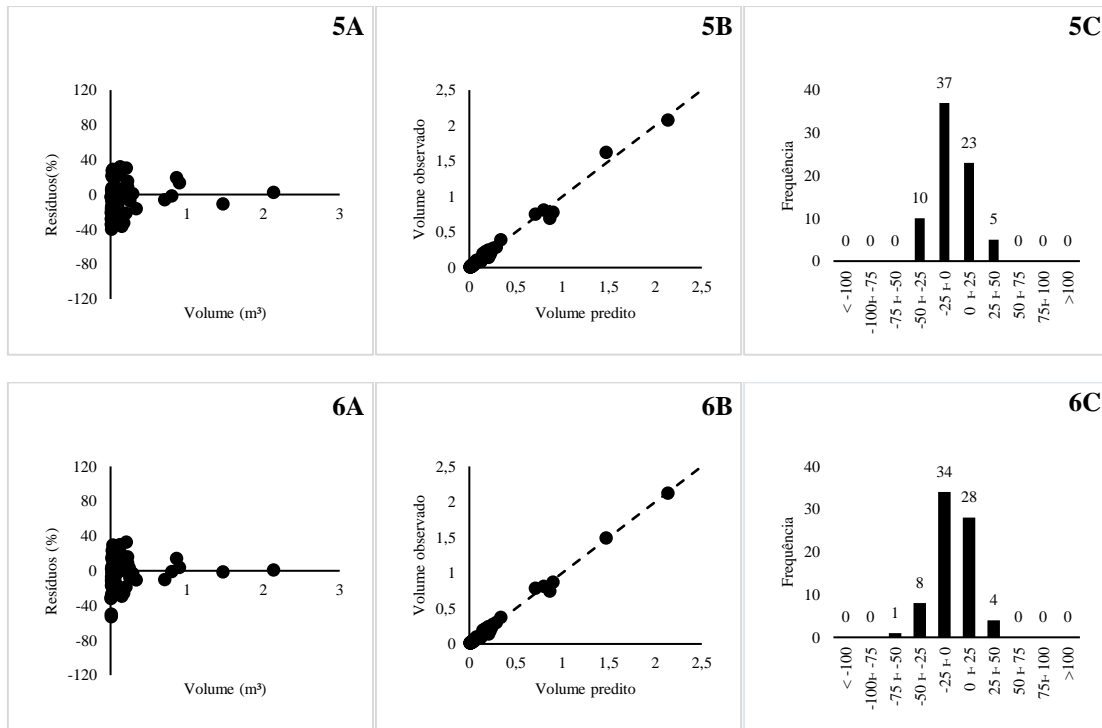
Apêndice 3 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Cerradão.



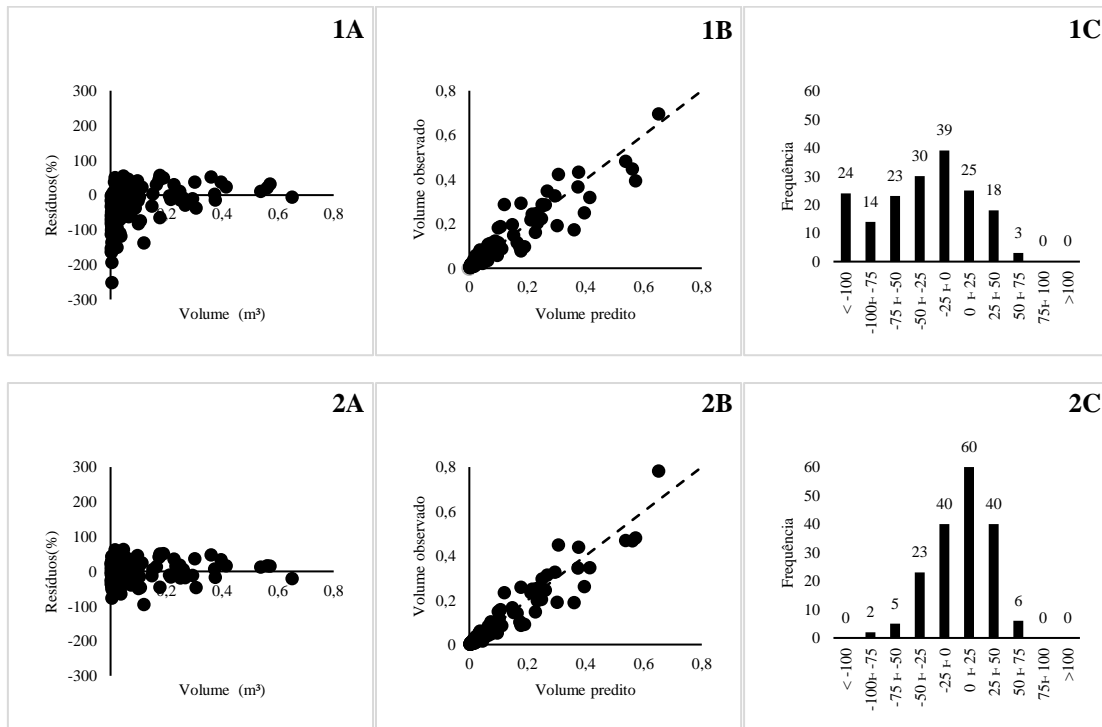
Continua...



Continuação...

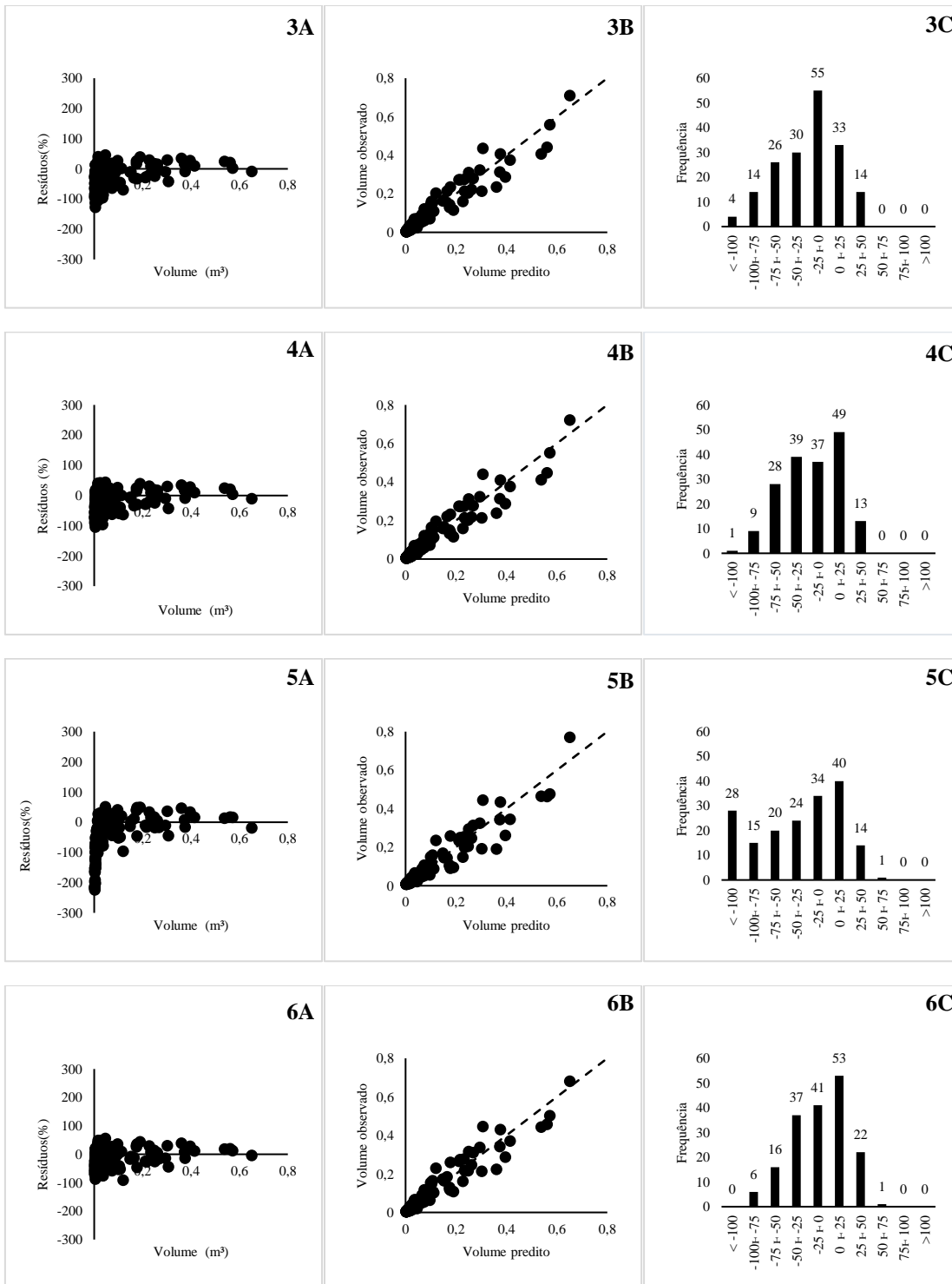


Apêndice 4 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Cerrado *sensu stricto*.

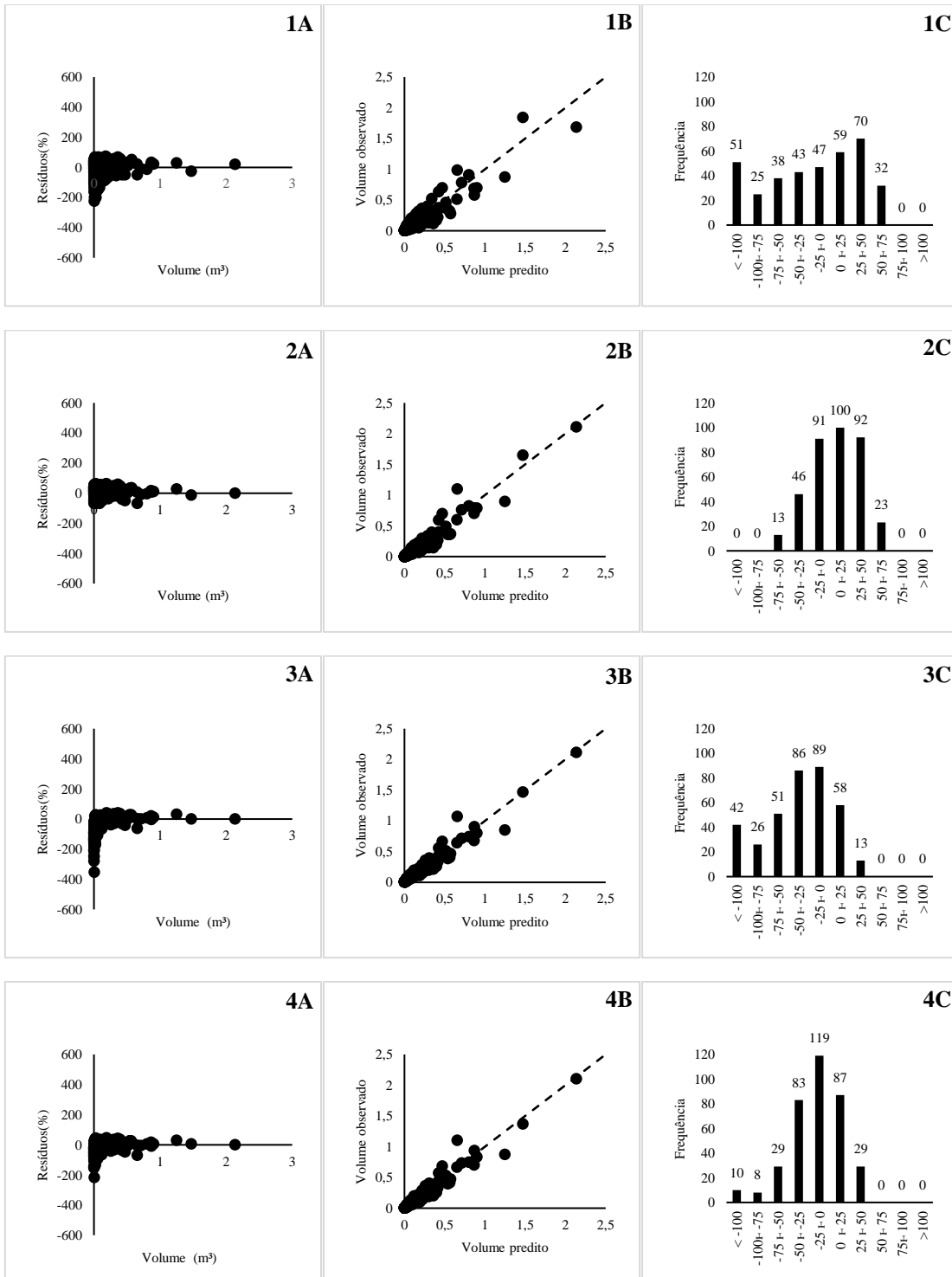


Continua...

Continuação...

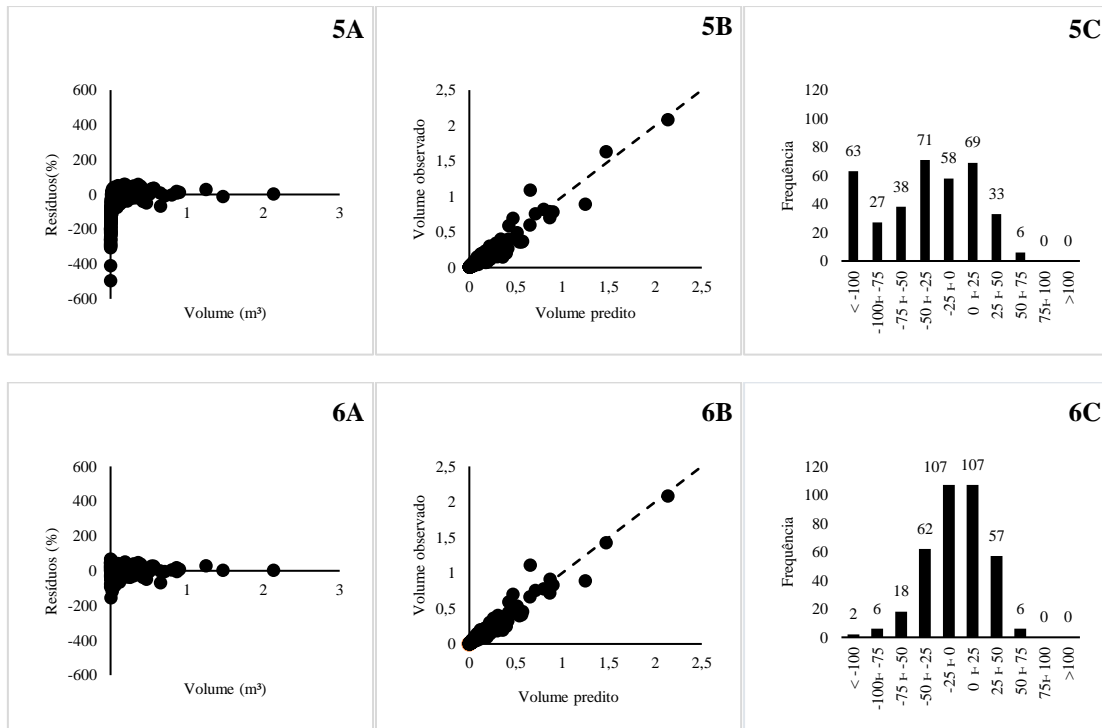


Apêndice 5 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para o modelo genérico.

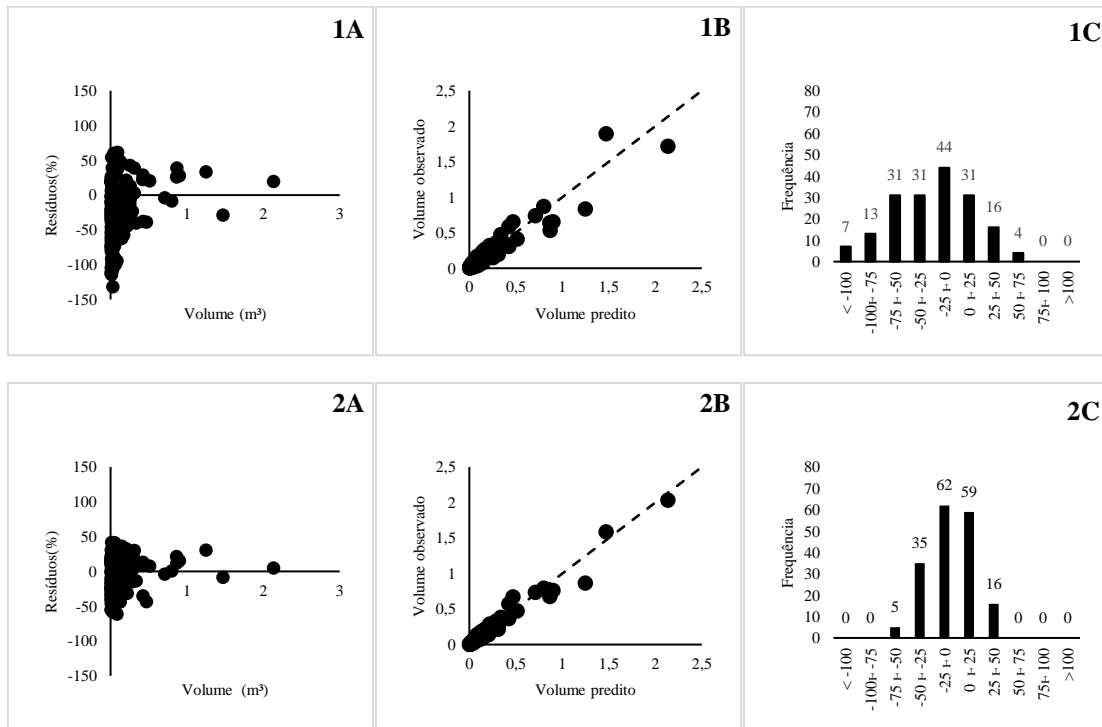


Continua...

Continuação...

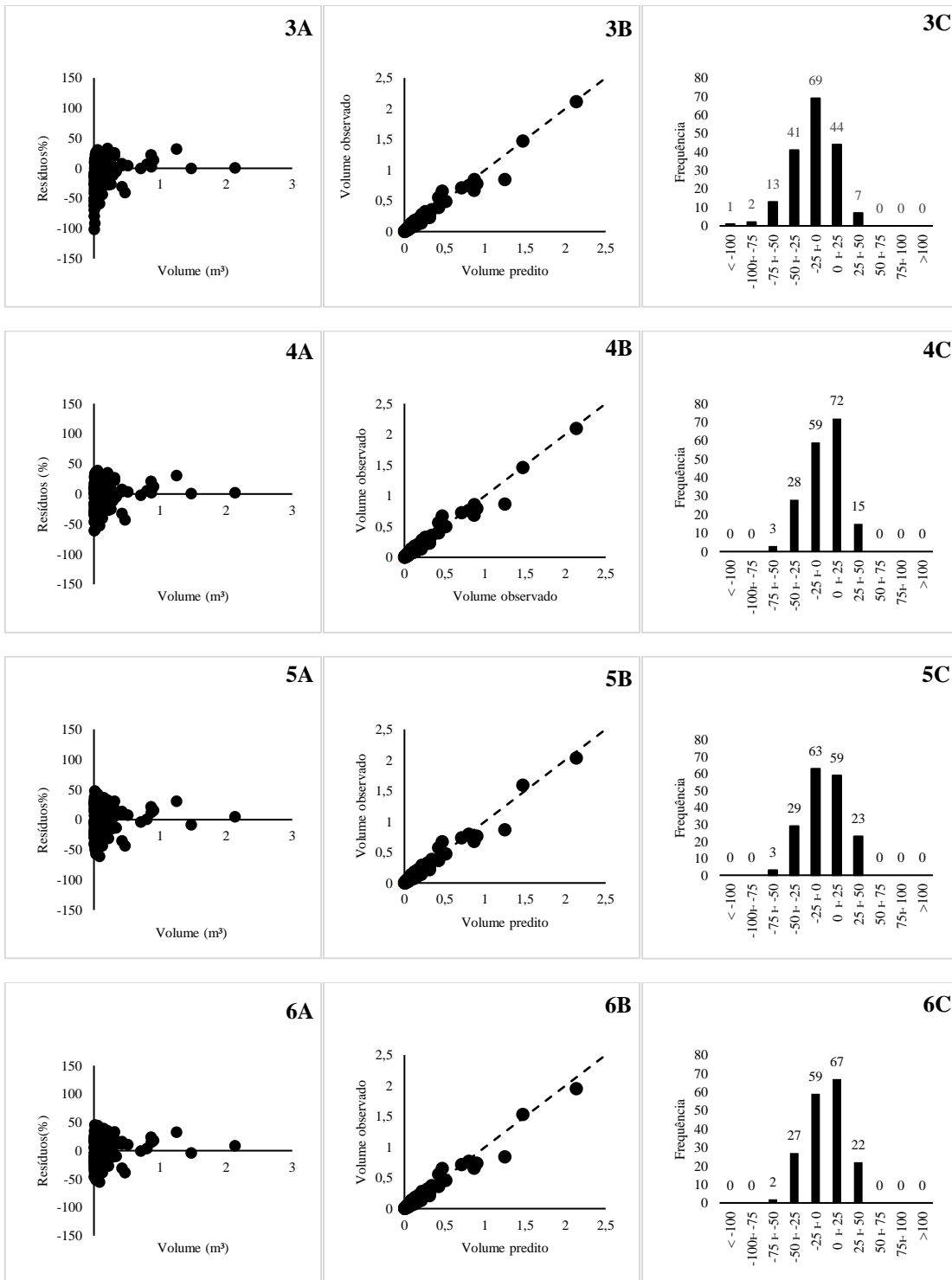


Apêndice 6 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever o volume dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para formação florestal.

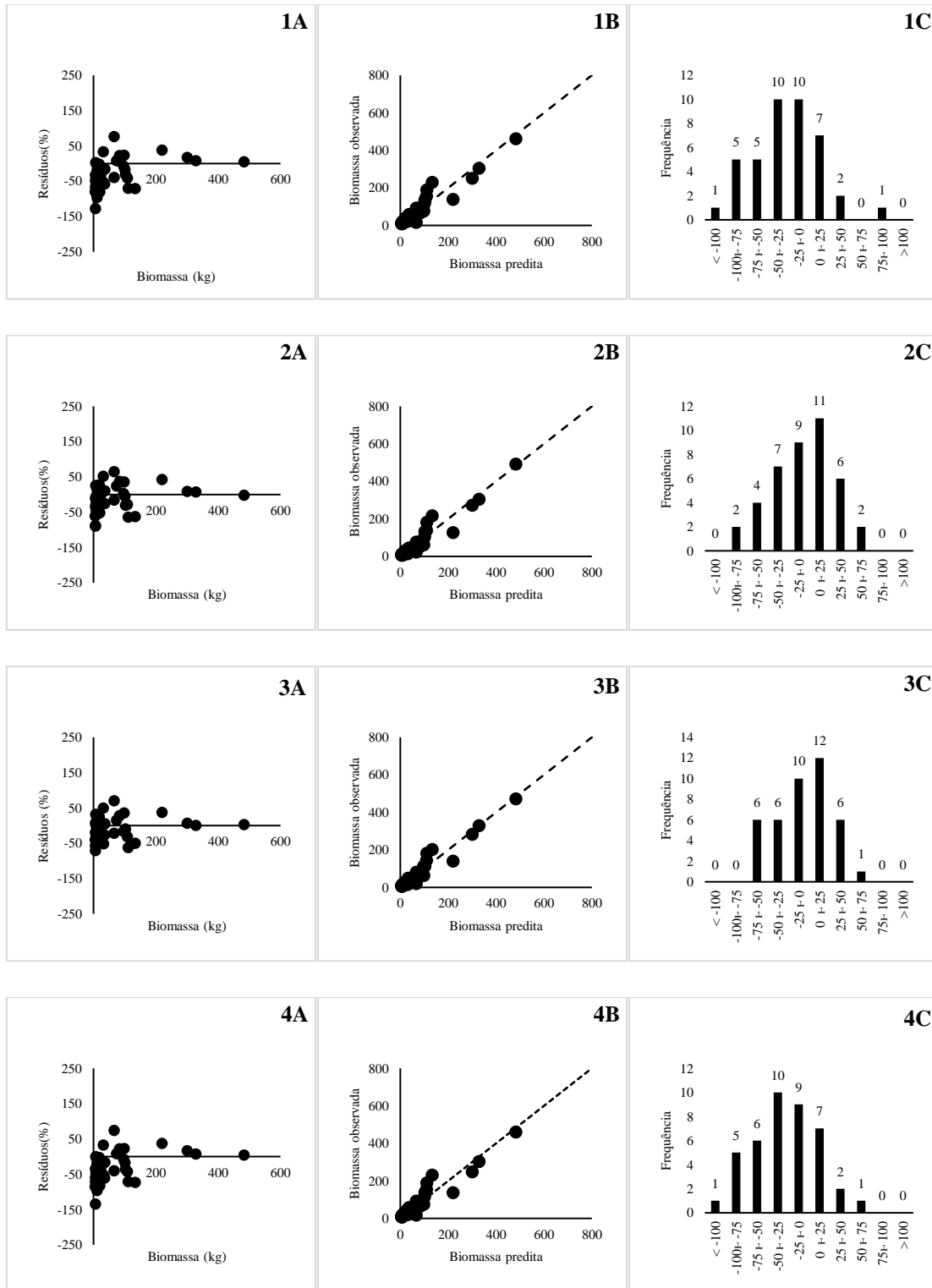


Continua...

Continuação...

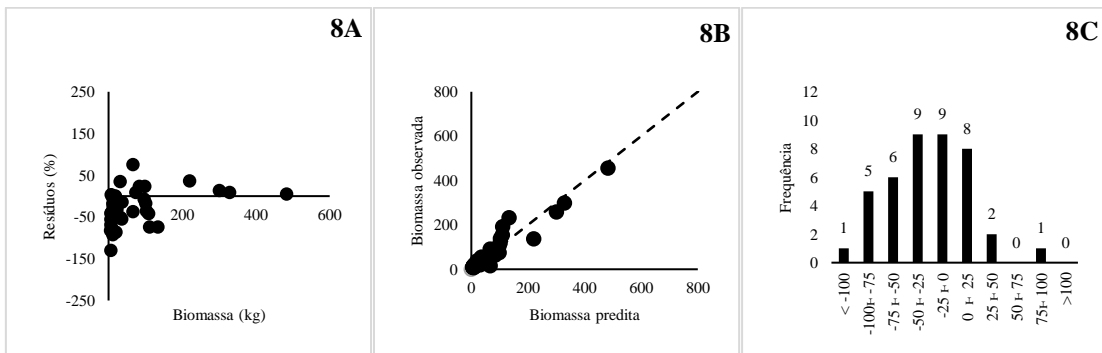
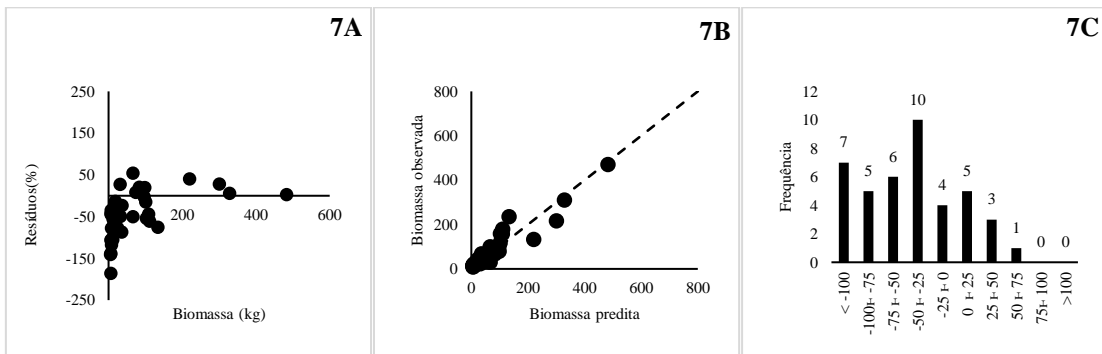
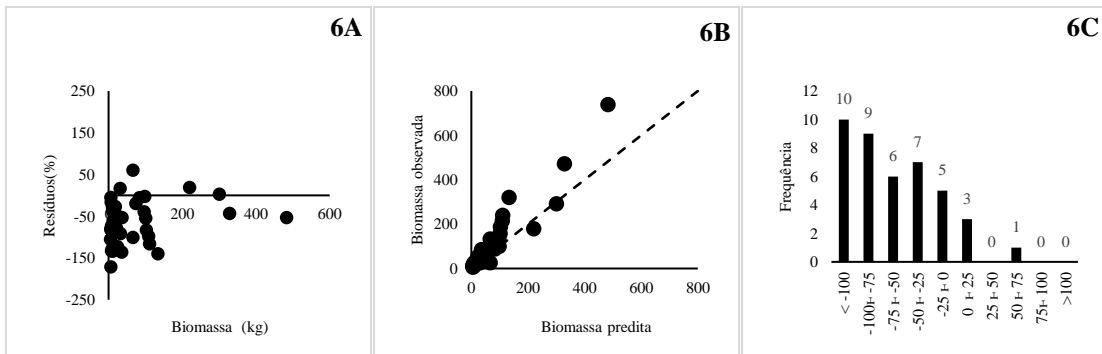
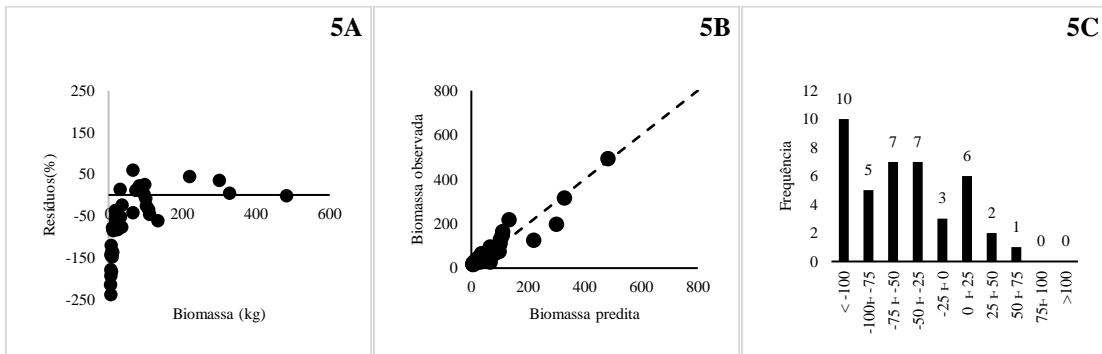


Apêndice 7 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Mata de Galeria.

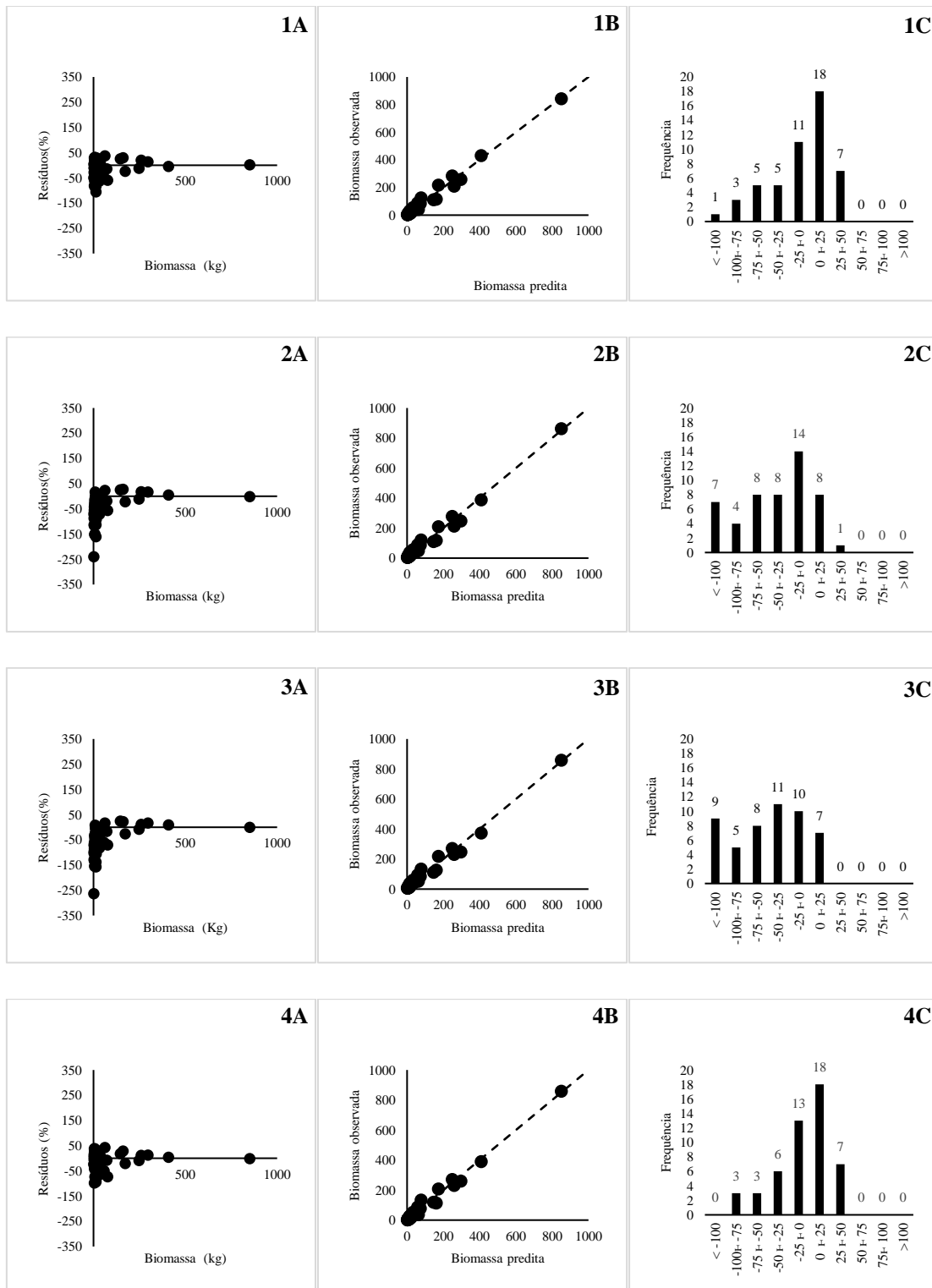


Continua...

Continuação...



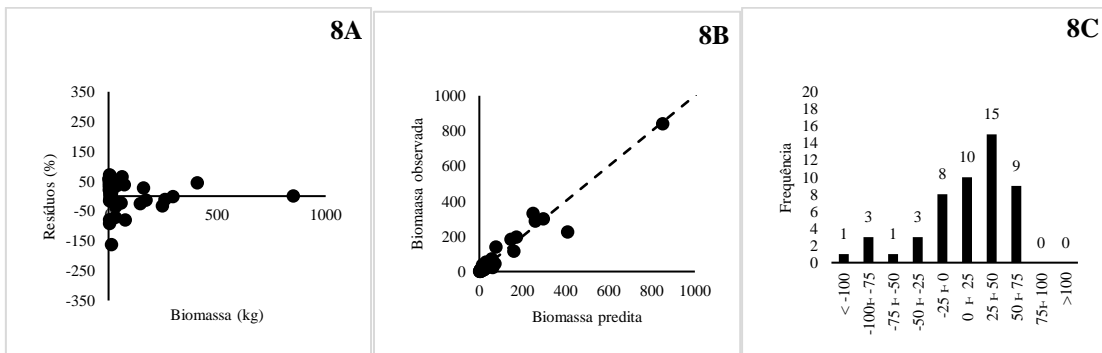
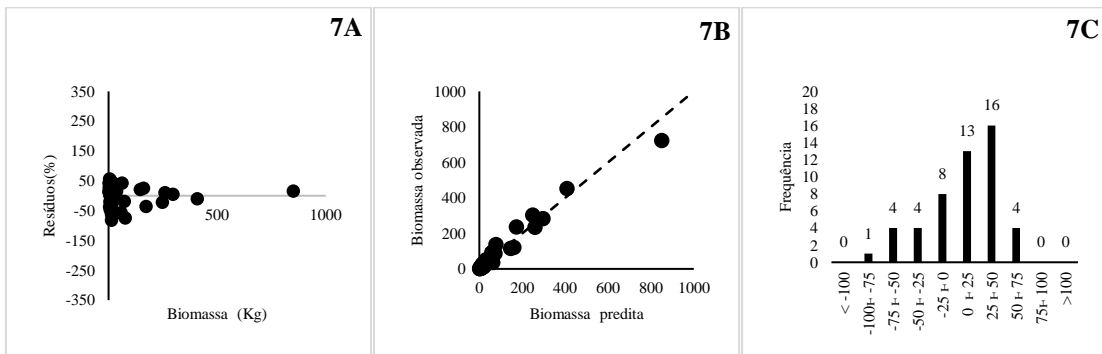
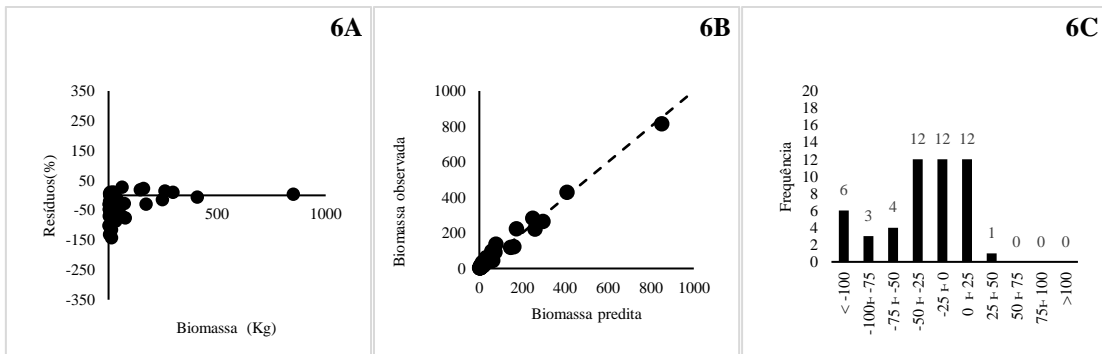
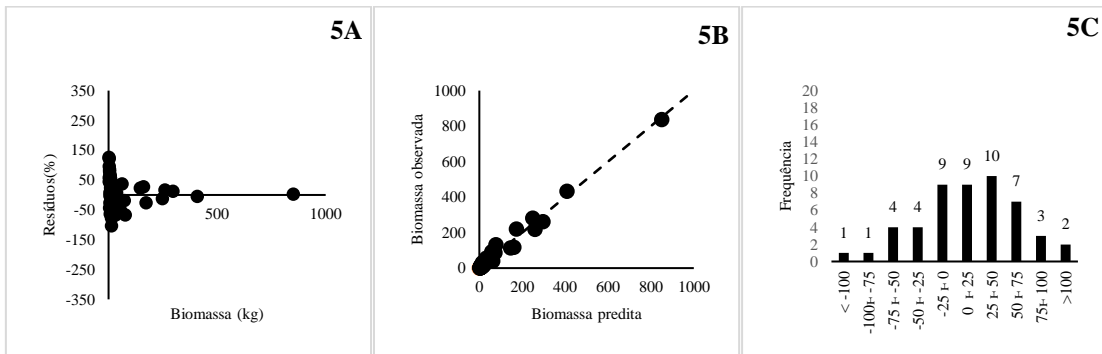
Apêndice 8 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Mata Seca.



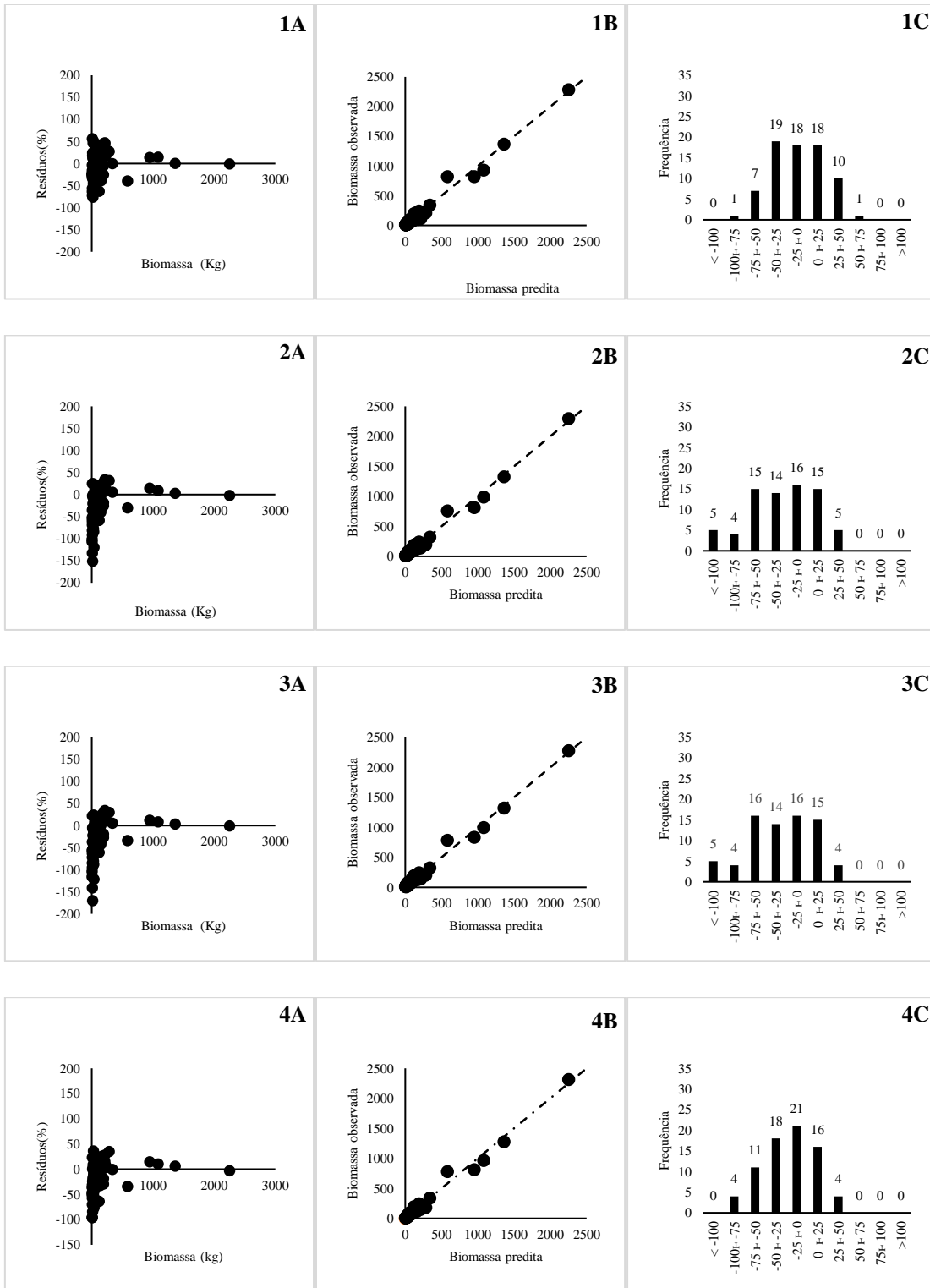
Continua...



Continuação...

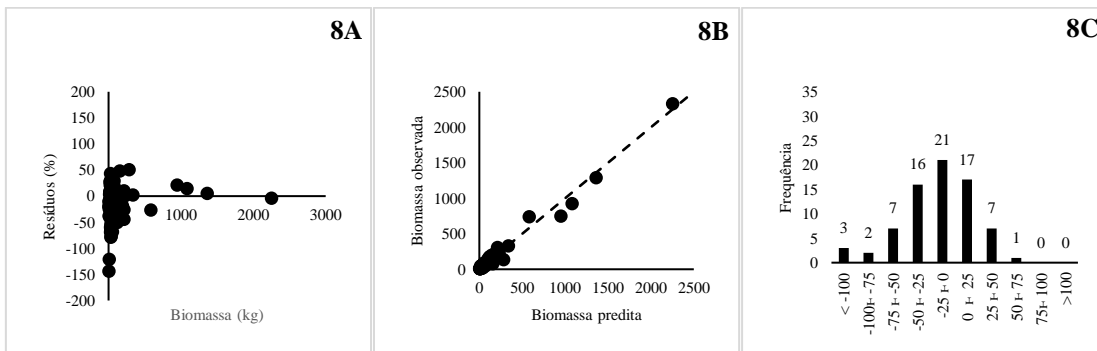
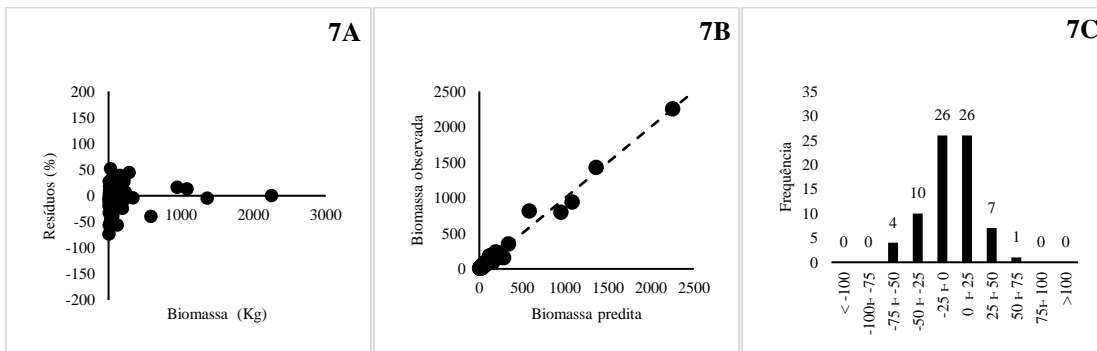
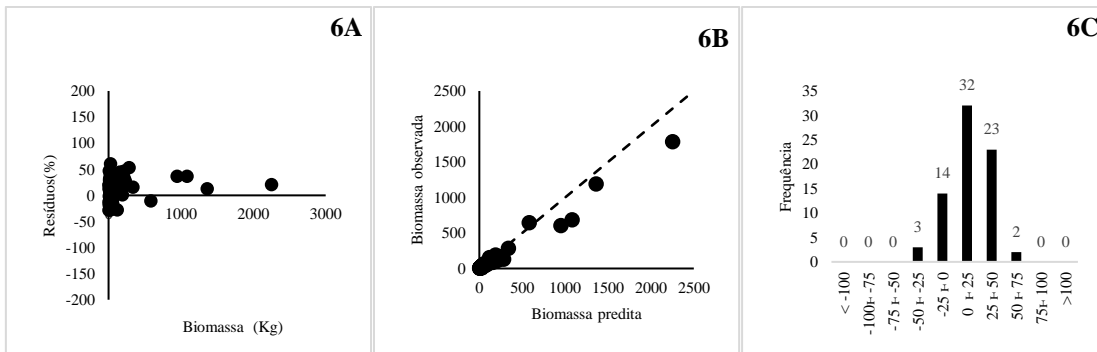
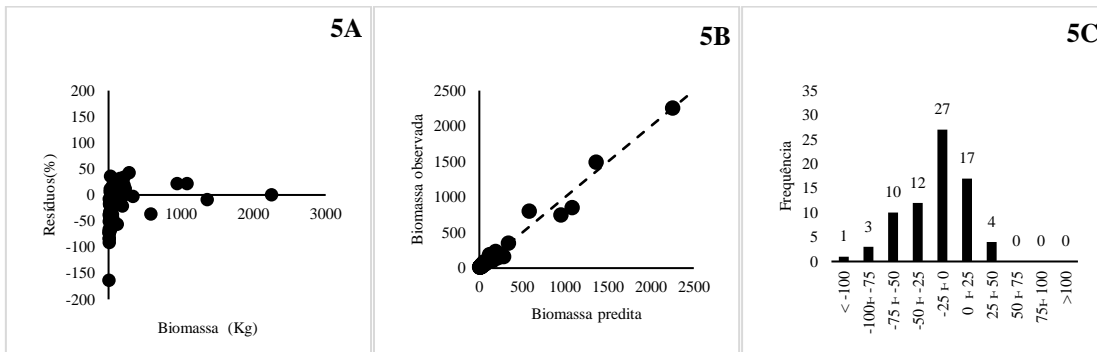


Apêndice 9 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Cerradão.

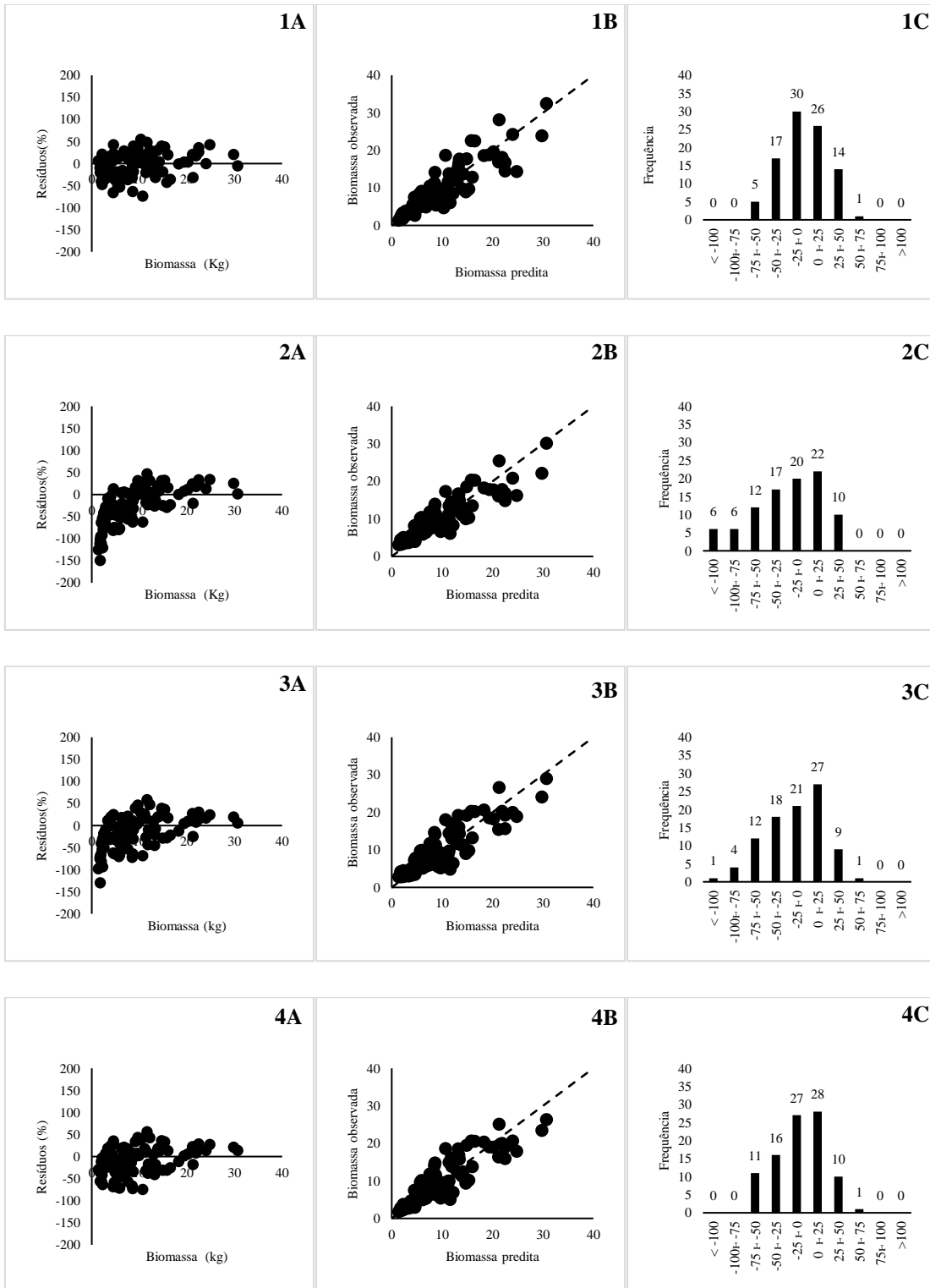


Continua...

Continuação...

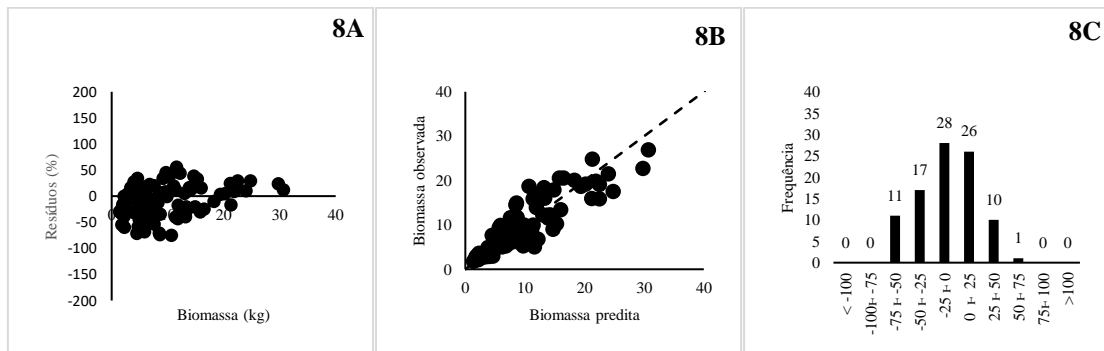
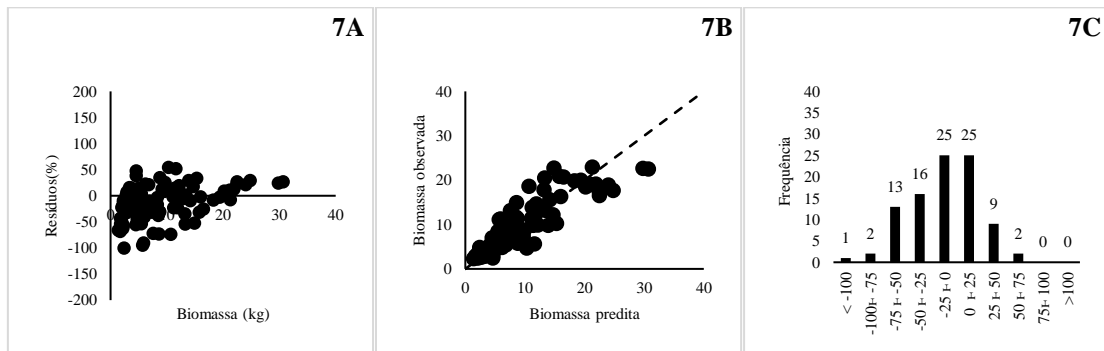
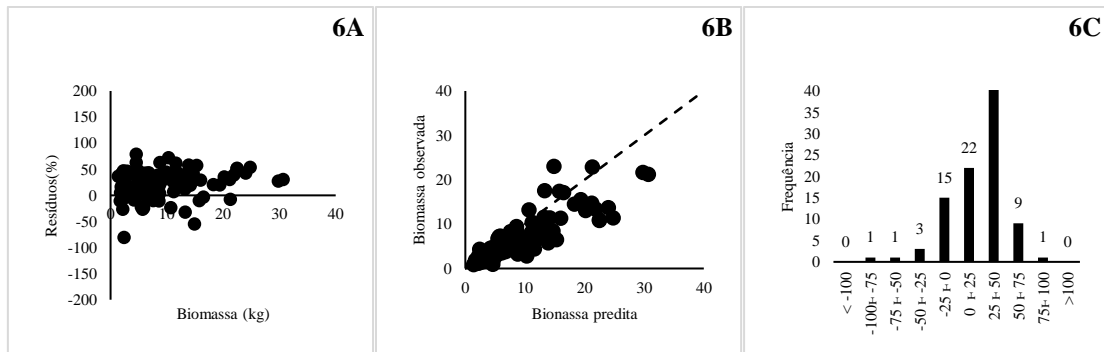
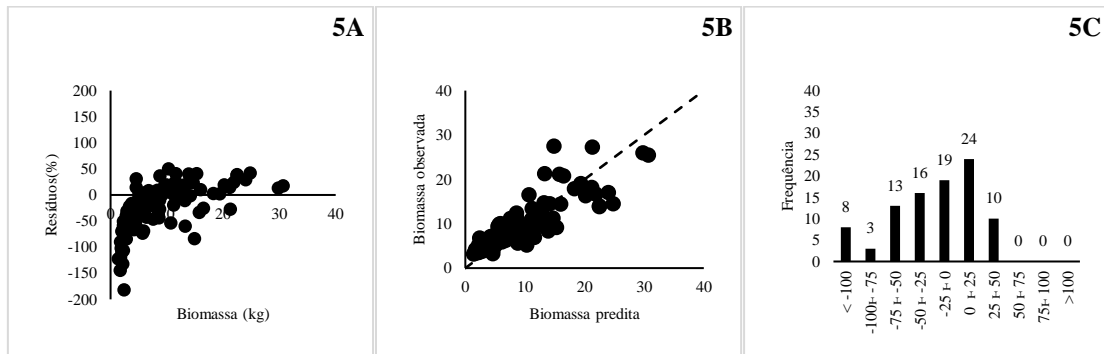


Apêndice 10 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para Cerrado *sensu stricto*.

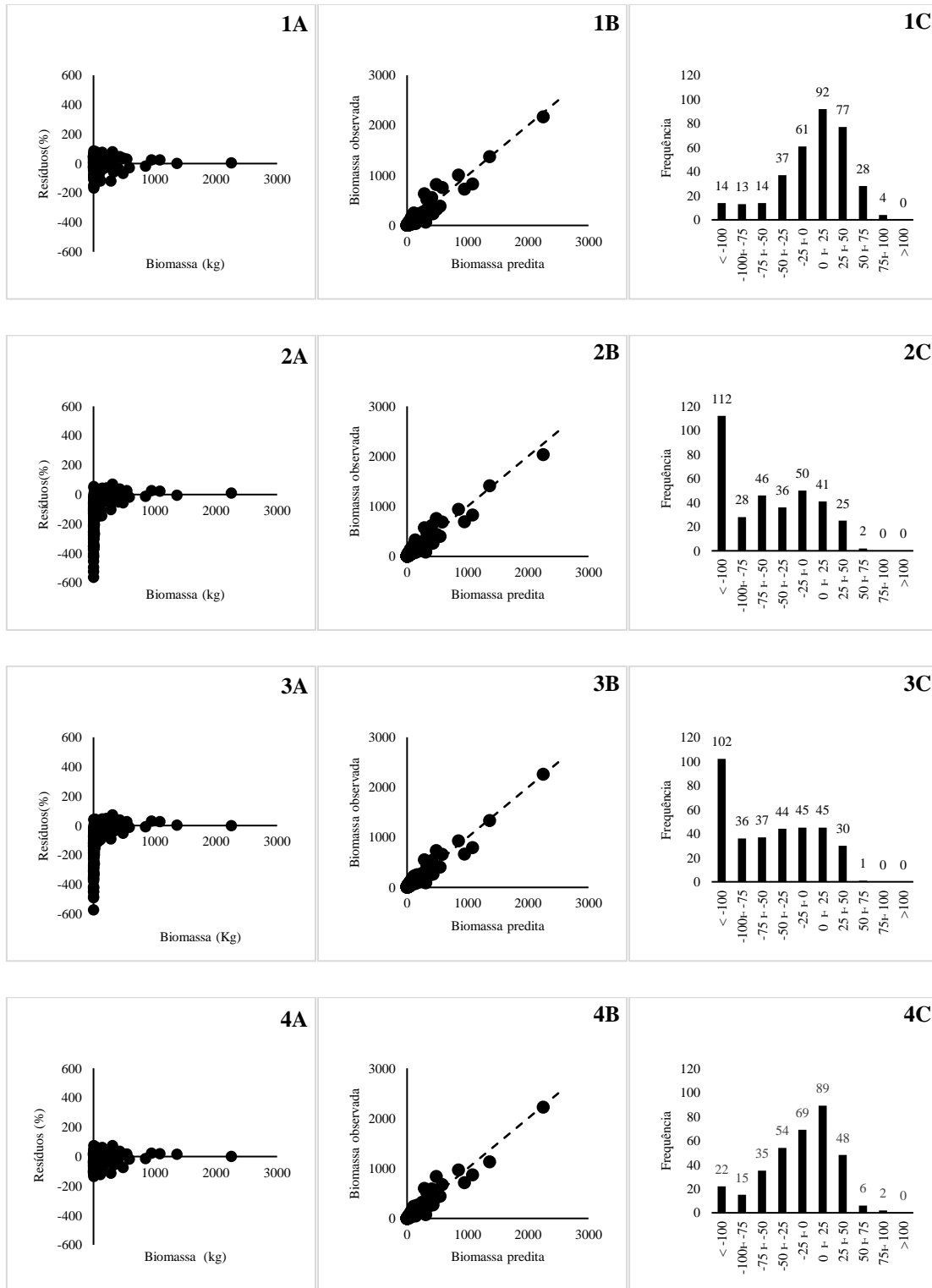


Continua...

Continuação...

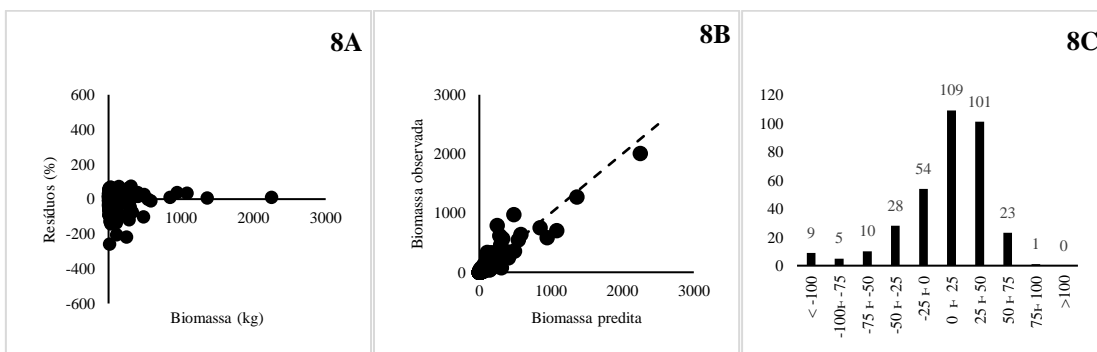
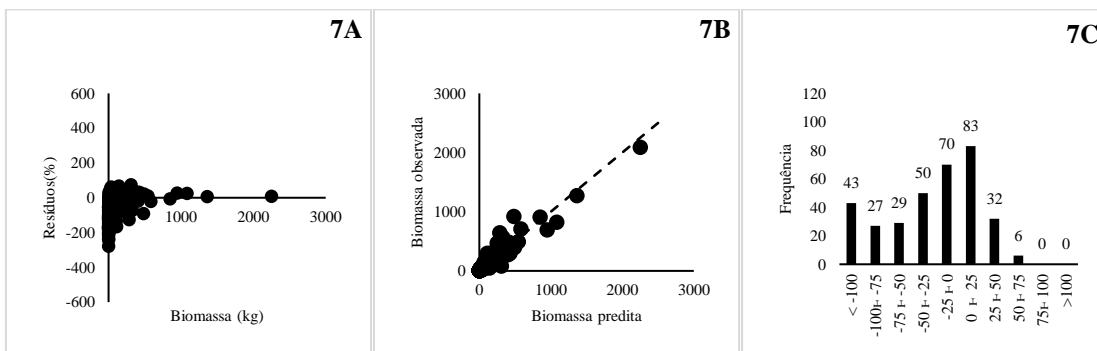
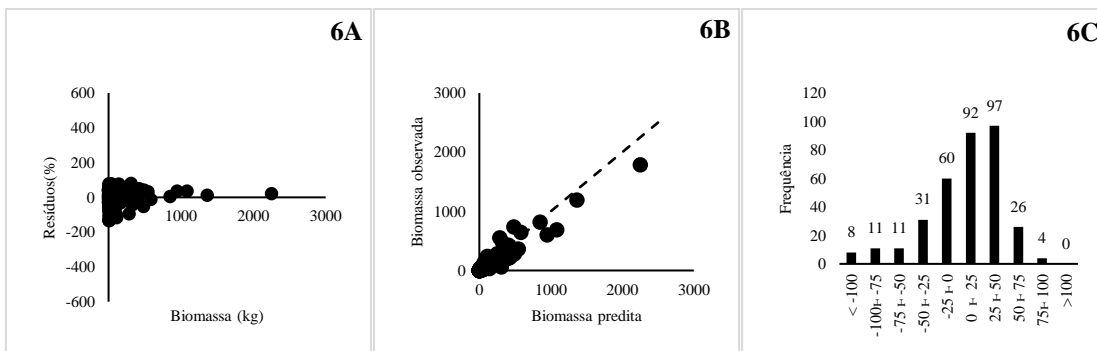
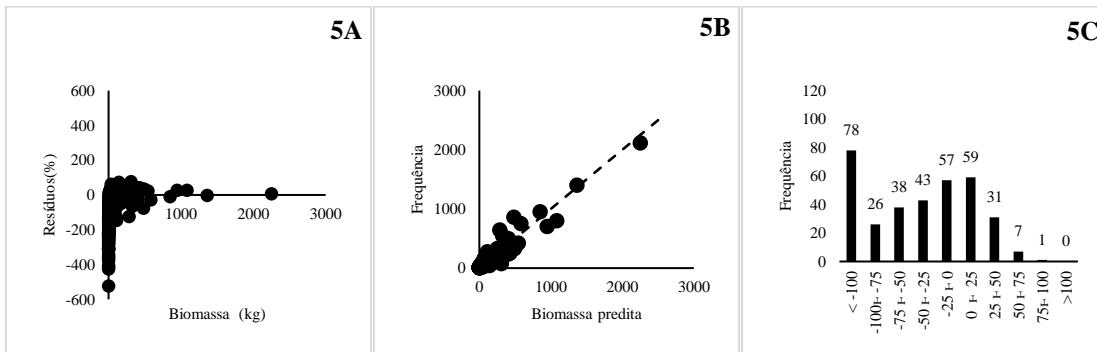


Apêndice 11 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para o modelo genérico.

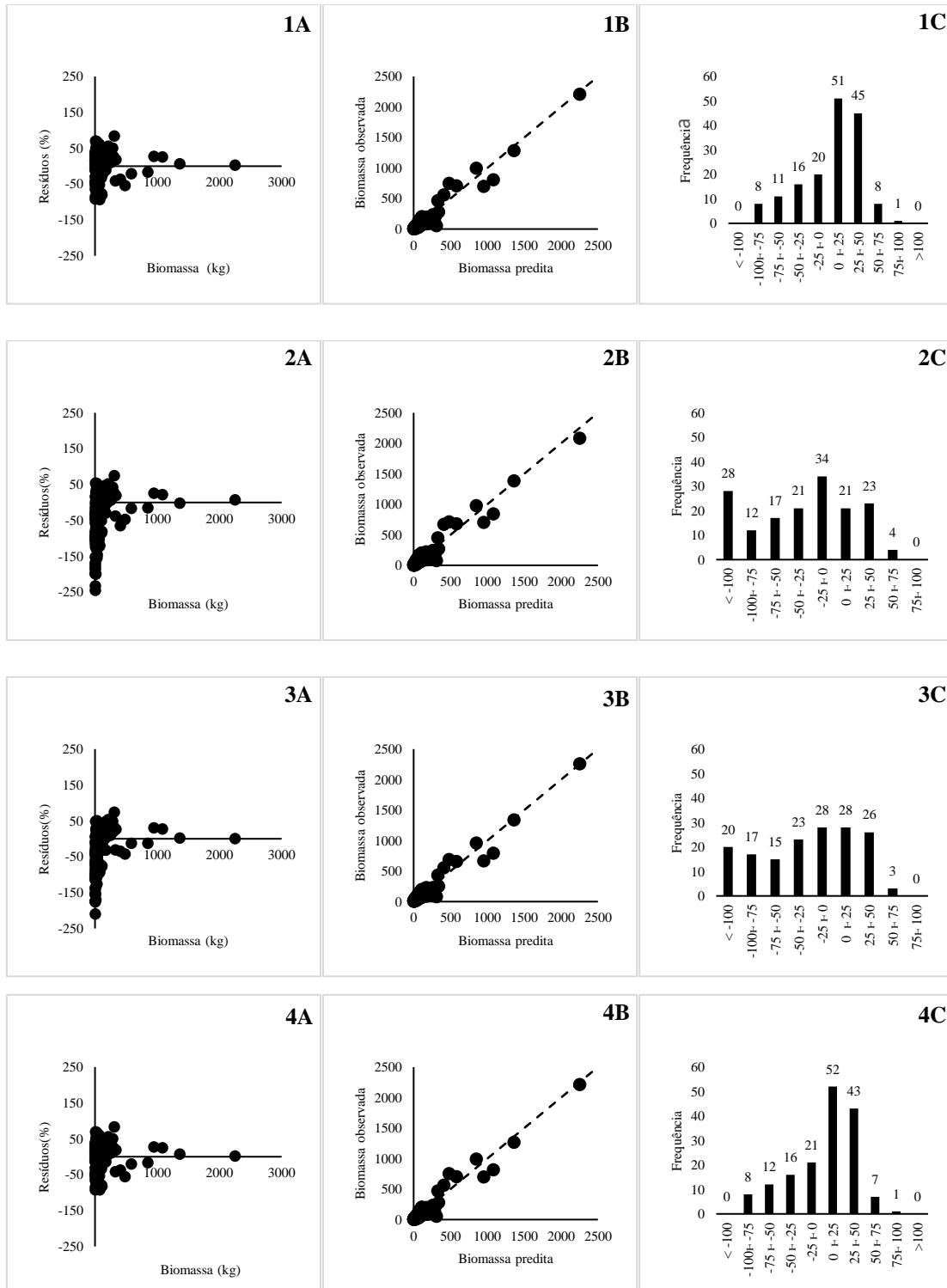


Continua...

Continuação...



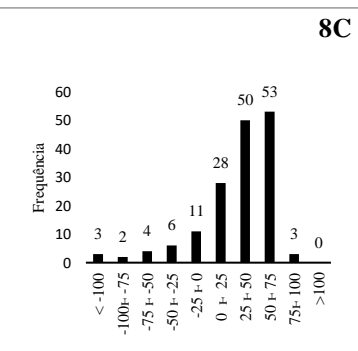
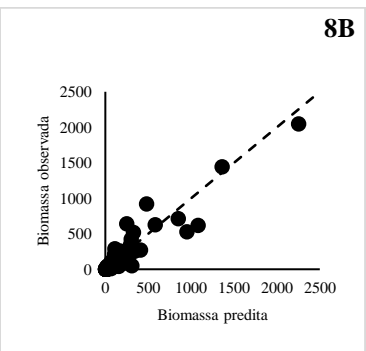
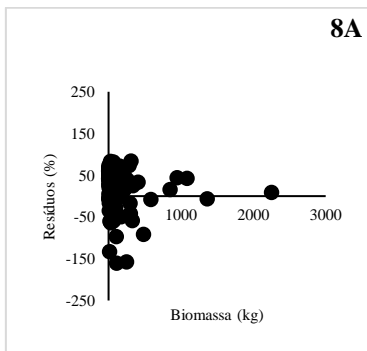
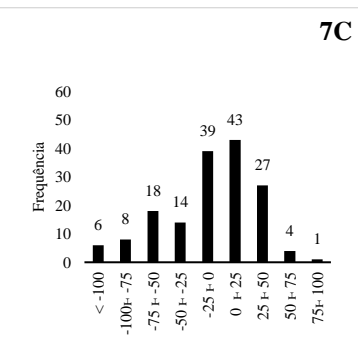
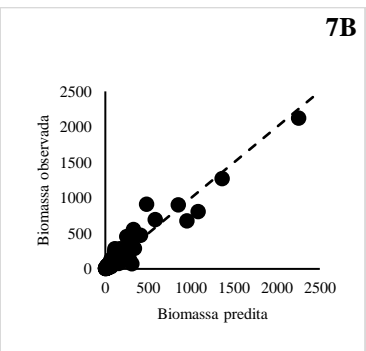
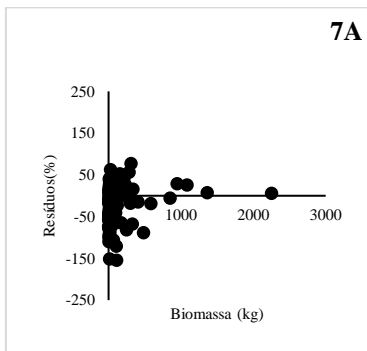
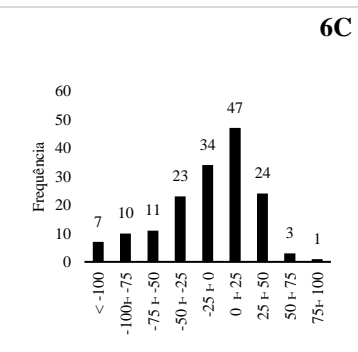
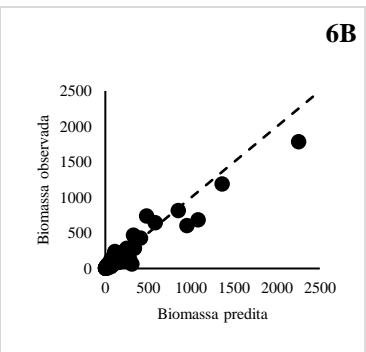
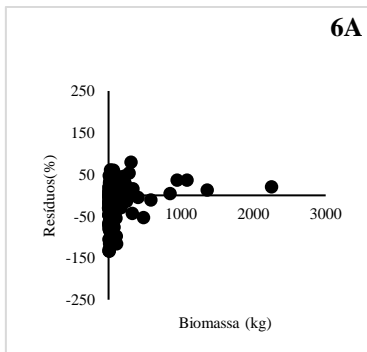
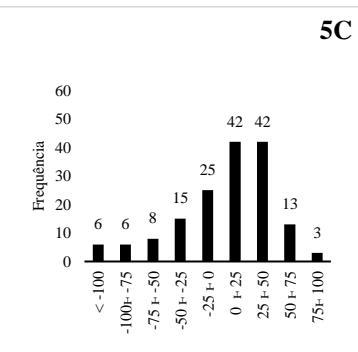
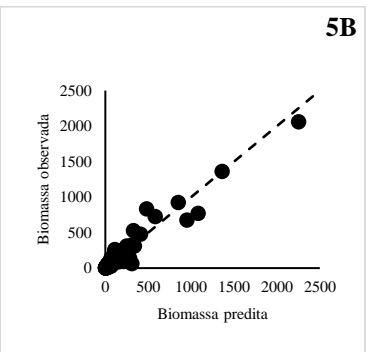
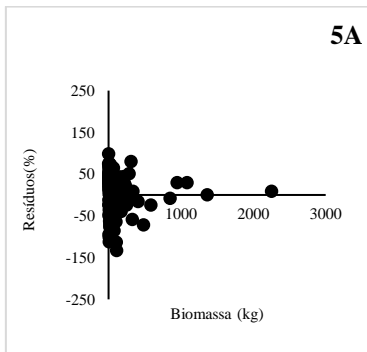
Apêndice 12 - Distribuição dos resíduos (a), valores observados utilizados para prever a biomassa dos indivíduos (b) e histograma de frequência em classes de erros relativos (c) para formação florestal.



Continua...



Continuação...



Apêndice 13 - Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>) das 116 espécies de madeira utilizada nessa dissertação.

Espécie	Densidade básica (g/cm <sup>3</sup> )
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	0.378
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	0.860
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	0.883
<i>Andira</i> sp.	0.670
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	0.380
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. & Zucc.	0.670
<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart. & Zucc.	0.790
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	0.880
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart. & Zucc.	0.820
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	0.950
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	0.670
<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	0.600
<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.) R.E.Fr.	0.640
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	0.827
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth	0.620
<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	0.390
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	0.670
<i>Byrsonima sericea</i> DC.	0.680
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	0.750
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	0.760
<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	0.650
<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O.Berg	0.730
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	0.650
<i>Casearia rupestris</i> Eichler	0.620
<i>Combretum duarceanum</i> Cambess.	0.712
<i>Connarus perrottetii</i> (DC.) Planch.	0.453
<i>Connarus suberosus</i> Planch.	0.450
<i>Cordia</i> sp.	0.500
<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.	0.590
<i>Dalbergia densiflora</i> Benth.	0.760
<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	0.770
<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	0.509
<i>Diospyros hispida</i> A.DC.	0.760
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	0.841
<i>Endlicheria paniculata</i> (Spreng.) J.F.Macbr.	0.785
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.	0.570
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	0.360

Continua...

**Continuação...**

<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	0.380
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	0.630
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	0.810
<i>Erythroxylum suberosum</i> A.St.-Hil.	0.620
<i>Erythroxylum tortuosum</i> Mart.	0.540
<i>Euterpe edulis</i> Mart.	0.920
<i>Ferdinandusa elliptica</i> (Pohl) Pohl	0.660
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	0.470
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	0.584
<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	0.820
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	0.950
<i>Himatanthus articulatus</i> (Vahl) Woodson	0.462
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	0.900
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	0.620
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	0.460
<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	0.580
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	0.800
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	0.700
<i>Licania apetala</i> (E.Mey.) Fritsch	0.640
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	0.640
<i>Magnolia ovata</i> (A.St.-Hil.) Spreng.	0.525
<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	0.770
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	0.588
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	0.820
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	0.680
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	0.680
<i>Miconia chartacea</i> Triana	0.630
<i>Miconia cuspidata</i> Naudin	0.845
<i>Miconia dodecandra</i> Cogn.	0.620
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	0.650
<i>Miconia leucocarpa</i> DC.	0.570
<i>Miconia</i> sp.	0.567
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	1.032
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	0.700
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	0.520
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	0.500
<i>Ouratea ovalis</i> (Pohl) Engl.	0.620
<i>Palicourea rigida</i> Kunth	0.430
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	0.500
<i>Parkia platycephala</i> Benth.	0.760

**Continua...**

Continuação...

<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	0.790
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	0.650
<i>Platymiscium floribundum</i> Vogel	0.890
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	0.780
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	0.700
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	0.600
<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.	0.560
<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart.) A.Robyns	0.340
<i>Pseudolmedia laevigata</i> Trécul	0.660
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.	0.200
<i>Pterodon pubescens</i> (Benth.) Benth.	0.730
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	0.690
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	0.820
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	0.690
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	0.791
<i>Richeria grandis</i> Vahl	0.577
<i>Rourea induta</i> Planch.	0.470
<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	0.650
<i>Schefflera macrocarpa</i> (Cham. & Schltdl.) Frodin	0.680
<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	0.438
<i>Sterculia striata</i> A.St.-Hil. & Naudin	0.550
<i>Strychnos pseudoquina</i> A.St.-Hil.	0.720
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	1.190
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	0.490
<i>Symplocos rhamnifolia</i> A.DC.	0.380
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	0.760
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	0.898
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	0.710
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	0.466
<i>Terminalia argentea</i> Mart. & Zucc.	0.710
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum.	0.580
<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.	0.700
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	0.480
<i>Vochysia elliptica</i> Mart.	0.570
<i>Vochysia gardneri</i> Warm.	0.352
<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	0.580
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	0.561
<i>Xylopia emarginata</i> Mart.	0.590