

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Mágda Rosa Fontoura

**BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS EM ÁREA DE
REGENERAÇÃO NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.**

Frederico Westphalen, RS
2017

Mágda Rosa Fontoura

**BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS EM ÁREA DE REGENERAÇÃO
NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Braulio Otomar Caron

Frederico Westphalen, RS
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Fontoura, Mágda Rosa
BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS EM ÁREA DE REGENERAÇÃO
NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL. / Mágda Rosa
Fontoura.- 2017.
57 p.; 30 cm

Orientador: Braulio Otomar Caron
Coorientador: Elder Eloy
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Campus de Frederico Westphalen, Programa de Pós-
Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2017

1. Biomassa vegetal - Rio Grande do Sul 2. Madeira
para produção de energia 3. Estimacão de biomassa 4.
Regeneracão natural I. Caron, Braulio Otomar II. Eloy,
Elder III. Título.

Mágda Rosa Fontoura

**BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS EM ÁREA DE REGENERAÇÃO
NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Agronomia, Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

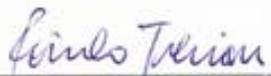
Aprovado em 27 de julho de 2017:



Bráulio Otomar Caron, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Alexandre Behling, Dr. (UFPR)



Rômulo Trevisan, Dr. (UFSM)

DEDICATÓRIA

Dedico, à minha família, em especial ao meu marido Mauro, aos meus amigos e orientadores, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar meus passos, me dando força e coragem. A toda a minha família pelo apoio incondicional, conselhos e educação, e em especial ao meu marido Mauro que sempre esteve ao meu lado, pela amizade e pelo apoio para que pudesse chegar ao final de mais uma caminhada.

Aos meus amigos Laura, Juniara, Josimar, Jeferson, Gustavo, Anilce, Paulo, Camila, Dogas, Patrícia, Tainor, Alexandro, Angélica, Daniele por estarem sempre ao meu lado sempre ajudando no que fosse preciso, em especial a Jéssica Galvan e Jonathan Trautenmuller pela grande ajuda e incentivo.

Ao prof. Braulio Otomar Caron, pela orientação, pela oportunidade, pela confiança depositada em mim, por todos os ensinamentos valiosos e pela amizade.

Ao prof. Dr. Rômulo Trevisan e Elder Eloy por confiarem em minha capacidade, pela liberdade a mim concedida, pela orientação e ensinamentos e principalmente pela amizade e incentivo, os quais foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos demais professores Edison Perrando, Celina Ceolin, Hilda Soriani, Rafaelo Balbinot, Magda Zanon e Edner Baumhardt, pelo companheirismo e pelos valiosos ensinamentos.

Ao Laboratório de Agroclimatologia (LAGRO) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/FW), pelo acesso ao conjunto de dados que originou a Dissertação de Mestrado.

Ao Grupo de Pesquisa de Tecnologia da Madeira do Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM/FW), em especial a Tainara, Luana, Henrique, Edivane, Caroline pela grande ajuda e pela amizade.

Ao laboratório de Energia de Biomassa Florestal da Universidade Federal do Paraná - UFPR, ao prof. Dimas Agostinho Silva e em seu nome todos os demais participantes, pelo consentimento da realização de parte das análises utilizadas no trabalho.

Aos professores Braulio O. Caron, Rômulo Trevisan e Alexandre Behling, pela disponibilidade de participar da banca de defesa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo auxílio financeiro através da bolsa de mestrado. A Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, *Campus Frederico Westphalen* e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia Agricultura e Ambiente pela possibilidade da realização desse trabalho.

De maneira geral, a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho.

RESUMO

BIOMASSA PARA FINS ENERGÉTICOS EM ÁREA DE REGENERAÇÃO NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

AUTORA: Mágda Rosa Fontoura
ORIENTADOR: Braulio Otomar Caron

Esse estudo teve como objetivo avaliar a biomassa para fins energéticos em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill. Para tanto, foram testados modelos alométricos tradicionais de volumetria e determinadas as propriedades energéticas dos diferentes componentes das árvores: fuste, galho e folhas, distribuídas em classes de diâmetro. O trabalho foi realizado em área de regeneração natural no município de Frederico Westphalen-RS, sob coordenadas geográficas de 27°23'08" S e 53°25'51" O, a 420 m de altitude, com a instalação de cinco parcelas de 4 x 25 m (100 m²) onde, mensurou-se a altura e diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP) de todos os indivíduos com 1,8 até 30,0 cm de DAP, totalizando 163 árvores, sendo selecionadas 26 para o corte as quais, em seguida, foram distribuídas em 8 classes de diâmetro: 1,8-3,7; 3,7-5,6; 5,6-7,5; 7,5-9,4; 9,4-11,3; 11,3-13,2; 13,2-15,1 e 15,1-17,0 cm. Após a derrubada das árvores, retiraram-se discos com, aproximadamente 2,0 cm de espessura nas seguintes posições do tronco: 0,10 m (base), 1,30 m (DAP), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total para as avaliações de biomassa (BIO) do fuste. Enquanto que, para a determinação da biomassa (BIO) de galhos e folhas, procedeu-se com a amostragem estratificada ao longo da copa das árvores. As variáveis analisadas foram poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (ρ_b), produtividade energética (PE), densidade energética (DE), teor de carbono fixo (CF), teor de material volátil (MV) e teor de cinzas (CZ). Os resultados quanto à estimação de biomassa, indicaram que o modelo de Spurr e o proposto pelos autores, representado pela equação: $MST = -5,6260 + 1,2986 * ((dap^2) * (h)) + \epsilon_i$ apresentou o melhor desempenho com R^2_{aj} de 0,846 e S_{xy} de $\pm 31,42\%$, sendo recomendado para estimativa de biomassa nas condições propostas. Em relação às propriedades energéticas, as classes de diâmetro influenciaram nas propriedades energéticas da madeira, os valores mais elevados de PCS, BIO, PE e os menores do CZ, foram verificados nos maiores diâmetros. Os componentes das árvores analisados demonstraram diferentes produções e distribuições para PCS, BIO, PE, CF, MV e CZ. A ρ_b e DE do fuste não apresentaram variação de acréscimo ou decréscimo com o aumento das classes de diâmetro. Os indivíduos da oitava classe de diâmetro reuniram as melhores condições para uso de biomassa para produção de energia em área de regeneração natural, sendo recomendada, desse modo, a utilização das árvores com os maiores diâmetros.

Palavras-chave: Timbó. Modelagem. Produtividade energética.

ABSTRACT

BIOMASS ENERGY PURPOSES IN THE NATURAL REGENERATION AREA OF *Ateleia glazioviana* BAILL

AUTORA: Mágda Rosa Fontoura
ORIENTADOR: Braulio Otomar Caron

This study aimed to evaluate the biomass for energy purposes in the natural regeneration area of *Ateleia glazioviana* Baill. For this, allometric models of volumetry were tested and determined to the energy properties of the different compartments of the trees: stem, branch and leaves, distributed in different diameter classes. The work was carried out in natural regeneration area in the municipality of Frederico Westphalen RS, Brazil; under geographic coordinates of 27 ° 23'08 "S and 53 ° 25'51" O, at 420 m altitude, with the installation of five plots of 4 X 25 m (100 m²) where the height and diameter of the chest height were measured at 1.30 m from the ground (DAP) of all individuals with 1.3 to 30.0 cm of DAP, totaling 163 trees,. Being selected 26 for the cut which were then distributed in 8 diameter classes: 1.8-3.7, 3.7-5.6, 5.6-7.5, 7.5-9.4; 9.4-11.3; 11.3-13.2; 13.2-15.1 e 15.1-17.0 cm. After the trees were felled, discs approximately 2.0 cm thick were removed at the following trunk positions: 0.10 m (base), 1.30 m (DAP), 25%, 50%, 75%, and 100% of Total height for the biomass assessments of the stem. While, for the determination of the biomass (BIO) of leaves and branches, stratified sampling was carried out along the canopy of the trees. The variables analyzed were higher calorific value (PCS), basic specific mass (ρ_b), energy productivity (PE), energy density (DE), fixed carbon content (CF), volatile material content (MV), ash content (CZ). The results for biomass estimation, indicated that all model Spurr model and the one proposed by the authors, represented by the equation: $MST = -5.6260 + 1.2986 * (dap^2) * (h) + \epsilon_i$ presented the best performance with R 2a. of 0.846 and Sxy of $\pm 31.42\%$, being recommended for estimating biomass under the proposed conditions. In relation to the energetic properties, the diameter classes influenced the energetic properties of the wood, the highest values of PCS, BIO, PE and the smaller values of CZ were verified in the largest diameters. The components of the trees analyzed showed different yields and distributions for PCS, BIO, PE, CF, MV and CZ. The ρ_b and DE of the stem did not present increase or decrease variation with the increase of the diameter classes. The individuals of the eighth diameter class had the best conditions for the use of biomass for the production of energy in a natural regeneration area, thus recommending the use of trees with the largest diameters.

Keywords: Timbó. Modeling. Energy efficiency.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I – MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM ÁREA DE REGENERAÇÃO NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

- Tabela 1: Valores de diâmetro a altura de 1,30 m do solo (dap) e altura total (h) das árvores de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.....26
- Tabela 2: Modelos estatísticos testados para as estimativas de massa seca total.....27
- Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis dependente e independentes utilizadas no ajuste dos modelos de estimativa de biomassa de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.27
- Tabela 4: Estatística e parâmetros dos modelos testados e ajustados para estimativa de biomassa acima do solo em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.....28

ARTIGO II – EFEITO DA CLASSE DIAMÉTRICA SOB AS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DE BIOMASSA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

- Tabela 1: Valores médios de altura (h) e diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP) das árvores de *Ateleia glazioviana*, distribuídos nas classes de diâmetro, no município de Frederico Westphalen-RS.47
- Tabela 2: Análise de variância para as propriedades energéticas nos compartimentos das árvores de *Ateleia glazioviana*, distribuída em diferentes classes de diâmetro, em área de regeneração natural, no município de Frederico Westphalen-RS 47
- Tabela 3: Teste de médias para os diferentes compartimentos das árvores de *Ateleia glazioviana*, distribuídas em diferentes classes de diâmetro, no município de Frederico Westphalen-RS48

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I – MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM ÁREA DE REGENERAÇÃO NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

Figura 1: Partição da massa seca total das árvores de *Ateleia glazioviana*, distribuídas nas classes de diâmetro, no município de Frederico Westphalen-RS.....28

Figura 2: Dispersão dos resíduos das estimativas de biomassa em função da massa seca total de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA PARA ENERGIA	14
1.2 <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL.....	15
1.3 QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA.....	15
1.4 MODELO ESTATÍSTICO	16
1.5 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA.....	17
1.6 PODER CALORÍFICO SUPERIOR	18
1.7 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA	19
1.7.1 Teor de carbono fixo (CF)	19
1.7.2 Teor de materiais voláteis (MV)	20
1.7.3 Teor de cinza (CZ)	20
1.8 HIPÓTESES, OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS	21
2 ARTIGO I – MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM ÁREA DE REGENERAÇÃO NATURAL DE <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL.	23
INTRODUÇÃO	24
MATERIAL E MÉTODOS	25
RESULTADOS	27
DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES	30
AGRADECIMENTOS	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31
3 ARTIGO II - EFEITO DA CLASSE DIAMÉTRICA SOB AS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DE BIOMASSA DE <i>Ateleia glazioviana</i> BAILL.	33
3.1 RESUMO.....	34
3.2 ABSTRACT.....	35
3.3 INTRODUÇÃO	35
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	37
3.4.1 Caracterização da área de estudo e amostragem	37
3.4.2 Determinação de biomassa	38
3.4.3 Massa específica básica (pb)	38
3.4.4 Poder calorífico superior (PCS)	39
3.4.5 Análise química imediata (AQI)	39

3.4.6 Produtividade energética (PE)	39
3.4.7 Densidade energética (DE)	39
3.4.8 Análise dos dados	40
3.5 RESULTADOS	40
3.6 DISCUSSÃO	41
3.7 CONCLUSÃO	43
3.8 AGRADECIMENTOS	44
3.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
4 DISCUSSÃO GERAL	50
5 CONCLUSÃO GERAL	51
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

O alto consumo de energia está entre os pontos mais problemáticos da sociedade, pois há muitos anos baseia-se em fontes não renováveis, o que induz ao questionamento em relação ao suprimento energético, questão ambiental e econômica. Diante desse contexto, muitos países vêm intensificando a utilização de recursos renováveis, dentre os quais a biomassa se enquadra, com intuito de minimizar esses problemas (ELOY et al., 2015).

A participação da biomassa como matriz energética é notável, pois auxilia na redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2016). De acordo com a *Food Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2010), a mesma é considerada uma importante fonte de energia renovável, sendo encontrada entre os produtos básicos mais consumidos no mundo. Atualmente, mais de dois bilhões de pessoas dependem da energia disponível na madeira no uso energético domiciliar, o que representa aproximadamente 33% do consumo global de energia, seja para cocção de alimentos, aquecimento (FAO, 2017) ou no setor industrial com a geração de vapor em caldeiras e fornos (ANEEL, 2016).

A biomassa florestal é um recurso vital para atender a demanda mundial de energia (FAO, 2017), pois trata-se de uma fonte de energia limpa, de baixo custo, baixo teor de cinzas, enxofre e geradora de empregos (SOARES et al., 2006; BRASIL, 2016; MORALES; MOURA, 2016).

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com potencial de crescimento, tendo em vista que cerca da metade da madeira consumida no Brasil tem destinação energética (SANTOS et al., 2013), estando entre 123 a 150 milhões de metros cúbicos de acordo com a FAO (2012) e SFB (2010), respectivamente.

A lenha e o carvão vegetal produzem 8,1% de energia no Brasil, ou seja, 24,72 milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), de acordo com o Ministério das Minas e Energia (BRASIL, 2016). Globalmente são considerados 50%, das funções nominadas para florestas, como produção de madeira, sendo aproximadamente 1,86 bilhões de m³ na demanda de energia (FAO, 2017).

A intensificação do uso e/ou manejo de espécies nativas com fins energéticos, bem como a implantação de novos plantios florestais com tal finalidade representa um desafio ao setor florestal (SANTOS, COLODETTE, QUEIROZ, 2013; BRAND, 2010). Desse modo, estudos devem ser realizados para conhecer o potencial produtivo de cada tipologia florestal, para que sejam desenvolvidas técnicas de manejo adequadas. Tendo em vista o aspecto

sustentável da área a ser utilizada, ou seja, sua capacidade de regeneração da quantidade de biomassa retirada em um determinado período de tempo para que possa ser utilizada novamente (BRAND, 2010).

1.1 UTILIZAÇÃO DE BIOMASSA PARA ENERGIA

O termo biomassa corresponde à massa de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal pertinente a todo o material formado por meio do processo de fotossíntese contendo energia química oriunda da transformação energética da radiação solar (NOGUEIRA; LORA, 2003), e os resíduos gerados após a utilização dos mesmos bem como, resíduos florestais e agrícolas (SANQUETTA, 2002; BRAND, 2010).

Fonte primária e renovável de energia foi utilizada desde os primórdios pela humanidade como forma de aquecimento e para o preparo dos alimentos (SOARES et al., 2006). Atualmente, com o uso desenfreado de recursos não renováveis, muitos países vêm desenvolvendo estudos quanto à determinação de biomassa nos diversos ecossistemas, a fim de analisar sua produtividade, conversão de energia e ciclagem de nutrientes com intuito de minimizar esse contexto (ELOY et al., 2014).

A biomassa constitui um importante aspecto para a caracterização estrutural dos ecossistemas considerando que sua obtenção pode ser de sistemas florestais implantados ou nativos, no primeiro caso se realiza o uso múltiplo da floresta ou então plantios exclusivos para a geração de energia. Nos sistemas autóctones, em que a floresta é formada por árvores originárias no próprio sistema, existem duas formas para adquirir a biomassa: a substituição da floresta por culturas agrícolas ou florestais e, a implantação de planos de manejo sustentável (BRAND, 2010).

A escolha das técnicas a serem implantadas depende diretamente da tipologia florestal em questão, do modo de utilização dos produtos retirados da floresta, das políticas de incentivo e da legislação vigente. Outros requisitos que implicam na capacidade de regeneração das plantas em um determinado período de tempo, tais como: alta densidade de indivíduos, curtos a médios ciclos de vida, espécies medianas, tortuosas, de alta massa específica e taxa de rebrota em florestas naturais (NOGUEIRA, LORA, 2003).

O manejo de florestas nativas para geração de energia é bastante utilizado nos países desenvolvidos, porém ainda incipiente no Brasil (MORALES; MOURA, 2016). Diante desse contexto, a adoção de métodos apropriados para o manejo de fragmentos florestais como

insumo para a geração de energia é necessária (SILVA et al., 2012; ELOY et al., 2015). Assim como, o conhecimento e análise das propriedades disponíveis em cada tipologia e/ou espécie, as quais podem ter influência direta sobre a viabilidade do uso do material como combustível (BRAND, 2010).

1.2 *Ateleia glazioviana* BAILL

O timbó é uma espécie nativa, pertencente à família Fabaceae, apresenta uma produtividade média de $9,8 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (CARVALHO, 2003), massa específica básica de $0,530 \text{ g cm}^{-3}$ (MATTOS, 2000) e poder calorífico superior de $4.492 \text{ Kcal kg}^{-1}$ (SILVA et al., 2012). Árvore caducifólia, pioneira, heliófila, de porte médio variando a altura entre 5 a 15 m e DAP de 20 a 30 cm, podendo chegar a 25 m de altura e 70 cm de DAP na idade adulta (CARVALHO, 2003), compondo a vegetação secundária da Floresta Estacional Decidual,

A espécie apresenta alta taxa de regeneração natural, sendo geralmente encontrada em agrupamentos puros nas bordas das matas, orlas de capões e beiras de estradas em áreas ensolaradas, a mesma é mediamente tolerante a geadas e/ou baixas temperaturas na fase juvenil (LONGHI, 1999). Ocorre naturalmente no noroeste do Rio Grande do Sul, e da Argentina, no oeste e meio oeste de Santa Catarina e Paraná (CARVALHO, 2003), podendo ocorrer também nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro (CARVALHO, 1994).

Essa espécie vem sendo indicada para adubação verde, composição de plantios heterogêneos destinados à recuperação de áreas degradadas, madeira serrada e roliça para energia (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002; BAGGIO, 2002). Além da utilização na construção civil em assoalhos, ripas, forros, caixotaria, paredes internas, confecções de objetos leves e para lenha (LORENZI, 1992).

O timbó é uma planta que apresenta alta regeneração natural, colonizando rapidamente os campos sombreando as pastagens, entretanto suas folhas apresentam substâncias tóxicas com ação abortiva quando ingeridas por bovinos, ovinos, equinos e outros herbívoros (CARVALHO, 2003; LANGELOH et al., 1992), devendo ser evitada para essa finalidade ou retirada se for o caso, pois seu corte é permitido conforme a lei número 11.428 de 2006 (BRASIL, 2017).

1.3 QUANTIFICAÇÃO DE BIOMASSA

O conhecimento da biomassa presente em cada tipologia florestal apresenta importância para a otimização do uso da floresta, pois sabe-se que há diferentes quantidades acumuladas dentro de uma mesma área, em decorrência dos fatores fitossociológicos e edafoclimáticos como: precipitação, radiação, temperatura, latitude e altitude (GUEDES et al., 2001).

Os estudos de biomassa florestal podem ser realizados pelos métodos: direto (quantificação) e indireto (estimativas). O primeiro consiste na quantificação real, ou seja, pesagem dos componentes arbóreos com balança ou dinamômetro diretamente a campo comumente usado em florestas nativas e povoamentos implantados (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

O método indireto de estimativa de biomassa consiste na utilização de variáveis de fácil mensuração como diâmetro à altura de 1,30 m do solo e altura total ou comercial, não sendo necessário o seccionamento das árvores, ou seja, a obtenção dos dados ocorre por meio de relações quantitativas, modelos alométricos ou através de uma base de dados obtidas pelo Sistema de Informações Geográficas (SIG) (SILVEIRA et al., 2008) podendo ser empregado em amplas extensões de floresta (BALBINOT et al., 2008).

Entretanto, para que se obtenha uma estimativa válida da biomassa florestal é necessário um conhecimento prévio das características da vegetação (BALBINOT et al., 2008) pelo método direto proposto por Sanquetta (2002). Esse procedimento não é indicado para grandes extensões de floresta devido ao alto custo e demasiado tempo dispensado (BALBINOT et al., 2008).

1.4 MODELO ESTATÍSTICO

A utilização de modelos estatísticos é uma forma de descrever quantitativamente os processos que ocorrem em determinado sistema, sendo essa uma maneira simplificada e representativa da realidade, ou seja, o modelo deve ter o comportamento igual ou semelhante ao sistema modelado (ANGELINI; GOMES, 2008).

Muitos pesquisadores vêm trabalhando nessa área da modelagem florestal e, frequentemente necessitam mensurar algumas variáveis, as quais dispõem de um alto custo. Uma das técnicas utilizadas para minimizar esse contexto é a estimação de variáveis dependentes de difícil mensuração por meio de uma ou mais variáveis independentes de fácil obtenção, com o uso de modelos de regressão (ABREU, 2012; SANQUETTA et al., 2009), proporcionando uma boa precisão e redução de custos.

Diversos trabalhos de estimativa de biomassa são realizados apenas com a variável DAP, por sua fácil e rápida mensuração, além de apresentar menor erro de amostragem e menor custo quando comparado com a utilização em conjunto com a altura (BASUKI et al., 2009; LIMA et al., 2012). Entretanto, muitos autores mencionam que a inclusão da altura total melhora o ajuste final das equações (NOGUEIRA et al., 2008; MIRANDA et al., 2011; MELO et al., 2014).

Com base na análise de regressão é possível estimar a biomassa pelo ajuste de equações alométricas (SILVEIRA et al., 2008), onde na maioria das vezes os critérios estatísticos de seleção utilizados são o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), o erro padrão da estimativa (S_{yx}), além da análise de dispersão gráfica dos resíduos (FINGER, 1992). Além das condicionantes que, de acordo com Schneider et al. (2009), são a homogeneidade da variância, independência e normalidade.

Em alguns casos é necessário realizar transformações da base de dados, para que esses passem a apresentar uma distribuição aproximadamente normal obtendo novos valores de R^2_{aj} e S_{xy} (%), dentre as mais utilizadas estão: raiz quadrada, angular, logarítmica, raiz cúbica dos dados, transformação hiperbólica de primeiro grau ou hiperbólica de segundo grau e a transformação percentual (BANZATTO; KRONKA, 2013).

A modelagem é uma alternativa de aprimoramento técnico aos profissionais da área florestal de suma importância, pois oferece novas maneiras para determinar, quantificar e estimar variáveis de difícil mensuração necessárias em um planejamento de uso e/ou manejo dos fragmentos florestais (SCHNEIDER et al., 2009).

1.5 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

Para avaliar a qualidade da madeira e definir o correto uso dessa matéria-prima, é essencial a identificação de suas características, sendo a massa específica básica um dos principais parâmetros tecnológicos utilizados nos diversos segmentos da atividade industrial (CASTRO SILVA et al., 2004), por correlacionar diretamente o rendimento em massa e as propriedades físico-mecânicas (EISFELD et al., 2009) e, ainda, ser de fácil determinação (LIMA; GARCIA, 2005; MATTOS et al., 2011).

Para a determinação da massa específica básica, a relação da massa anidra de um corpo (g ou kg), e o seu volume saturado (cm^3 ou m^3) deve ser considerada (TREVISAN, 2010; MELO et al., 2013). Essa variável indica a quantidade aproximada de massa lenhosa,

ou de modo inverso, o volume de espaços vazios existentes na madeira (DURLO, 1991; SANQUETTA et al., 2013).

A massa específica básica apresenta influência na resistência mecânica, estabilidade dimensional e na qualidade de superfícies usinadas, pois está diretamente relacionada com a estrutura anatômica e composição química, resultando em uma complexa combinação entre os constituintes anatômicos internos (LOPES et al., 2011).

A análise da variabilidade da madeira, tanto no sentido radial (medula-casca) quanto no sentido longitudinal (base-topo), quando considerada a utilização tecnológica, torna-se imprescindível pelo fato de que essas variações podem ser alteradas conforme as características do genótipo, idade da árvore, amostragem, influências externas e das condições representadas pelas interações silviculturais realizadas no fragmento florestal (ALZETE et al., 2005; SETTE JUNIOR, 2007; TREVISAN et al., 2007).

A variabilidade dentro e entre espécies ou no mesmo indivíduo foi observada em diversos trabalhos, onde os autores atribuem tal comportamento a fatores ambientais e intrínsecos da própria espécie como, espessura da parede celular, teor de extrativos, origem de semente, quantidade de vasos, dimensões das fibras, idade (GOULART et al., 2003; VALE et al., 2009). Desse modo, a utilização da madeira como matéria-prima só pode ocorrer a partir do conhecimento adequado de suas propriedades (KLOCK et al., 2004; TREVISAN et al., 2016).

A massa específica básica apresenta importância no campo energético, visto que expressa a quantidade de massa de madeira sem influência da umidade, informação indispensável no dimensionamento dos locais de geração de energia (BRAND, 2010).

1.6 PODER CALORÍFICO SUPERIOR

O poder calorífico superior é uma das principais propriedades energéticas da madeira para geração de energia, por ser referência na qualidade do material quanto ao seu potencial energético (VALE et al., 2000; ELOY et al., 2014). O poder calorífico representa a quantidade de calor total (energia térmica) que é liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de combustível, expresso em caloria por grama ou quilocaloria por quilograma, para combustíveis sólidos (CINTRA, 2009; BRAND, 2010).

Essa variável pode ser representada de duas formas, como poder calorífico superior (PCS) e o poder calorífico inferior (PCI). No PCS, a água formada durante a combustão se

condensa, na reação entre o hidrogênio da madeira e o oxigênio, e seu calor latente recuperado é somado a energia mensurada, mostrando o máximo potencial energético do material. Enquanto que no poder calorífico inferior (PCI), o calor de condensação da água não é considerado, pois é perdido na forma de vapor, ou seja, o calor efetivamente possível de ser utilizada nos combustíveis (QUIRINO, 2005; BRAND, 2010; SANTANA et al., 2012).

Em avaliações do comportamento de combustível o PCI é mais usual, no entanto em trabalhos para comparação do potencial dos combustíveis de diferentes fontes de energia utiliza-se o PCS (CINTRA, 2009). Como em estudo desenvolvido por Quirino et al. (2004) com mais de 200 espécies florestais nativas e exóticas, onde os autores mencionam ter encontrado valores entre 4.685 a 4.736 Kcal/Kg, para folhosas tropicais Brito (1993), obteve variação de 3.500 a 5.000 Kcal/Kg. Em pesquisas realizadas com *A. glazioviana* Mattos et al. (2000), Baggio et al. (2002) verificaram valores médios de 4.637 e 4.450 Kcal/Kg, respectivamente para a espécie.

A composição química, teor de umidade e o de cinzas são alguns fatores que influenciam no poder calorífico do material (BRAND, 2010), bem como a massa específica básica (GATTO et al., 2003) e a origem da biomassa determinam a quantidade de energia disponível para o sistema de combustão (SANTANA et al., 2012).

1.7 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

A análise química imediata da madeira se refere ao conteúdo percentual do teor de carbono fixo (CF), teor de materiais voláteis (MV) e o teor de cinzas (CZ) na massa do combustível (BRAND, 2010). Em outras palavras, fornece a percentagem do material que volatiliza quando aquecido a altas temperaturas no estado gasoso, no estado sólido e o material residual da combustão (BARROS, 2009). A madeira apresenta, em termos gerais, índices de MV entre 75 a 80%, de CF entre 15 a 25% e CZ de 1 a 3% (AREOLA, 1976; BRITO, BARRICHELO, 1982).

1.7.1 Teor de carbono fixo (CF)

A fração de carvão que permanece na amostra após a liberação dos compostos voláteis é denominada de carbono fixo ou coque, excluindo as cinzas e o teor de umidade (MCKENDRY, 2002; BRAND, 2010).

O teor de CF depende principalmente do teor de MV, sendo inversamente proporcional, ou seja, madeiras com maiores teores de CF apresentam menores de MV o que implica em um maior tempo de residência do material combustível, na fornalha ou equipamentos utilizados, para queima total (BRAND, 2010; SCREMIN, 2012), sendo preferíveis, pois queimam mais lentamente (PEREIRA et al., 2000).

Alguns constituintes presentes na madeira apresentam relação direta com o carbono fixo como, o teor de extrativos, de lignina, massa específica, contribuindo dessa forma para um maior ou menor poder calorífico (OLIVEIRA, 1988).

1.7.2 Teor de materiais voláteis (MV)

O teor de materiais voláteis é a parte do combustível que volatiliza quando o mesmo é aquecido em altas temperaturas durante a queima ou carbonização, na forma gasosa e, em seguida esses constituintes se misturam com o oxigênio do ar, promovendo as reações da combustão (BRAND, 2010). Exerce papel importante durante a ignição e nas etapas iniciais da combustão (KLAUTAU, 2008).

O grau de combustão de um combustível pode ser estimado através do conhecimento do percentual de MV, o qual pode ser influenciado, assim como o teor de carbono fixo, pela composição química da madeira, temperatura de carbonização e taxa de aquecimento (CARMO, 1988; BRAND, 2010).

Altos teores de MV contribuem para uma baixa eficiência energética, ou seja, queimam mais rapidamente reduzindo dessa forma, o tempo de residência do combustível dentro do aparelho de combustão (PEREIRA et al., 2000; SCREMIN, 2012; CHAVES et al., 2013), determinando a facilidade com que a biomassa queima.

1.7.3 Teor de cinza (CZ)

As substâncias que não entram em combustão correspondem ao teor de cinzas, os resíduos na forma sólida no final do processo, compostos de material inorgânico indesejáveis para a geração de energia (NOGUEIRA, RENDEIRO, 2008; BRAND, 2010).

O conhecimento do percentual de cinzas resultantes da combustão é necessário, tendo em vista que altos teores podem interferir reduzindo o poder calorífico, pois mesmo não participando do processo de combustão, está contabilizada na massa do combustível submetido a queima (BRAND, 2010).

A transferência de calor acaba sendo afetada com a presença de cinzas, conferindo dessa forma, uma relação inversa com o poder calorífico (KLAUTAU, 2008; CHAVES et al., 2013). O conteúdo de cinzas pode ser natura da biomassa ou derivado pela contaminação da mesma por materiais orgânicos, solo, areia que acabam se misturando na colheita, manuseio e transporte do local de aquisição até o de produção de energia (VIEIRA et al., 2013).

Desse modo, o planejamento adequado de recolhimento desse material é necessário, pois além do entupimento e incrustações dependendo da origem, podem causar problemas de corrosão dos equipamentos (KLAUTAU, 2008; BRAND, 2010).

1.8 HIPÓTESES, OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O desenvolvimento desse trabalho surgiu a partir da constatação da carência de dados e pesquisas relacionadas às propriedades energéticas direcionadas a biomassa florestal de áreas de regeneração natural de *Ateleia glazioviana*, para servir como alternativa de utilização e/ou manejo para pequenas propriedades rurais, predominantes no norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

A falta de informações sobre a capacidade de retenção de biomassa em florestas naturais dificulta a estimativa de sua produtividade em um determinado ecossistema (FIORENTIN et al., 2015). Essa produção por sua vez, interfere no potencial energético ficando evidente a necessidade do conhecimento da eficiência de conversão madeira-energia (ELOY et al., 2015) para que a demanda dos setores produtivos seja suprida. Dessa forma, se buscou avaliar a caracterização energética do fragmento de vegetação nativa, o que poderá vir a contribuir de forma significativa na elaboração de projetos de manejo e/ou utilização dessas áreas nas propriedades rurais, diversificando as atividades da região.

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como objetivo geral determinar a produção e a qualidade da biomassa para energia em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill. Para tanto, foram elaboradas as seguintes hipóteses:

- A utilização de equações alométricas na estimativa de biomassa em área de regeneração natural, por meio de variáveis independentes (diâmetro e altura), proporciona uma determinação próxima à real produção, bem como uma seleção adequada do modelo.

- A utilização de classes diamétricas, contendo indivíduos de diferentes idades, interfere nas propriedades energéticas dos componentes de biomassa de *Ateleia glazioviana* em área de regeneração natural.

Nesse sentido, foram formulados os seguintes objetivos específicos:

- Ajustar equações alométricas para estimativa de biomassa em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill.

- Determinar o efeito das classes diamétricas sob as propriedades energéticas dos diferentes compartimentos de biomassa de *Ateleia glazioviana* Baill.

- Avaliar a qualidade da biomassa para a produção de energia.

Para responder aos objetivos propostos e ter um melhor entendimento, esse trabalho foi dividido em dois capítulos:

Capítulo 1 – Modelos alométricos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill.

Capítulo 2 – Efeito da classe diamétrica sob as propriedades energéticas dos diferentes componentes de biomassa de *Ateleia glazioviana* Baill.

**2 ARTIGO I – MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA
EM ÁREA DE REGENERAÇÃO NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.**

Submissão ao periódico: Revista Floresta

MODELOS ALOMÉTRICOS PARA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM ÁREA DE REGENERAÇÃO NATURAL DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

Mágda Rosa Fontoura¹, Braulio Otomar Caron², Elder Eloy³, Rômulo Trevisan³, Jonathan William Trautenmüller⁴, Alexandre Behling⁵

¹Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Agricultura e Ambiente, Frederico Westphalen, RS - Brasil - magda-ros@hotmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Frederico Westphalen, RS/Brasil - otomarcaron@yahoo.com.br

³Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Florestal, Frederico Westphalen, RS/Brasil - eloyelder@yahoo.com.br e romulo_trevisan@ufsm.br

⁴Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Curitiba, PR/Brasil - jwtrautenmuller@yahoo.com.br

⁵Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, PR/Brasil - alexandre.behling@yahoo.com.br

Resumo

O conhecimento do acúmulo de biomassa contribui para a determinação da produtividade da espécie ou tipologia, além de subsidiar a escolha do manejo adequado em cada situação. O presente estudo teve por objetivo ajustar modelos alométricos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill. Os dados foram coletados no município de Frederico Westphalen, RS, em área de regeneração natural, onde foram mensurados a altura (h) e diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP) de 163 árvores em cinco parcelas de 4 x 25 m (100 m²), com 1,8 até 30,0 cm de DAP, as quais foram distribuídas em 8 classes de diâmetro: 1,8-3,7; 3,7-5,6; 5,6-7,5; 7,5-9,4; 9,4-11,3; 11,3-13,2; 13,2-15,1 e 15,1-17,0 cm sendo selecionadas 26 para o corte. Para quantificar a biomassa e obter a massa seca total (MST) de cada indivíduo procedeu-se com a separação, pesagem e identificação dos compartimentos (lenho, galhos e folhas), os quais foram acomodados em estufa de secagem com circulação e renovação de ar até peso constante. Foram testados modelos alométricos tradicionais de volumetria. A seleção do modelo foi baseada no coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão da estimativa (S_{xy} %) e análise gráfica da dispersão de resíduos. O modelo de Spurr e o proposto pelos autores com o procedimento *Stepwise*, representado pela equação: $MST = -5,6260 + 1,2986 * ((dap^2) * (h)) + ei$ com R^2_{aj} de 0,846 e S_{xy} de $\pm 31,42\%$, demonstrou ser o mais apropriado, sendo recomendado para estimação de biomassa nas condições propostas.

Palavras-chave: modelagem, quantificação de biomassa, alometria, timbó.

Abstract

Allometric models for biomass estimation in the natural regeneration area of Ateleia glazioviana Baill. The knowledge of the accumulation of biomass above the soil contributes to the determination of the potential of the species and / or typology, besides subsidizing the choice of the most appropriate management in each situation. The present study aims to adjust allometric models for estimating biomass in the natural regeneration area of *Ateleia glazioviana* Baill. Data were collected in Frederico Westphalen, RS, Brazil, in a natural regeneration area, where height (h) and diameter at of breast height of 1,30 m of soil (DBH) of 163 trees were measured in five 4 x 25 plots m (100 m²), with 1.8 to 30.0 cm of DAP, which were distributed in 8 classes of diameter: 1.8-3.7; 3.7-5.6; 5.6-7.5; 7.5-9.4; 9.4-11.3; 11.3-13.2; 13.2-15.1 and 15.1-17.0 cm being selected for cutting. For the quantification of biomass and to obtain the total dry mass (MST) of each individual, it was proceeded with the separation, weighing and identification of the compartments (wood, branches and leaves), which were accommodated in a drying oven with circulation and air renewal until they reach a constant weight. Traditional allometric models of volumetry were tested. The model selection was based on the adjusted coefficient of determination (R^2_{aj}), standard error of the estimate (S_{xy} %) and graphical analysis of the waste dispersion of residues. The Spurr model and the one proposed by the authors with the *Stepwise* procedure, represented by equation: $MST = -5.6260 + 1.2986 * ((dap^2) * (h)) + ei$, with R^2_{aj} of 0.846 and S_{xy} of 31.42%, proved to be the most appropriate, being recommended for estimation of biomass under the proposed conditions.

Keywords: modeling, biomass quantification, allometry, timbó.

INTRODUÇÃO

O atual modelo de crescimento da sociedade apresenta diversos problemas, dentre os quais se destaca o alto consumo de recursos não renováveis. Com intuito de minimizar esse contexto, diversos países vêm

buscando novas alternativas, como a intensificação do uso de meios renováveis, incluindo a biomassa florestal (ELOY *et al.*, 2015), em substituição aos combustíveis fósseis (SANQUETTA *et al.*, 2015).

A biomassa florestal é todo recurso renovável que provém de matéria orgânica, viva ou morta, animal ou vegetal (SANQUETTA; BALBINOT, 2004) apresentando como objetivo a produção de energia, servidão ambiental, sequestro e estoque de carbono nos diferentes componentes - folha, galho, tronco e raízes - (MIRANDA, 2011; HENRY *et al.*, 2014), sendo considerado um dos mais importantes para a humanidade (SANQUETTA *et al.*, 2015). A produtividade das florestas é utilizada como indicador ecológico, a qual auxilia a entender o acúmulo de energia dos ecossistemas (ABOAL *et al.*, 2005) e sua contribuição em relação a redução de emissões de poluentes (RIBEIRO *et al.*, 2010) nas diversas formações florestais.

A compreensão da estrutura organizacional das diferentes tipologias florestais existentes torna-se essencial no estabelecimento da vegetação. A floresta estacional decidual se divide em cinco estratos, os quais podem ser observados durante o processo de regeneração, com o reestabelecimento de uma sucessão secundária. Assim, a área vai sendo povoada por diferentes grupos de plantas que se sucedem até a reconstituição de uma vegetação madura, durante uma série de estágios sucessionais (MARTINS, 2014).

A *Ateleia glazioviana* Baill. (Timbó) é classificada como espécie arbórea pioneira nativa e especializada na colonização de clareiras por apresentar regeneração natural intensa. Conforme o art. 28 da Lei nº 11.428 de 2006 seu corte, supressão e manejo podem ser realizados em fragmentos florestais em estágio médio de regeneração natural, em que sua presença for superior a 60% em relação às demais espécies (BRASIL, 2017). Esse cenário remete a necessidade de informações referente à biomassa estocada pela mesma, o que vem a acrescentar na tomada de decisão sobre qual técnica de manejo utilizar em cada local e/ou situação (URBANO *et al.*, 2008; REZENDE *et al.*, 2016).

A quantificação da biomassa pode ser obtida por meio do método direto que consiste na amostragem destrutiva do indivíduo, ou seja, corte, separação e pesagem de toda a biomassa. Esse procedimento torna-se indispensável para o conhecimento prévio das características da vegetação, entretanto apresenta fatores limitantes quando utilizado em grandes áreas como o alto custo e demasiado tempo (SANQUETTA; BALBINOT, 2004).

Em contrapartida, a utilização do método indireto minimiza esses fatores, além de envolver amplas extensões de floresta empregando a modelagem de equações alométricas (SANQUETTA; BALBINOT, 2004), utilizando variáveis independentes como diâmetro à altura de 1,30 m do solo e altura total ou comercial dos indivíduos (CANADELL *et al.*, 1988; SANQUETTA *et al.*, 2015).

O conhecimento do acúmulo de biomassa acima do solo com a aplicação do método direto é importante para a determinação do potencial da espécie, no entanto muito trabalhoso e com alto custo o que pode ser reduzido com o emprego do método indireto (SANQUETTA; BALBINOT, 2004), o qual permite estabelecer relações para descrever a biomassa, evitando o processo oneroso de mensuração de todos os indivíduos do fragmento florestal.

Desse modo formulou-se a seguinte hipótese: a utilização de equações alométricas na estimação de biomassa em área de regeneração natural, por meio de variáveis independentes (diâmetro e altura), proporciona uma determinação próxima à real produção, bem como uma seleção adequada do modelo. Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo ajustar equações alométricas para estimativa de biomassa em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* Baill. no município de Frederico Westphalen - RS.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em área de regeneração natural de *Ateleia glazioveana*, localizado no município de Frederico Westphalen, sob coordenadas geográficas de 27°23'08" Sul e 53°25'51" Oeste, a 420 m de altitude. O clima da região é subtropical úmido com verões quentes (Cfa) conforme classificação de Köppen, onde o regime de chuvas é equilibrado com média entre 1.700 a 1.900 mm, e temperatura média entre 20 a 23°C (ROSSATO, 2014). O solo predominante da região é classificado como Latossolo Vermelho distrófico (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi organizado com a instalação de cinco parcelas de 4 x 25 m (100 m²), onde foram coletadas de todas as árvores com 1,8 a 30,0 cm de diâmetro, informações de altura total (h) e diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP), totalizando 163 indivíduos. Em seguida, os mesmos foram distribuídos em 8 classes de diâmetro: 1,8-3,7 cm, 3,7-5,6 cm, 5,6-7,5 cm, 7,5-9,4 cm, 9,4-11,3 cm, 11,3-13,2 cm, 13,2-15,1 cm e 15,1-17,0 cm, sendo selecionados ao acaso 26 indivíduos para o corte e avaliação destrutiva, correspondendo de 3 a 4 árvores para cada classe de diâmetro.

Após o seccionamento das árvores foram retirados seis discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições ao longo do fuste: 0,10 m (base), 1,30 m (DAP), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total da árvore. Em seguida procedeu-se com numeração e identificação dos mesmos, os quais foram

acondicionados em sacos plásticos e transportados para o Laboratório de Agroclimatologia da UFSM, onde se retirou a casca e realizado o seccionamento de duas cunhas simetricamente opostas de cada disco.

As amostras dos galhos e folhas foram coletadas de forma estratificada na árvore, ou seja, no seu estrato inferior, médio e superior da copa para a obtenção de um material homogêneo representativo de toda a copa. Posteriormente foram identificadas e acondicionadas em estufa com circulação e renovação de ar (folhas a 75°C, galhos e madeira a 103°C) até peso constante para obtenção da massa seca.

A determinação da biomassa foi realizada pelo método direto, que consistiu no corte e pesagem dos diferentes componentes das árvores. As massas frescas foram obtidas a campo, sendo que de cada compartimento retirou-se amostras de aproximadamente 2 Kg para determinação em laboratório do teor de umidade. Na Tabela 1 estão apresentados os valores de altura total e diâmetro a altura de 1,30 metros do solo dos indivíduos.

Tabela 1: Valores de diâmetro à altura de 1,30 m do solo (dap) e altura total (h) das árvores de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 1: Values of diameter at height of 1.30 m of the soil (dap) and total height (h) of the trees of *Ateleia glazioviana*, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

Classes	Indivíduo	DAP (cm)	h (m)
1	1	2,0	3,3
	2	2,6	3,6
	3	3,7	5,3
2	4	3,8	5,5
	5	4,5	7,8
	6	4,9	7,7
	7	5,4	7,1
3	8	6,1	7,2
	9	7,2	9,5
	10	7,5	9,7
4	11	8,6	9,8
	12	8,7	9,6
	13	9,1	10,4
5	14	9,5	10,2
	15	10,1	8,6
	16	10,6	8,4
6	17	11,2	10,8
	18	11,7	10,2
	19	12,8	10,6
7	20	13,4	11,0
	21	13,7	10,1
	22	13,8	11,6
8	23	15,5	11,9
	24	15,7	11,7
	25	16,6	10,0
	26	16,7	9,8

Onde: DAP = diâmetro à altura de 1,30 metros do solo, em centímetros; h = altura total, em metros.

Com a obtenção dos dados de DAP, h e massa seca total (MST), realizou-se a análise descritiva das variáveis e ajuste dos modelos alométricos para toda a base de dados, essas equações foram selecionadas por serem as mais utilizadas da área de manejo florestal (Tabela 2).

Tabela 2: Modelos estatísticos testados para as estimativas de massa seca total.

Table 2: Mathematical statistical tested for estimates of total dry mass.

N°	Modelos	Autor
1	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \epsilon_i$	Berkhout
2	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2) + \epsilon_i$	Kopecky-Gehrhardt
3	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \beta_2 * (d^2) + \beta_3 * (d * h) + \beta_4 * (d^2 * h) + \beta_5 * (h) + \epsilon_i$	Meyer
4	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \beta_2 * (d^2) + \beta_3 * (d * h^2) + \beta_4 * (d^2 * h) + \beta_5 * (h) + \epsilon_i$	Meyer Modificada
5	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (h) + \beta_2 * (d^2) + \beta_3 * (d^2 * h) + \epsilon_i$	Stoate
6	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2 * h) + \epsilon_i$	Spurr
7	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2) + \beta_2 * (d^2 * h) + \beta_3 * (d) + \beta_4 * (h^2) + \epsilon_i$	Naslund Modificada
8	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d) + \beta_2 * (d^2) + \epsilon_i$	Hohenald-Gehrhardt
9	$MST = \beta_0 + (d^{\beta_1}) + (h^{\beta_2}) + \epsilon_i$	Shumacher e Hall
10	$MST = \beta_0 + \beta_1 * (d^2 * h) + \epsilon_i$	Autores

Onde: $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5 = coeficientes estimados por regressão; DAP = diâmetro à altura de 1,30 m do solo (cm); MST = massa seca total da árvore (Kg); h = altura total (m); ln = logaritmo neperiano.

Os dados experimentais originais foram transformados para forma logarítmica de base neperiana visando atingir uma melhor correlação entre as variáveis dependentes e independentes, após análise dos testes de Kolmogorov-smirnov e White, pois não apresentavam normalidade e homogeneidade na distribuição dos dados amostrais. Em seguida, realizou-se o procedimento *Stepwise*, onde o modelo foi definido pela equação $MST = f(DAP, DAP^2, DAP \cdot h, DAP^2 \cdot h, DAP^2 \cdot h^2, DAP \cdot h^2, h, h^2, 1/DAP, 1/h)$; em que massa seca total (MST) é dada em Kg, diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP) em cm e altura total (h) em m. Os critérios para seleção dos melhores modelos foram os coeficientes de determinação ajustado (R^2_{aj}), os erros padrão da estimativa em porcentagem ($S_{xy}\%$), valor de significância do teste F_{cal} a 5% de probabilidade de erro, significância dos coeficientes de regressão ($\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ e β_5) pelo teste t e análise gráfica dos resíduos.

Para obter os valores da variável de interesse MST, procedeu-se com a operação inversa ao logaritmo neperiano com aplicação do Fator de Correção de discrepância logarítmica proposto por Meyer, $FM = e^{0.5 \cdot QM}$, onde FM = Fator de Correção de Meyer; e = exponencial e QM = Quadrado Médio do Resíduo, em que se corrige as estimativas dos modelos logarítmicos obtendo novos valores de R^2_{aj} e $S_{xy}\%$, os quais podem ser comparados com modelos aritméticos, conforme metodologia utilizada por Melo *et al.* (2014).

RESULTADOS

Os valores da estatística descritiva das variáveis dependente e independentes dos 26 indivíduos utilizados nos testes estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Estatística descritiva das variáveis dependente e independentes utilizadas no ajuste dos modelos de estimativa de biomassa de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 3: Descriptive statistics of the dependent and independent variables used in the adjustment of the *Ateleia glazioviana* biomass estimation models, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

Variável	Mín.	Méd.	Máx.	DP	Erro padrão	Variância
MST	0,01	35,72	102,31	33,670	6,60	1133,82
dap	2,01	9,43	16,68	4,480	0,88	20,10
h	3,30	8,90	11,90	2,360	0,46	5,58

Onde: MST = massa seca total (Kg); dap = diâmetro à altura de 1,30 m do solo (cm); h = altura total (m); Mín.= valor mínimo; Méd.= médio; Máx.= máximo; DP = desvio padrão (\pm).

O modelo tradicional de Spuur e o proposto pelos autores pelo emprego do procedimento *Stepwise*, para área de regeneração natural utilizando toda a base de dados, apresentaram bons índices de ajuste e precisão de acordo com os coeficientes de determinação (R^2_{aj}) e erro padrão da estimativa (S_{xy} %).

Em relação à distribuição da biomassa total dos 26 indivíduos analisados, verificaram-se variações dentre os compartimentos conforme o aumento do diâmetro, onde o maior percentual foi obtido para o lenho com valor igual a 59,4% seguido pelos galhos com 33,9% e as folhas com 6,7% (lenho>galhos>folhas). No entanto, se observa uma tendência de aumento gradativo da partição da massa seca total nos componentes galhos e folhas ao longo das classes diamétricas (Figura 1).

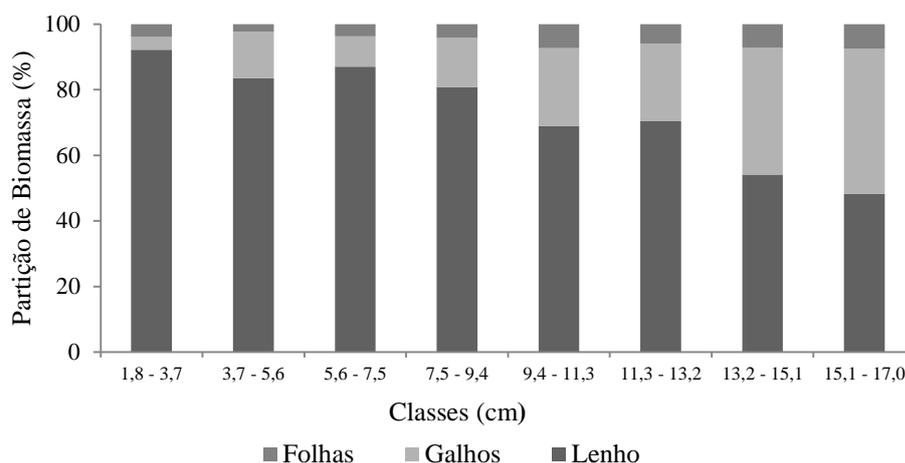


Figura 1: Partição da massa seca total das árvores de *Ateleia glazioviana*, distribuídas nas classes de diâmetro, no município de Frederico Westphalen-RS.

Figure 1: Partition of total dry mass of *Ateleia glazioviana* trees, distributed in diameter classes, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

As equações ajustadas para o conjunto de dados apresentaram variação de 0,826 a 0,919 para R^2_{aj} e de 31,42 a 36,69% para S_{xy} (Tabela 3). O modelo 10 proposto pelos autores com o emprego do procedimento *Stepwise* foi considerado o mais apropriado para estimar a biomassa, sendo representado pela equação: $MST = -5,6260 + 1,2986 * (\ln((dap^2) * (h))) + \epsilon_i$, a qual proporcionou maior R^2_{aj} (0,846) e menor S_{xy} (31,42%), com coeficientes significativos a 95% de probabilidade de confiança pelo teste *t* (Tabela 4). O mesmo coincide com o modelo tradicional Spurr (6), já descrito na literatura e, de acordo com os critérios estatísticos de seleção adotados, pode ser considerado como um dos melhores modelos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural nas condições propostas.

Tabela 4: Estatística e parâmetros dos modelos testados e ajustados para estimativa de biomassa acima do solo em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 4: Statistics and parameters of the models tested and adjusted for estimation of above-ground biomass in the natural regeneration area of *Ateleia glazioviana*, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

N°	Parâmetros						F_{cal}	R^2_{aj}	S_{xy} %
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
1	-4,2678*	3,2726*					126,13	0,834	32,64
2	-4,2674*	1,6363*					125,67	0,833	32,69
3	-6,1563 ^{ns}	17,4254 ^{ns}	-33,152 ^{ns}	-12,4551 ^{ns}	31,8439 ^{ns}	-17,6249 ^{ns}	24,80	0,826	33,33
4	-6,4102 ^{ns}	9,0248 ^{ns}	-45,845 ^{ns}	-26,9564 ^{ns}	55,9212 ^{ns}		33,54	0,839	32,11
5	-6,1930 ^{ns}	-31,955 ^{ns}	-32,533 ^{ns}	33,7171 ^{ns}			45,15	0,841	31,87
6	-5,6260*	1,2986*					138,06	0,846	31,42
7	-6,8960 ^{ns}	-31,7661 ^{ns}	59,2995 ^{ns}	-52,9938 ^{ns}	24,5324 ^{ns}		34,43	0,843	31,75

8	-4,2548*	26,9347 ^{ns}	-11,8353 ^{ns}	61,19	0,828	33,17
9	-1,5216 ^{ns}	1,8339 ^{ns}	-32,1815 ^{ns}	47,94	0,919	36,69
10	-5,6260*	1,2986*		138,06	0,846	31,42

Onde: F_{cal} = valor calculado do teste F; R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado; $S_{xy}\%$ = Erro padrão da estimativa em percentagem. *significativo no teste F ao nível de 5% de probabilidade. ^{ns} não diferem pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Os modelos de Naslund Modificado (7), Stoate (5) e Meyer Modificado (4) obtiveram valores semelhantes aos do modelo de Spurr (6), para R^2_{aj} de 0,843; 0,841 e 0,839 e S_{xy} de 31,75; 31,87 e 32,11% respectivamente, entretanto seus coeficientes não foram significativos, contraindicando dessa forma sua utilização para estimar a biomassa dessa área de regeneração natural. O modelo Shumacher e Hall (9) apresentou um R^2_{aj} alto (0,919), em contrapartida o maior S_{xy} (36,69%), sendo inferiores aos obtidos pelas demais equações, ocasionando a não escolha dessa equação.

Os modelos de Berkhout (1), Kopecky-Gehrhardt (2) e Hohenald-Gehrhardt (8), possuem apenas o DAP como variável no ajuste como na maioria dos trabalhos desenvolvidos, no entanto o modelo logarítmico selecionado utiliza a combinação do DAP e h como variáveis independentes, o que proporciona um melhor ajuste final dos modelos.

Na análise de dispersão dos resíduos da Figura 2 observa-se uma tendência semelhante de distribuição para todas as equações ao longo da linha de regressão. Entretanto, nota-se uma dispersão mais uniforme dos resíduos nos modelos 6 e 10, confirmando a escolha do modelo para estimativa baseado nos indicadores estatísticos (R^2_{aj} e $S_{xy}\%$).

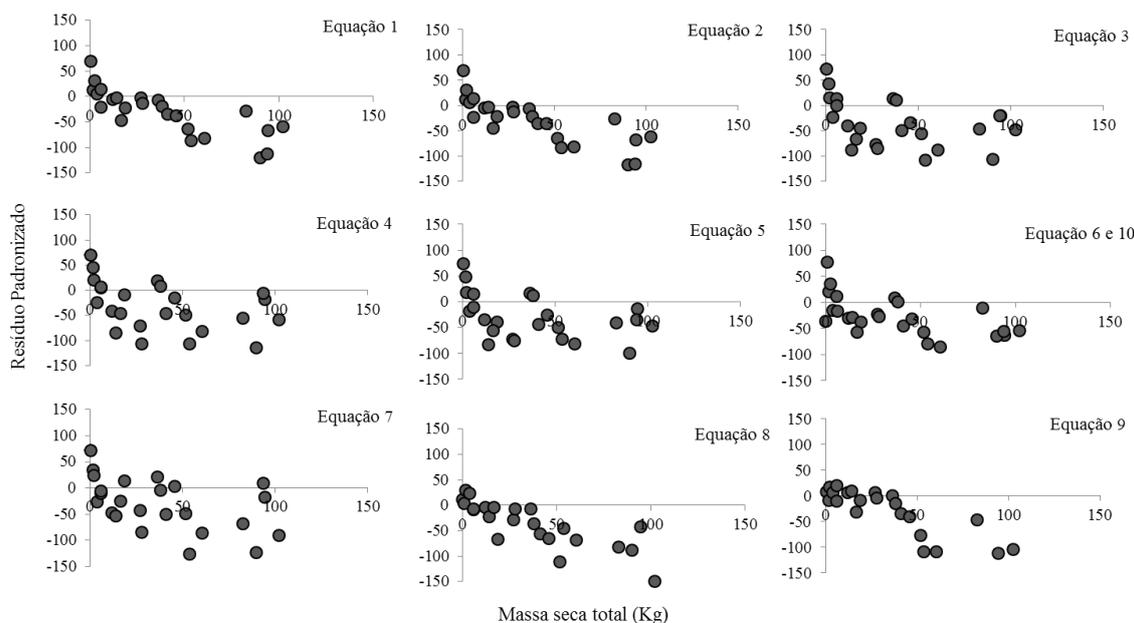


Figura 2: Dispersão dos resíduos das estimativas de biomassa em função da massa seca total de *Ateleia glazioviana*, no município de Frederico Westphalen-RS.

Figure 2: Dispersal of waste from biomass estimates as a function of total dry mass, of *Ateleia glazioviana*, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

DISCUSSÃO

A amplitude dos valores, tanto da variável independente MST quanto das dependentes DAP e h observados na Tabela 3, está relacionada com o crescimento da regeneração natural e, segundo Urbano *et al.* (2008), ocorre devido à variabilidade de forma e tamanho das árvores nos povoamentos nativos.

Essa constatação fica evidente com a análise de dados obtidos em experimentos desenvolvidos sobre o crescimento de *Ateleia glazioviana* aos 12 anos de idade em Latossolo vermelho distrófico pela Embrapa Floresta (2002) em Campo Mourão e Cianorte, no estado do Paraná. Os valores médios de altura encontrados foram de 10,96 e 12,02 m e diâmetro médio de 12,0 e 10,6 cm, respectivamente para as duas cidades. Esses

resultados corroboram com os valores médios das variáveis independentes $h = 10,65$ m e $DAP = 16,1$ cm, dos indivíduos de 11 e 12 anos dispostos na base de dados do presente trabalho (Tabela 1).

Com relação à partição de massa seca total, Caron *et al.* (2015) observaram, em estudos com *Ateleia glazioviana* aos três anos após o plantio com diferentes espaçamentos, o maior percentual de biomassa no compartimento galho. Esse fato, segundo os autores, ocorreu em função da área útil disponível para as árvores conforme as condições em que a pesquisa foi realizada. Além, de alguns fatores intrínsecos a própria espécie, como bifurcações, copa volumosa e ramificação pesada contribuírem para esse resultado (CARVALHO, 2003).

Estudos realizados, em povoamentos de *Acacia mearnsii* com idades variando de 1 a 7 anos, por Sanquetta *et al.* (2014), demonstraram que a distribuição de biomassa variou com o aumento da idade, onde a proporção de madeira e casca apresentaram um acréscimo enquanto as folhas, flores e frutos reduziram. Resultados semelhantes foram encontrados por Behling *et al.* (2015), que avaliando a produção de biomassa da mesma espécie, verificaram que ao longo do ciclo de crescimento sua partição não foi a mesma entre os compartimentos. No entanto, trata-se de uma espécie exótica, a qual possui crescimento e ciclo de corte definidos (CARVALHO, 2003), diferindo dessa forma, do desenvolvimento inicial lento e gradual característico das árvores nativas. A alocação de biomassa entre os compartimentos varia em função da idade e da partição dos fotoassimilados, os quais são direcionados primeiramente, para formação de folhas e copa, sendo posteriormente utilizado para produção do tronco (LARCHER, 2004; BEHLING *et al.*, 2015), fato que provavelmente explica as variações observadas nesse trabalho, pois trata-se de indivíduos jovens, sem estabilização definida.

Os modelos apresentaram bons índices de ajuste e precisão bem como os resultados encontrados para a espécie *Mimosa scabrella*, pertencente à mesma família botânica, na estimativa de massa seca total de bracingais, com idade entre 4 e 17 anos de idade, no estado do Paraná por Urbano *et al.* (2008), que observaram uma variação de 0,67 a 0,97 e de 18,12 a 58,30% para R^2_{aj} e S_{xy} , respectivamente. Da mesma forma, Sanquetta *et al.* (2015), em trabalho realizado com *Schinus terebinthifolius* em diferentes idades, encontraram variação de R^2_{aj} de 0,75 a 0,78 e S_{xy} % de 25,54 a 27,59%. Esses valores são aceitáveis para florestas inequiâneas, em processo de crescimento (RIBEIRO *et al.*, 2010) ou no caso área de regeneração natural pura.

Diversos trabalhos de estimativa de biomassa realizados alegam que a variável DAP apresenta importância superior na seleção dos modelos, por ser de fácil e rápida mensuração, além de apresentar menor erro de amostragem e menor custo quando comparado com a utilização em conjunto com a altura (LIMA *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2014). No entanto, ao utilizar a combinação DAP e h nos testes, alguns pesquisadores notaram uma maior eficiência no ajuste dos modelos (LIMA *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2014), o que deve ser considerado.

O modelo logarítmico de Spurr selecionado, utilizando DAP e h como variáveis independentes mostrou-se o mais apropriado. Esse resultado corrobora com os encontrados em estudos com *Quercus ilex* por Canadell *et al.* (1988), onde os autores testando modelos de regressão logarítmicos para estimar biomassa mencionam que as variáveis independentes DAP e h são comumente as mais empregadas (MELLO; GONÇALVES, 2008; BASUKI *et al.*, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2010). O mesmo resultado foi evidenciado por Mello e Gonçalves (2008), na estimativa de biomassa de *Eucalyptus grandis*, em que o melhor modelo de regressão linear logaritimizado ajustado obtinha “DAP²h” como variável independente.

De modo geral, observa-se que a escolha do modelo de Spurr e do proposto pelos autores foi confirmada com base nos indicadores estatísticos R^2_{aj} e S_{xy} e por meio da análise de dispersão de resíduos para estimativa de biomassa em área de regeneração natural, sendo que os demais modelos tenderam a superestimar a biomassa das árvores maiores.

CONCLUSÕES

As análises realizadas permitem concluir que:

- O modelo de Spurr e o proposto pelos autores com o emprego do procedimento *Stepwise*, são apropriados para estimar a biomassa aérea na área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana*, nas condições propostas.
- Para biomassa aérea, o modelo representado pela equação: $MST = -5,6260 + 1,2986*((DAP^2)*(h))$, demonstrou-se o mais adequado.
- A dispersão mais uniforme dos resíduos foi apresentada pelo modelo de Spurr (6) e pelo proposto pelos autores (10), o que confirma a eficácia da estimativa baseado nos indicadores estatísticos (R^2_{aj} e S_{xy}).
- Recomenda-se a realização da seleção de modelos para os diferentes componentes das árvores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro e suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOAL, J. R.; ARÉVALO, J. R.; FERNÁNDEZ, A. Allometric relationships of different tree species and stand above ground biomass in the Gomera laurel forest (Canary Islands). **Flora**, Canary Islands, v. 200, p. 264 - 274, 2005.
- BASUKI, T. M., VAN LAAKE, P. E., SKIDMORE, A. K., HUSSIN, Y. A. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland *Dipterocarp* forests. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1684 - 1694, 2009.
- BEHLING, A.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; CARON, B.; SIMON, A. A.; BEHLING, M.; SCHMIDT, D. Conversion efficiency of photosynthetically active radiation intercepted in biomass in stands of black wattle in Brazil. **Bosque**, v. 36, n. 1, p. 61 - 69, 2015.
- BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõem sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, vinte e dois de dezembro de 2006. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm>. Acesso em: 12 jan 2017.
- CANADELL, J.; RIBA, M.; ANDRÉS, P. Biomass equations for *Quercus ilex* L. in the Montseny, northeastern Spain. **Forestry**, Rome, v. 61, n. 2, p. 137 - 147, 1988.
- CARON, B. O.; ELOY, E.; SOUZA, V. Q.; SCHMIDT, D.; BALBINOT, R.; BEHLING, A.; MONTEIRO, G. C. Quantificação da biomassa florestal em plantios de curta rotação com diferentes espaçamentos. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 1, p. 106 - 112, 2015.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003, 1.039 p.
- ELOY, E.; CARON, B. O.; SILVA, D. A.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1424 - 1431, 2015.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412 p.
- EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Manual Técnico do Timbó (*Ateleia glazioviana* Baill.)**. Curitiba, 2002. 8p. (Embrapa-CNPf. Documentos, 57).
- HENRY, M. H.; JARA, M. C.; RÉJOU-MÉCHAIN, M.; PIOTTO, D.; FUENTES, J. M. M.; WAYSON, C.; GUIER, F. A.; LOMBIS, H. C.; LÓPEZ, E. D.; LARA, R. C.; ROKAS, K. C.; PASQUEL, J. D. A.; MONTOYA, A. D.; VEGA, J. F.; GALO, A. J.; LÓPEZA, O. R.; MARKLUND, L.G.; MILLA, F.; CAHIDEZ, J.J.N.; MALAVASSI, E.O.; PEREZ, J.; ZEA, C.R.; GARCÍA, L.R.; PONS, R.R.; SANQUETTA, C.; SCOTT, C.; WESTFALL, J.; ZAPATA-CUARTAS, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Recommendations for the use of tree models to estimate national forest biomass and assess their uncertainty. **Annals of Forest Science**, v. 72, n. 6, p. 1 - 9, 2014.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, SP RiMa. 2004. 531 p.
- LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO, G. H. P. M.; KAJIMOTO, T.; SANTOS, J.; SILVA, R. P.; SOUZA, C. A. S.; 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**, Amsterdam, v. 277, p. 163 - 172, 2012.
- MARTINS, S.V. **Recuperação de matas ciliares: no contexto do Novo Código Florestal**. Viçosa, MG: Editora Aprenda Fácil, 3. ed. 2014, 220 p.
- MELLO, S. L. M.; GONÇALVES, J. L. M. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 101 - 111, 2008.

- MELO, L. C.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; HENTZ, A. M. K. Estimativa de biomassa e carbono total para árvores de caixeta no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 77, p. 21 - 29, 2014.
- MIRANDA, D. L. C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativas de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento de restauração. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 679 - 689, 2011.
- REZENDE, A. V.; DO VALE, A. T.; 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**, Brasília, v. 71, p. 65 - 76, 2016.
- RIBEIRO, S. C.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V.; NARDELLI, A. M. B.; SOUZA, A. L. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 495 - 504, 2010.
- ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217 - 271.
- SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B. (Ed.). **Fixação de carbono: projetos, perspectivas e atualidades**. Curitiba, 2004. 205 p.
- SANQUETTA, C. R.; BHELING, A.; CORTE, A. P. D.; SIMON, A.; PSCHEIDT, H.; RUZA, M. S.; MOCHIUTTI, S. Estoques de biomassa e carbono em povoamentos de acácia negra em diferentes idades no Rio Grande do Sul. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 361 - 370, 2014.
- SANQUETTA, M. N. I.; SANQUETTA, C. R.; DURIGAN, A.; CORTE, A. P. D.; COUTINHO, V. M. Equações de Biomassa para Aroeira-Pimenteira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 3604 - 3612, 2015.
- SVOB, S.; ARROYO-MORA, J. P.; KALACSKA, M. The development of a forestry geodatabase for natural forest management plans in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v. 327, p. 240-250, 2014.
- URBANO, E.; MACHADO, S. A.; FILHO, A. F.; KOEHLER, H. S. Modelagem da biomassa aérea em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba. **FLORESTA**, Curitiba, v. 38, n. 2, p. 361 - 372, 2008.

**3 ARTIGO II - EFEITO DA CLASSE DIAMÉTRICA SOB AS PROPRIEDADES
ENERGÉTICAS DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DE BIOMASSA DE
Ateleia glazioviana BAILL.**

Submissão ao periódico: Revista Árvore

EFEITO DA CLASSE DIAMÉTRICA SOB AS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DOS DIFERENTES COMPARTIMENTOS DE BIOMASSA DE *Ateleia glazioviana* BAILL.

Mágda Rosa Fontoura¹, Elder Eloy², Dimas Agostinho Silva³, Rômulo Trevisan², Braulio Otomar Caron⁴

¹Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Agronomia Agricultura e Ambiente, Frederico Westphalen, RS - Brasil - magda-ros@hotmail.com

²Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Engenharia Florestal, Frederico Westphalen, RS/Brasil - eloyelder@yahoo.com.br e romulo_trevisan@ufsm.br

³Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais, Curitiba, PR/Brasil - dimass@ufpr.br

⁴Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Ciências Agronômicas e Ambientais, Frederico Westphalen, RS/Brasil - otomarcaron@yahoo.com.br

3.1 RESUMO

Esse estudo teve como objetivo determinar o efeito das classes diamétricas sob as propriedades energéticas dos diferentes componentes de biomassa de *Ateleia glazioviana* Baill. O trabalho foi realizado em área de regeneração natural no município de Frederico Westphalen RS, com instalação de cinco parcelas de 4 x 25 m onde, mensurou-se a altura e diâmetro de todos os indivíduos com 1,8 até 30,0 cm de diâmetro, totalizando 163 árvores, sendo selecionadas 26 para o corte, as quais foram distribuídas em 8 classes de diâmetro: 1,8-3,7; 3,7-5,6; 5,6-7,5; 7,5-9,4; 9,4-11,3; 11,3-13,2; 13,2-15,1 e 15,1-17,0 cm. Após a derrubada foram retirados discos nas posições 0,10 m (base), 1,30 m (DAP), 25, 50, 75 e 100% da altura total para as avaliações de biomassa (BIO) do fuste. Enquanto que, para a determinação da biomassa de galhos e folhas, procedeu-se com amostragem estratificada da copa. As variáveis avaliadas foram: poder calorífico superior (PCS), massa específica básica (ρ_b), produtividade energética (PE), densidade energética (DE), teor de carbono fixo (CF), material volátil (MV) e de cinzas (CZ). As classes de diâmetro influenciaram as propriedades energéticas da madeira. Os componentes analisados induziram diferentes produções e distribuição para PCS, BIO, PE, CF, MV e CZ. O aumento das classes de diâmetro proporcionou uma tendência crescente quanto à produção de BIO e PE. A ρ_b e DE do fuste não diferiram entre as classes de diâmetro. Os indivíduos da oitava classe (maiores diâmetros) apresentam as melhores condições para uso da biomassa para produção de energia.

Palavras-chave: Timbó. Área de regeneração natural. Produção energética.

EFFECT OF DIAMETRIC CLASSES UNDER THE ENERGY PROPERTIES OF THE DIFFERENT BIOMASS COMPARTMENTS OF *Ateleia glazioviana* BAILL.

3.2 ABSTRACT

The objective of this study was to determine the effect of diametric classes under the energy properties of the different biomass compartments of *Ateleia glazioviana*. The work was carried out in the area of natural regeneration in the municipality of Frederico Westphalen, RS, Brazil, with installation of five plots of 4 x 25 m where the height and diameter of all individuals with 1.8 to 30.0 cm in diameter, totaling 163 trees, Being selected 26 for the cut, which were distributed in 8 diameter classes: ,8-3,7; 3.7-5.6; 5.6-7.5; 7.5-9.4; 9.4-11.3; 11.3-13.2; 13.2-15.1 and 15.1-17.0 cm.. After felling, discs were removed at 0.10 m (base) , 1.30 m (DBH), 25, 50, 75 and 100% of the total height for the biomass (BIO) evaluations of the bole. With the stratified determination of the biomass of branches and leaves, it was carried out with stratified sampling of the crown. The variables evaluated were: calorific value (PCS), basic specific mass (ρ_b), energy productivity (PE), energy density (DE), fixed carbon content (CF), volatile material content (MV) and ash content (CZ). The diameter classes influenced the energy properties of the wood. The analyzed components induced different productions and distribution for PCS, BIO, PE, CF, MV and CZ. The increase in diameter classes provided an increasing trend in the production of BIO and PE. The ρ_b and DE of the stem did not differ between the diameter classes. The individuals of the eighth class (largest diameters), present the best conditions for the use of biomass for energy production.

Keywords: Timbo. Area of natural regeneration. Energy production.

3.3 INTRODUÇÃO

A madeira de florestas nativas exerce um importante papel perante o desenvolvimento da sociedade. Desde o surgimento da humanidade, esse recurso renovável vem sendo utilizado como fonte de energia no cozimento dos alimentos, aquecimento e, na geração de energia térmica, mecânica e elétrica (BRITO, 2007; ELOY et al., 2015).

A demanda de energia baseia-se, principalmente, em fontes não renováveis, causando uma série de problemas socioeconômicos e ambientais, sendo necessária a busca por opções que minimizem esse contexto. Nesse sentido a biomassa é tratada como um combustível

importante dentre os recursos dendroenergéticos por possuir características que permitem sua utilização como fonte de energia, apresentando notável participação na matriz energética (MULLER, 2005).

A escolha da espécie como fonte de biomassa e a tipologia florestal são outros fatores que devem ser levados em consideração, de acordo com Brand (2010), a origem dos sistemas florestais, políticas de incentivo e legislação vigente, definirá qual a forma de manejo a ser adotada.

Os fragmentos de *Ateleia glazioviana* Baill. (Timbó), característicos da vegetação secundária da Floresta Estacional Decidual, podem ser manejados de acordo com o art. 28 da Lei nº 11.428 de 22 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2017) quando sua presença for superior a 60% em relação às demais espécies.

Com base nesse pressuposto e ocorrência na região norte do estado do Rio Grande do Sul, sua utilização como material combustível é recomendada. Entretanto, para que seu uso seja promissor é necessário o conhecimento do potencial de carbonização, produção de biomassa, massa específica básica, composição química imediata, obtenção de calor, eficiência de conversão (madeira-energia), ou seja, da caracterização energética prévia do material (MOREIRA, 2011; BRAND, 2010; SILVA et al., 2012).

O PCS é o parâmetro mais utilizado na avaliação da viabilidade de uso de um determinado material, o qual representa a quantidade de energia na forma de calor liberado durante o processo de queima total de um combustível (BRAND, 2010; SANTANA et al., 2012). Na literatura estão disponíveis diversos trabalhos realizados com espécies florestais nativas e exóticas a fim de determiná-lo, dentre esses está o desenvolvido por Quirino et al. (2004) para mais de 200 espécies, onde foram encontrados valores com variação de 4.685 à 4.736 Kcal/Kg. Trabalhos realizados por Eloy et al. (2014) sobre a influência de diferentes espaçamentos em plantios de curta rotação, mencionam valores de 4440 à 4586 Kcal/Kg para *A. glazioviana* com três anos de idade.

A massa específica básica é uma das características físicas da madeira de fácil obtenção e mais importantes para a determinação da qualidade, pois se correlaciona com as propriedades físico-mecânicas (EISFELD et al., 2009; VALE et al., 2009; MATTOS et al., 2011), além de representar um dos principais parâmetros tecnológicos nos diversos segmentos da atividade industrial, servindo como requisito de classificação para madeiras conforme sua finalidade e variabilidade de uso.

Esse parâmetro tecnológico expressa a quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume (PERES et al., 2012), sendo responsável pela velocidade da queima durante o

processo de produção de energia (ELOY et al., 2014), nesse sentido, constata-se a necessidade do conhecimento dessa variável. Alguns valores médios encontrados em estudos com *A. glazioviana* são de 0,530 g/cm³, 0,520 g/cm³, 0,510 g/cm³ e 0,449 g/cm³ por Mattos et al. (2000), Baggio et al. (2002), Tomazi et al. (2013) e Eloy et al. (2014), respectivamente.

A análise química imediata refere-se ao conteúdo percentual de umidade, do teor de carbono fixo (CF), teor de materiais voláteis (MV) e teor de cinzas (CZ) presentes no material analisado, apresentando variação de 15 a 25%, 75 a 85% e 5%, respectivamente, em função da espécie, posição da biomassa no vegetal, idade e local de crescimento (BRAND, 2010). Representam a porcentagem do material que está sendo queimado no estado sólido, gasoso e o material residual, respectivamente, do processo de combustão (ELOY et al., 2015).

Pesquisas que caracterizem quantitativamente a biomassa disponível nas diversas tipologias florestais devem ser intensificadas, a fim de determinar o real potencial energético, produtividade e rendimento em cada condição, além de auxiliar na escolha do manejo mais adequado (BRAND, 2010; SANTANA et al., 2012; SILVA et al., 2012).

A utilização da biomassa florestal para energia deve ser incentivada, pois trata-se de um avanço tecnológico, ou seja, um começo para a autossuficiência energética (BRAND, 2010). A fim de suprir a carência de informações e pesquisas relacionadas às propriedades energéticas da biomassa florestal presente nos timbozais e, servir como alternativa de utilização e/ou manejo para pequenas propriedades rurais, o presente trabalho tem por objetivo determinar o efeito das classes diamétricas sob as propriedades energéticas dos diferentes compartimentos de biomassa de *Ateleia glazioviana* em área de regeneração natural.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.4.1 Caracterização da área de estudo e amostragem

O trabalho foi realizado em uma área de regeneração natural pertencente à Universidade Federal de Santa Maria *Campus* de Frederico Westphalen (UFSM/FW), sob coordenadas geográficas de 27°23'08" S e 53°25'51" O, com altitude de 420 m, no município de Frederico Westphalen, RS.

O clima da região é subtropical úmido com verões quentes (Cfa) conforme classificação de Köppen, onde o regime de chuvas é equilibrado, média entre 1.700 a 1.900 mm e temperatura média entre 20 a 23°C (ROSSATO, 2014). O solo predominante da região

é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, de textura argilosa, profundo e bem drenado (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi analisado com o delineamento de blocos completos casualizados, dispostos em um esquema fatorial 8x3, ou seja, oito classes de diâmetro (1,8-3,7; 3,7-5,6; 5,6-7,5; 7,5-9,4; 9,4-11,3; 11,3-13,2; 13,2-15,1; 15,1-17,0 cm) e três componentes (fuste, galho e folhas), com três repetições.

As avaliações destrutivas foram realizadas em janeiro de 2010, após a instalação de cinco parcelas de 4 x 25 m (100 m²) em que foram mensuradas as variáveis altura total (h) e diâmetro à altura de 1,30 m do solo, de todos os indivíduos com 1,8 até 30,0 cm de DAP, totalizando 163 árvores. Em seguida, as mesmas foram distribuídas em 8 classes de diâmetro, sendo selecionados ao acaso 26 indivíduos para o corte, correspondendo de três a quatro árvores para cada classe de diâmetro. Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios de altura e diâmetro das árvores seccionadas distribuídas nas 8 classes diâmetro.

Entra Tabela 1.

3.4.2 Determinação de biomassa

A determinação da biomassa foi realizada através do método direto proposto por Sanquetta (2002), o qual consiste no corte, separação e pesagem dos diferentes componentes. Para obtenção da biomassa do componente lenho, foram retirados de cada árvore seis discos com, aproximadamente, dois centímetros de espessura, nas seguintes posições ao longo do fuste: 0,10 m (base), 1,30 m (DAP - diâmetro à altura de 1,30 m do solo), 25%, 50%, 75% e 100% da altura total. Para a determinação da biomassa de galhos e folhas, procedeu-se com a amostragem estratificada, sendo retiradas amostras das árvores no estrato inferior, médio e superior, representando, dessa maneira, toda a expansão da copa, além da obtenção de um material homogêneo para as análises.

A massa fresca de cada componente foi obtida em condições de campo, posteriormente realizou-se a aferição do teor de umidade em laboratório, para tanto os materiais foram pesados, identificados e levados para secagem em estufa de circulação com renovação do ar à 103± 2°C. Em seguida, realizou-se a moagem em moinho de facas tipo Wiley e peneiragem para utilização da fração de serragem que passou a peneira de 40 mesh.

3.4.3 Massa específica básica (pb)

Os procedimentos para essa avaliação foram realizados conforme norma técnica NBR 11941 (ABNT, 2003). A ρ_b de cada cunha foi determinada utilizando os materiais obtidos na amostragem, com o volume verde pelo método da balança hidrostática, descrito por Vital (1984), e o peso seco em estufa a 103°C. O cálculo da ρ_b de cada cunha consiste na razão entre o peso seco em estufa e o volume saturado, conforme Equação 1.

$$\rho_b = P_0 / V_u \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: ρ_b = massa específica básica, em g/cm³; P_0 = peso seco em estufa (103°C), em g; V_u = volume saturado, em cm³.

3.4.4 Poder calorífico superior (PCS)

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), utilizando bomba calorimétrica digital modelo C5000 Cooling System, IKA Werke, com princípio de funcionamento adiabático, conforme as descrições da norma técnica NBR 8633 (ABNT, 1984).

3.4.5 Análise química imediata (AQI)

As avaliações foram realizadas no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal do Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal da Universidade Federal do Paraná (UFPR), conforme norma técnica 8112 NBR (ABNT, 1986), em que se determinaram os teores de material volátil (MV), o teor de cinza (CZ) e o teor de carbono fixo (CF).

3.4.6 Produtividade energética (PE)

A PE foi obtida em função da multiplicação da biomassa seca e o poder calorífico superior de cada componente, conforme a expressão:

$$PE = \text{BIO} * \text{PCS} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: PE = Produtividade energética (Mcal/árvore); BIO = Biomassa seca de cada componente (Kg/árvore); PCS = Poder calorífico superior (kcal/kg⁻¹).

3.4.7 Densidade energética (DE)

A DE foi obtida pela multiplicação dos valores da massa específica básica e do poder calorífico superior da madeira, conforme a seguinte expressão:

$$DE = \rho_b * PCS \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde: DE = Densidade energética (kcal/m^{-3}); ρ_b = Massa específica básica da madeira em função da média aritmética da cada árvore (kg/m^{-3}); PCS = Poder calorífico superior da madeira (kcal/kg^{-1}).

3.4.8 Análise dos dados

Para a análise do efeito das classes diamétricas sob as propriedades energéticas dos diferentes componentes de biomassa, os dados obtidos foram submetidos à análise estatística pelo “*Software Statistical Analysis System*” (SAS, 2003), em que se procedeu com teste de White de homogeneidade, análise de variância, teste F e para comparações de médias realizou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

3.5 RESULTADOS

A análise de variância revelou interação entre os fatores classe x componentes apenas para o PCS, BIO e PE. A mesma apresentou diferença entre os três componentes das árvores (fuste, galhos e folhas) para todas as variáveis analisadas. Essa característica também foi observada para as classes de diâmetro para PCS, BIO, PE e CZ. A análise dos dados do experimento em blocos, em função de diferentes declividades observadas no terreno, demonstra que o emprego do mesmo foi desnecessário, sugerindo a utilização do delineamento inteiramente casualizado (DIC) nos próximos trabalhos (Tabela 2).

Entra Tabela 2.

O componente folha apresentou os valores médios mais elevados para PCS e TC, variando de 4848 à 5254 Kcal/Kg e 4,57 a 5,96%, respectivamente, entre as classes de diâmetro, enquanto que para BIO, PE e MV, os maiores valores foram observados para o fuste, que variaram de 1,04 à 46,16 Kg/árvore, 4,66 à 211,02 Mcal/árvore e 76,72 a 78,49%, respectivamente. Em contrapartida, para CF os maiores valores médios foram observados nos galhos, com variação de 22,10 a 22,94%. Os valores médios de ρ_b e DE do fuste não diferiram

entre as classes de diâmetro, apresentando uma variação de 0,443 à 0,484 g/cm⁻³ e 2,000 à 2,216 Gcal/m⁻³, respectivamente (Tabela 3).

Entra Tabela 3.

As classes de diâmetro utilizadas nesse trabalho conduziram a diferentes resultados para algumas variáveis em relação aos três componentes da parte aérea, sendo verificada uma tendência crescente para PCS, BIO e PE, com o aumento do diâmetro das árvores. O PCS apresentou diferença de 797,00 Kcal/Kg⁻¹ da primeira classe para a oitava, diferindo entre os componentes e classes de diâmetro, exceto para o componente fuste com o aumento das classes de diâmetro.

Com base nos dados obtidos para a BIO nota-se que essa diferiu entre os componentes e classes de diâmetro, com diferença de 46,09 Kg/árvore da primeira a oitava classe. De maneira semelhante foi observado para os valores de PE, onde diferença foi de 210,47 Mcal/árvore diferindo entre os fatores A e B.

Em relação à análise química imediata, nota-se diferença apenas entre os componentes, variando de 71,50 a 78,49%. As classes diamétricas não apresentaram influência sobre o teor de CF, apenas os componentes diferiram entre si, entretanto não foi verificada uma tendência definida dessa característica, a mesma apresentou variação de 20,67 a 22,94%. Para o CZ observou-se variação de 1,01 a 5,96% com tendências decrescentes entre as classes de diâmetro.

A ρ_b e DE do fuste das árvores não diferiram entre as classes de diâmetro, no entanto, os maiores valores foram relatados nos maiores diâmetros.

3.6 DISCUSSÃO

Os valores médios de PCS encontrados para *A. glazioviana* corroboram com resultados relatados na literatura. Em estudos realizados com a mesma espécie, Mattos et al. (2000), Baggio et al. (2002), Silva et al. (2012) e Eloy et al. (2014), observaram valores médios de 4637, 4450, 4492 e 4513 Kcal/Kg, respectivamente.

Resultados similares aos obtidos para a faixa de variação do PCS foram observados por Brown et al. (1952) para folhosas, onde os valores variaram entre 4600 a 4800 Kcal/Kg, assim como Doat (1977) e Quirino et al. (2005) em pesquisas com espécies florestais nativas e exóticas apresentam variações de 4310 a 5170 e de 3500 à 5260 Kcal/Kg, respectivamente.

Alguns fatores que provavelmente influenciam o PCS são a composição química, ou seja, a proporção dos elementos químicos do material (celulose, polioses, lignina, substâncias

inorgânicas/extrativos), origem da biomassa, bem como o teor de umidade e teor de cinzas que determinam a quantidade de energia disponível para o sistema de combustão (SANTANA et al., 2012). O aumento do PCS nos maiores diâmetros pode ter sido favorecido por uma variação na quantidade dos constituintes químicos que compõem a parede celular das plantas (BRAND, 2010).

A BIO e PE apresentaram tendências crescentes de produção à medida que o diâmetro aumenta, essa observação foi constatada por Santana et al. (2012), os quais mencionam existir uma relação direta de produção entre essas variáveis. Outros fatores como idade do povoamento, espaçamento de plantio e qualidade de sítio, contribuíram para as diferentes distribuições de biomassa encontradas entre diferentes espécies e na mesma espécie (LADEIRA et al., 2001; ELOY et al., 2014).

Os teores de MV e CF obtidos nesse estudo estão de acordo com os valores relatados por Brand (2010) para madeira, os quais variam entre 75 a 85% e 15 a 25%, respectivamente. Elevados valores de MV contribuem para uma rápida ignição, no entanto podem afetar o processo de combustão em geral (VIEIRA et al., 2013).

Os valores de MV estão dentro da margem observada por Vale et al. (2002) que, analisando 47 espécies florestais do cerrado, obtiveram uma variação de 74,62 a 81,2%. Resultados semelhantes foram encontrados por Vale et al. (2005) que utilizando galhos provenientes da poda de 12 espécies da arborização de Brasília, observaram variação de 81,00 a 86,85%.

A quantidade de CZ depende principalmente do teor de MV segundo Rocha et al. (2017), os quais apresentam relação inversa, ou seja, quanto mais altos forem os valores de MV do material, mais rapidamente ocorrerá à queima, o que implicará em um menor tempo de residência nos equipamentos durante o processo de queima, podendo contribuir para uma baixa eficiência energética, quando comparados aos que possuam altos teores de carbono fixo (BRAND, 2010; CHAVES et al., 2013).

O aumento das classes de diâmetro não alterou de madeira uniforme a ρ_b , de acordo com Santana et al. (2012), a variabilidade dessa variável está mais relacionada à heterogeneidade encontrada dentro e entre as espécies do que relação às classes diamétricas estabelecidas. Alguns fatores como: condições ambientais, qualidade do sítio, variabilidade genética dos povoamentos originados de sementes, diferentes idades contribuem para essa variação (EISFELD et al., 2009; SANTANA et al., 2012; HILLIG et al., 2012; TREVISAN et al., 2016).

Os valores obtidos para a DE seguiram a mesma tendência, o que segundo Brand (2010) e Moreira et al. (2012) já era esperado, pois os autores mencionam que essa variável é influenciada pela ρ_b e o PCS, os quais levam em consideração toda a energia contida em determinado volume de madeira variando entre espécies e dentre indivíduos da mesma espécie.

De modo geral, nota-se que com o aumento de diâmetro foram encontradas as maiores produções de BIO e PE. Resultado semelhante foi verificado por Santana et al. (2012) em trabalho realizado com duas espécies de *Eucalyptus*, onde os autores citam que as maiores classes de diâmetro proporcionaram maior produção de energia por unidade de volume, pois obtinham as madeiras mais densas, com maior produção de massa seca e PE.

A partir dos resultados obtidos nesse estudo, foi possível observar uma tendência crescente dos componentes nas variáveis PCS, BIO e PE, em relação às diferentes classes de diâmetro, as quais influenciaram em sua produção e distribuição, sem tendência de estabilização. Com base nessas características juntamente com as demonstradas por diversos autores, pode-se concluir que a espécie *A. glazioviana* possui potencial para produção de biomassa e geração de energia na forma de calor, sendo indicado o uso e manejo das áreas de regeneração natural das pequenas propriedades rurais, predominantes na região de estudo, para fins energéticos.

O código florestal impõem restrições quanto ao uso e/ou manejo de fragmentos florestais nativos, no entanto, a legislação ambiental vigente permite a exploração eventual da espécie *A. glazioviana* para consumo nas propriedades ou posses das populações tradicionais ou de pequenos produtores rurais, independente de autorização, conforme a lei nº 11.428 de 2006 (BRASIL, 2017). Dessa forma, nota-se a importância do desenvolvimento desses estudos, pois os mesmos direcionam a obtenção de informações necessárias para um planejamento adequado de atividades a serem realizadas nessas áreas.

3.7 CONCLUSÃO

As classes de diâmetro alteram as características energéticas da madeira.

Nas maiores classes são verificados os maiores valores de poder calorífico superior, biomassa, produtividade energética e os menores para o teor de cinza.

Os componentes (fuste, galhos e folhas) das árvores analisados proporcionam diferentes produções e distribuição para PCS, BIO, PE, CF, MV e TC.

A ρ_b e DE do fuste não diferiram com o aumento das classes de diâmetro.

Com vistas à diversificação de atividades em pequenas propriedades rurais, as árvores com maiores classes de diâmetro oferecem as melhores condições para utilização da biomassa para produção de energia. Enquanto que as demais devem ser incluídas em um plano de manejo florestal.

3.8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Biomassa para Energia (UFPR) pelo auxílio, a CNPq e a CAPES pelo apoio financeiro e suporte.

3.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, n.68, p.87-95, Ago. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Determinação do poder calorífico superior - Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira, determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8p.

BAGGIO, A. J. Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde. **Circular Técnica** n. 68, Embrapa Florestas, Colombo, PR. p.1-8, 2002.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2010. 131p.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 2006. Dispõem sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 22 de dezembro de 2006. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm>. Acesso em: 12 jan. 2017.

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1993, Pan Americano, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS, 1993. 1v.

BRITO, J. B. **O uso energético da madeira**. Esalq/USP: Estudos Avançados 21, Piracicaba, p.185-193. 2007.

BROWN, H. P.; PANSHIN, A. J.; FORSAIT, C. C. **Textbook of wood technology**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1952, 783p.

- CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: EMBRAPA-CNPQ. Brasília: EMBRAPASPI, 1994, 639p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003, 1.039p.
- CHAVES, A. M. B. et al. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.17, p.533-542, 2013.
- DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts Tropicaux**, Nancy, v.172, p.33-48, 1977. Disponível em: <http://bft.cirad.fr/cd/BFT_172_33-55.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2017.
- EISFELD, R. et al. Chip density modelling using dendrometric variables and disk density. **Floresta**, Curitiba, v.39, n.4, p.877-886, 2009.
- ELOY, E. et al. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.38, n.3, p.551-559, 2014.
- ELOY, E. et al. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.45, n.8, p.1424-1431, 2015.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 412p.
- HILLIG, E. et al. Physical properties of wood from *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze as a function of position in the stem at different ages. **Cerne**, Lavras, v.18, n.2, p.257-263, 2012.
- LADEIRA, B. C. et al. de. Produção de biomassa de eucalipto sob três espaçamentos em uma sequência de idade. **Revista Árvore**, Viçosa, v.25, n.1, p.69-78, 2001.
- MATTOS P. P. Caracterização física, química e anatômica da madeira de timbó (*Ateleia glazioveana*). Embrapa: **Comunicado Técnico**, n.47, 2000, 6p.
- MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.1, p.121-126, 2011.
- MOREIRA, J. M. M. A. P.; LIMA, E. A.; GOULART, I. C. G. R. Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. **Comunicado Técnico Embrapa 293**, Colombo, 2012, 5p.
- MOREIRA, J. M. M. A.P. Potencial de Participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo, v.31, n.68, p.363-372, 2011.
- MÜLLER, M. D. et al. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v.2, n.3, p.177-186, 2005.
- PERES, M. L. et al. Idade de segregação do lenho juvenil e adulto pela variação da massa específica de açoita-cavalo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1596-1602, 2012.
- QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v.1, n.2, p.173-182, 2004.

QUIRINO, W.F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulosicos. **Revista da Madeira**, São Paulo, v.89, p.100-106, 2005.

REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, n.34-35, p.5-483, 1983.

ROCHA, M. F. V. et al. Propriedades energéticas do carvão vegetal em função do espaçamento de plantio. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v.8, n.2, p.54-63, 2017.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: Tendências e tipologias. In: MENDONÇA, F. (Org.). **Os climas do Sul: Em tempos de mudanças climáticas globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014, p.217-271.

SANQUETTA, C. R. et al. **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFRR, 2002, p.237-250.

SANTANA, W. M. S. et al. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v.18, n.1, p.1-8, 2012.

SAS LEARNING EDITION. **Getting started with the SAS Learning Edition**. Cary: 2003, 200p.

SILVA, D. A. et al. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, p.1588-1595, 2012.

TOMASI, J.C. et al. Propriedades físicas da madeira de *Ateleia glazioviana* Baill. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.9, n.16, p.1824-1832, 2013.

TREVISAN, R. et al. Axial variation of basic density of *Araucaria angustifolia* wood in different diameter classes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.46, n.11, p.1969-1972, 2016.

VALE, A. T.; MOURÃO, M. A.; LEÃO, B. A. L. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p.71-80, 2002.

VALE, A. T.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. Caracterização e uso de madeiras de galhos de árvores provenientes da arborização de Brasília, DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.4, p.411-420, 2005.

VALE, A. T.; ROCHA, L. R.; MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, n.84, p.387-394, 2009.

VIEIRA, A. C. et al. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v.3, n.1, p.51-57, 2013.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico 1**, Viçosa: SIF/ UFV, 1984, 21p.

VIVIAN, M. A. et al. Propriedades físico-mecânicas da madeira de canafístula aos 10 anos de idade. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.5, p.1097-1102, 2010.

Tabela 1: Valores médios de altura (h) e diâmetro à altura de 1,30 m do solo (DAP) das árvores de *Ateleia glazioviana*, distribuídos nas classes de diâmetro, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 1: Average values of height (h) and diameter at 1.30 m of soil (DBH) of the trees of *Ateleia glazioviana*, distributed in diameter classes, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

		Classes							
Valor		1	2	3	4	5	6	7	8
DAP	Máx.	3,66	5,44	7,48	9,13	10,63	12,82	13,84	16,67
	Méd.	2,76 (±0,834)	4,65 (±0,687)	6,90 (±0,734)	8,81 (±0,282)	10,05 (±0,588)	11,90 (±0,825)	13,65 (±0,225)	16,09 (±0,606)
	Mín.	2,00	3,81	6,07	8,59	9,45	11,23	13,40	15,46
H	Máx.	11,90	11,60	10,60	10,20	10,40	9,70	7,80	5,30
	Méd.	4,07 (±1,078)	7,03 (±1,062)	8,80 (±1,389)	9,94 (±0,416)	9,07 (±0,986)	10,54 (±0,305)	10,90 (±0,754)	10,85 (±1,103)
	Mín.	9,80	10,10	10,20	8,40	9,60	7,20	5,50	3,30

Onde: DAP= diâmetro à altura de 1,30 metros do solo, em centímetros; h= altura total, em metros; Máx.=valor máximo; Méd.=valor médio; Mín.=valor mínimo; ±=desvio padrão.

Fonte: Autores.

Tabela 2: Análise de variância para as propriedades energéticas nos componentes das árvores de *A. glazioviana*, distribuídas em diferentes classes de diâmetro, em área de regeneração natural, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 2: Analysis of variance for energetic properties in different diameter classes and components of *A. glazioviana* trees, distributed in different diameter classes, in a natural regeneration area, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

FV	GL	Quadrado Médio							
		PCS	BIO	PE	CF	MV	CZ	ρ_b	DE
Classes	7	3945*	1245,8*	25738,3*	1,462 ^{ns}	2,42 ^{ns}	0,146*	0,0005 ^{ns}	0,0144 ^{ns}
Comp.	2	188832*	2122,1*	40935,4*	3,9485*	139,62*	1200*	-	-
CxComp.	14	1228*	222,7*	4300,5*	1,878 ^{ns}	0,8071 ^{ns}	0,018 ^{ns}	-	-
Bloco	3	706 ^{ns}	22,87 ^{ns}	484,5 ^{ns}	3,344 ^{ns}	0,4104 ^{ns}	0,026 ^{ns}		
R^2		0,98	0,97	0,95	0,45	0,75	0,96	0,57	0,55
CV (%)		1,04	32,06	32,09	4,38	1,91	17,84	6,7	7,13

Onde: FV=Fator de variação; GL=Grau de liberdade; C=Classes; Comp.=Componente; B=Bloco; PCS=Poder calorífico superior; BIO=Biomassa; PE=Produtividade energética; CF=Carbono fixo; MV=Materiais voláteis; CZ=Teor de cinzas; ρ_b =Massa específica básica; DE=Densidade energética; R^2 =Coeficiente de determinação; CV=Coeficiente de variação;

*=Significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro, conforme a distribuição de Fisher;
^{ns}=não significativo a 5% de erro conforme a distribuição de Fisher.

Fonte: Autores.

Tabela 3: Teste de médias para os diferentes componentes das árvores de *A. glazioviana*, distribuídas em diferentes classes de diâmetro, no município de Frederico Westphalen-RS.

Table 3: Test of means for the different components of *A. glazioviana* trees, distributed in different diameter classes, in the municipality of Frederico Westphalen-RS.

Comp.	Classes de diâmetro							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PCS (Kcal/Kg)								
Fuste	4518 bA	4508 bA	4533 bA	4540 bA	4539 bA	4555 bA	4543 bA	4573 Ba
Galho	4495 bBC	4457 bC	4471 Bc	4514 bBC	4628 bA	4580 bAB	4611 bA	4569 bA
Folha	4854 aC	4848 aC	5027 aB	5048 aB	5085 aB	5098 aB	5254 aA	5053 aB
BIO (Kg/árvore)								
Fuste	1,04 aF	2,81 aF	9,43 aE	16,99 aD	23,62 aC	32,62 aB	35,67 aB	46,16 aA
Galho	0,13 bE	0,39 bE	1,10 bE	3,22 bDE	8,19 bCD	11,00 bC	25,55 bB	41,95 aA
Folha	0,63 bC	0,07 bC	0,51 bC	1,00 bC	2,62 cB	2,89 cB	4,79 cB	7,04 bA
PE (Mcal/árvore)								
Fuste	4,66 aE	12,68 aE	42,69 aD	77,01 aD	107,05 aC	147,27 aB	161,98 aB	211,02 aA
Galho	0,55 bE	1,77 bE	4,89 bE	14,44 bDE	37,70 bCD	49,89 bC	117,69 bB	191,68 aA
Folha	2,87 aB	0,15 cB	2,45 bB	4,95 cB	13,20 cAB	14,61 cAB	25,01 cAB	35,57 bA
CF (%)								
Fuste	21,09 aAB	21,03 aAB	21,37 aAB	21,15 aAB	22,26 aA	21,02 bAB	20,67 bB	20,52 bB
Galho	22,24 Aa	22,48 aA	22,47 aA	22,34 aA	22,71 aA	22,94 aA	22,55 aA	22,10 aA
Folha	22,55 aA	21,35 aA	22,24 aA	21,78 aA	21,78 aA	21,60 aA	22,00 aA	21,47 aA
MV (%)								
Fuste	77,46 aA	77,60 aA	77,19 aA	77,61 aA	76,72 aA	77,65 aA	78,24 aA	78,49 aA
Galho	74,42 bA	74,72 bA	74,48 bA	75,20 bA	74,57 bA	74,56 bA	75,06 bA	75,91 bA
Folha	71,50 Ca	73,29 bA	71,98 cA	72,90 cA	73,64 bA	73,24 bA	73,00 cA	73,55 cA
TC (%)								
Fuste	1,45 cA	1,36 cAB	1,44 cA	1,24 cBC	1,01 cC	1,33 cAB	1,08 cBC	0,99 cC
Galho	3,33 bA	2,79 bA	2,46 bA	2,46 bA	2,29 bA	2,49 bA	2,38 bA	1,98 aA
Folha	5,96 aA	5,36 Aab	5,78 aA	5,31 aAB	4,57 aB	5,16 aAB	5,00 aB	4,97 Ab
ρ_b								
Fuste	0,443A	0,464 A	0,477 A	0,460 A	0,473 A	0,481 A	0,465 A	0,484 A
DE								
Fuste	2,000 A	2,090 A	2,161 A	2,087 A	2,143 A	2,175 A	2,109 A	2,216 A

Onde: Comp.=componente; PCS=poder calorífico superior, em kcal kg⁻¹; BIO=Biomassa, em Kg/árvore; PE = Produtividade energética, em Mcal/árvore; CF=Carbono fixo, em %; MV = Materiais voláteis em %; CZ=Teor de cinzas, em %; ρ_b = Massa específica básica, em g cm⁻³

e DE = Densidade energética, em Gcal m⁻³. Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna não diferem entre os compartimentos; Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na linha não diferem entre as classes a 5% de probabilidade de erro, conforme o teste de médias de Tukey.

Fonte: Autores.

4 DISCUSSÃO GERAL

A estimação da produção de biomassa disponível em área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana* foi obtida através da utilização de equações alométricas, onde o modelo de Spurr e o proposto pelos autores com o emprego do procedimento *Stepwise*, foram os mais apropriados para estimar a biomassa aérea utilizando as variáveis independentes, diâmetro à altura de 1,30 m do solo e altura total, de acordo com os indicadores estatísticos R^2_{aj} e S_{xy} , bem como pela dispersão gráfica dos resíduos, nas condições propostas.

O ajuste proporcionado pelas demais equações tradicionalmente utilizadas em volumetria não apresentaram resultados aceitáveis, pois tenderam a superestimar a biomassa das maiores árvores.

As propriedades energéticas da madeira foram influenciadas pelas classes de diâmetro, as quais continham indivíduos com diferentes idades. Os maiores valores do poder calorífico superior (PCS), produção de biomassa (BIO) e produtividade energética (PE) foram observados nas maiores classes de diâmetro, para os diferentes componentes da árvore, e os menores para o teor de cinza (CZ).

Os componentes analisados, fuste, galhos e folhas, oferecem diferentes produções e distribuição do PCS, BIO, PE, CF, MV e TC, devido à proporção dos constituintes químicos presentes na parede celular das plantas, além de outros fatores como idade, qualidade do sítio. A ρ_b e DE do fuste não diferiram com o aumento das classes de diâmetro.

Com vistas à diversificação de atividades em pequenas propriedades rurais, as árvores com maiores classes de diâmetro oferecem as melhores condições para utilização da biomassa para produção de energia. No entanto, os resultados obtidos recomendam que os indivíduos com diâmetros menores podem ser utilizados para essa finalidade, desde que seja desenvolvimento de um plano de exploração racional adequado para o local.

O conhecimento de como ocorre o processo de regeneração natural de qualquer ecossistema é um fator primordial, tanto para espécies arbóreas, quanto para culturas do sub-bosque, pois auxiliam na formulação do plano de manejo florestal sustentado (DRUMOND et al., 1996; PEREIRA et al., 2001).

5 CONCLUSÃO GERAL

Com base nos resultados obtidos nesse trabalho, considerando o objetivo geral e aceitando as hipóteses propostas, conclui-se que:

Para estimar a biomassa aérea na área de regeneração natural de *Ateleia glazioviana*, nas condições propostas, o modelo de Spurr e o proposto pelos autores com o emprego do procedimento *Stepwise*, são os mais apropriados, sendo representado pela equação: $MST = -5,6260 + 1,2986 * ((DAP^2) * (h)) + \epsilon_i$.

A dispersão mais uniforme dos resíduos foi obtida pelo modelo de Spurr (6) e pelo proposto pelos autores (10), o que confirma a eficácia da estimativa baseado nos indicadores estatísticos (R^2_{aj} e S_{xy}).

O próximo passo desse estudo é a realização da seleção de modelos para os diferentes componentes das árvores, visando dessa forma o conhecimento da produção de biomassa em cada componente auxiliando no planejamento do manejo adequado.

As classes diamétricas influenciam nas propriedades energéticas da madeira. O aumento do diâmetro apresenta relação direta com o poder calorífico superior, a produção de biomassa e a produtividade energética, nos diferentes componentes da árvore, ou seja, nas maiores classes são verificados os maiores valores dessas variáveis e os menores para o teor de cinza. Os componentes das árvores analisados oferecem diferentes produções e distribuição para PCS, BIO, PE, CF, MV e TC. Entretanto, a ρ_b e DE do fuste não diferiram com o aumento das classes de diâmetro. Com vistas à diversificação de atividades em pequenas propriedades rurais a espécie *Ateleia glazioviana* apresenta potencialidade para utilização como fonte de energia.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J.C. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da caatinga no município de Floresta – PE**. 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2012.
- AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil) (ANEEL). **Banco de Geração de Informações: BIG**. 2008. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 18 de agosto de 2016.
- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. E *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p. 87-95, 2005.
- ANGELINI, R.; GOMES, L. C. **O artesanato de ecossistemas: construindo modelos com dados**. 1. Ed. Maringá-PR: Editora UEM, 2009. 173p.
- AROLA, R.A. **Wood fuels—How do they stack up?** Forest Products Research Society, Atlanta, Georgia, 1976. 12 p.
- BAGGIO, A. J. Timbó: uma alternativa para a produção perene de adubo verde. **Circular Técnica** n. 68, Embrapa Florestas, Colombo, PR. p. 1-8, 2002.
- BALBINOT, R. et al. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, Paraná, v. 38, p. 317-324, 2008.
- BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Editora: Funep, 2013. 237p.
- BARROS, S. V. S. et al. Avaliação do potencial energético das espécies florestais *Acacia auriculiformis* e *Ormosia paraensis* cultivadas no município de Iranduba/Amazonas, Brasil. **Madera y Bosques**, v. 15, n. 2, p. 59-69, 2009.
- BASUKI, T. M. et al. Allometric equations for estimating the above-ground biomass in tropical lowland Dipterocarp forests. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 1684-1694, 2009.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2010. 131p.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional, 2016: ano base 2015**. Rio de Janeiro, 2016. 61 p.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis**. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2, 1982, São Paulo. São Paulo, 1982. P. 101-137.
- CARMO, J. S. **Propriedades Físicas e Químicas do Carvão Vegetal destinado à Siderurgia e Metalurgia**. 1988. 50 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1.039p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: EMBRAPA-CNPQ. Brasília: EMBRAPASPI, 1994. 639p.

CARVALHO, P. E. R. Espécies introduzidas alternativas às dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* para reflorestamento no centro-sul do Brasil. In: SEMINÁRIO ESPÉCIES NÃO TRADICIONAIS PARA PLANTIOS COM FINALIDADES PRODUTIVAS E AMBIENTAIS, 1998. Curitiba. **Anais...** Curitiba: EMBRAPA-CNPQ, 1998. P. 75-99.

CASTRO SILVA, J. et al. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, 2004.

CHAVES, A. M. B. et al. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 533-542, 2013.

CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP.** 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATC, 1991. 29p. (Série Técnica, n. 8.).

DRUMOND, M. A. et al. Alterações Fitossociológicas e edáficas na mata atlântica em função das modificações da cobertura vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v.20, n.4, p.451-466, 1996.

EISFELD, R. et al. Chip the basic density of using dendrometric variables and disk density. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 4, p. 877-886, 2009.

ELOY, E. et al. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 551-559, 2014.

ELOY, E. et al. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 8, p. 1424-1431, 2015.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal.** Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 2002. 269p.

FIORENTIN, L. D. et al. Quantification and modelling of biomass and carbon at natural regeneration in the Ombrophylous Mixed Forest area. **Revista Brasileira Biomassa**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 251-267, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Forests and Energy.** 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6928e.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Global Forest Resources Assessment.** Main Report: FAO Forest Paper. Roma, 163-340p. 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Wood Energy.** 2012. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/energy/en/>. Acesso em: 10 de agosto de 2016.

- GATTO, D. A. et al. Características da lenha produzida na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 7-16, 2003.
- GUEDES, B. et al. **Estudo da biomassa florestal numa floresta aberta de miombo no distrito de Bárué, Manica**. Moçambique: Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, 2001. Pt. 2. Relatório das atividades de julho/2001.
- KLAUTAU, J. V. P. **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo corrente para secagem de grãos**. 2008. 192. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- KLOCK, U. et al. Propriedades do papel Kraft a partir da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H.E. Moore e *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 33-44, 2004.
- LANGELOH, A.; MAIDANA-LEGUIZAMON, F.; DALSENER, P. Potencial abortivo e infertilizante de plantas brasileiras contaminantes ocasionais de pastagens de bovinos e outros herbívoros de interesse econômico. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 1-2, n. 12, p. 11-18, 1992.
- LIMA, A. J. N. et al. 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**, Amsterdam, v. 277, p. 163 – 172, 2012.
- LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Influência do desbaste em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 2, p. 151-160, 2005.
- LONGHI, S. J. et al. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal no município de Santa Maria-Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 115-133, 1999.
- LOPES, C. S. D. et al. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 315-322, 2011.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352p.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4. Ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum: v. 1. 2002. 381p.
- MATTOS P. P. Caracterização física, química e anatômica da madeira de timbó (*Ateleia glazioveana*). Embrapa: **Comunicado Técnico**, n. 47, 2000, 6p.
- MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-126, 2011.
- MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies. **Bioresource Technology**, OXFORD, v. 83, n. 1, p. 47-54, May 2002. Disponível em: <dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00119-5 >. Acesso em: 11 jan. 2017.

- MELO, L. C. et al. Estimativa de biomassa e carbono total para árvores de caixeta no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 34, n. 77, p. 21 – 29, 2014.
- MELO, R. R. et al. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. Pelotas: **Ciência da Madeira**, v. 04, n. 01, p. 83-92, 2013.
- MEYER, H.A. The standard error of estimate of tree volume from the logarithmic volume equation. **Journal Forestry**, v. 36, p. 340-342. 1943.
- MIRANDA, D. L .C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativas de biomassa e carbono em árvores de reflorestamento de restauração. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 679 – 689, 2011.
- MORALES, M. M.; MOURA, J. C. Dendroenergia e termotecnologias. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 2, p. 138-147, 2016.
- MORALES, M. M.; MOURA, J. C. Dendroenergia e termotecnologias. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 2, p. 138-147, 2016.
- NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B.W.; FEARNESIDE, P.M.; FRANÇA, M.B.; OLIVEIRA, Á.C.A. Tree height in Brazil's "arc of deforestation": Shorter trees in south and southwest Amazonia imply lower biomass. **Forest Ecology and Management**, v.255, p.2963-2972, 2008.
- NOGUEIRA, L. A.; LORA, H. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**, 2 ed, 2003.
- NOGUEIRA, M. F. M.; RENDEIRO, G. Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. In: BARRETO, Eduardo José Fagundes. **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. P. 52-63.
- OLIVEIRA, E. **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis***. 1988. 47f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.
- PEREIRA, J. C. D. et al. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Documentos**, n. 38, Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p.
- PEREIRA, I. M. et al. Regeneração natural em um remanescente de caatinga sob diferentes níveis de perturbação, no agreste Paraibano. **Acta Botanica Brasilica**, v.15, n.3, p.413-426, 2001.
- QUIRINO, W.F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulosicos. **Revista da Madeira**, São Paulo, v. 89, p. 100-106, 2005.
- REITZ, R.; KLEIN, R.M.; REIS, A. Projeto madeira do Rio Grande do Sul. **Sellowia**, Itajaí, n. 34-35, p. 5-483, 1983.
- SANQUETTA, C. R. et al. **As Florestas e o Carbono**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFRR, 2002, p. 237-250.
- SANQUETTA, C. R. et al. **Inventários florestais: planejamento e execução**. 2. Ed. Curitiba-PR: Multh-graphic gráfica editora, 2009. 270p.

- SANQUETTA, C. R. et al. Variação axial da massa específica básica de *Acacia mearnsii* em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 19, n. 2, p. 43-52, 2013.
- SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. et al. (Ed.). **Fixação de carbono: projetos, perspectivas e atualidades**. Curitiba, 2004. 205p.
- SANQUETTA, C.R. et al. Biomass and carbon in non-woody vegetation, dead wood and litter in Iguazu National Park. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 2, p. 185-194, 2014.
- SANTANA, W. M. S. et al. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p.1-8, jan./mar. 2012.
- SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J.H. Bioenergia e Biorrefinaria: Cana-de-açúcar e Espécies Florestais. In: BRITO, J. O. **Energia da Madeira**. Viçosa: Os Editores, 2013. P. 269-295.
- SCHNEIDER, P. R; SCHNEIDER, P. S. P; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**, 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009. 293p.
- SCREMIN, A. L. T. **Estudo Energético e Físico químico do Carvão Vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2012. 103f. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, Universidade Estadual do Centro- Oeste, Guarapuava, 2012.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em Resumo**. Dados de 2005 – 2010. 152p. 2010.
- SETTE JUNIOR, C. R. **Efeito da aplicação do lodo de esgoto e de fertilização mineral no crescimento e propriedades da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2007. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.
- SILVA, D. A. et al. Ponto de amostragem ao longo do fuste para estimativa do poder calorífico da madeira. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 9, p. 1588-1595, 2012.
- SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, 2008.
- SOARES, T. S. et al. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Viçosa, n. 8, p. 9, 2006.
- SOMOGYI, Z. et al. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, Feb. 2006.
- TREVISAN, R. **Efeito do desbaste nos parâmetros dendrométricos e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010. 174f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- TREVISAN, R. et al. Axial variation of basic density of *Araucaria angustifolia* wood in different diameter classes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 11, p. 1969-1972, nov. 2016.

TREVISAN, R. et al. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 4, p. 377-387, 2007.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VALE, A. T.; ROCHA, L. R.; MENEZZI, C. H. S. Massa específica básica da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* cultivado em cerrado. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 387-394, 2009.

VIEIRA, A. C. et al. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, Cascavel, v. 3, n. 1, p. 51-57, 2013.