

TAÍSE MARIANO RODRIGUES

**POTENCIAL PRODUTIVO E QUALIDADE ENERGÉTICA DA GRIMPA E
HERBÁCEAS EM CAMPO DE ALTITUDE NA REGIÃO SERRANA DE SANTA
CATARINA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Dr^a.: Martha Andreia Brand
Co-orientador: Dr. Tássio Dresh Rech

**LAGES - SC
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Rodrigues, Taíse Mariano
Potencial produtivo e qualidade energética de grimpas e
herbáceas em campo de altitude na região serrana de Santa Catarina
/ Taíse Mariano Rodrigues. -- 2020.
104 p.

Orientadora: Martha Andreia Brand
Coorientador: Tássio Dresh Rech
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação , Lages, 2020.

1. Araucaria angustifolia. 2. Grimpa. 3. Quantificação. 4.
Caracterização. I. Brand, Martha Andreia. II. Rech, Tássio Dresh .
III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação . IV. Título.

TAÍSE MARIANO RODRIGUES

**POTENCIAL PRODUTIVO E QUALIDADE ENERGÉTICA DA GRIMPA E
HERBÁCEAS EM CAMPO DE ALTITUDE NA REGIÃO SERRANA DE SANTA
CATARINA**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora

Orientadora:

Prof. Dr^a.Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

Dr. Tiago Celso Baldissera
Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

Dr. André Felipe Hess
Universidade do Estado de Santa Catarina

LAGES, 20/02/2020

Ao André Ribas, por estar ao meu lado em todos os momentos...
Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma me incentivaram e apoiaram a concluir mais esta etapa da minha vida.

Agradeço aos meus pais, por terem estado comigo durante todo este tempo, me ajudando e dando força para a minha formação. Que foram meu alicerce, presente em muitos momentos desta trajetória, sempre orientando o melhor caminho a seguir, com muita confiança e compreensão.

Ao meu marido, que tanto me faz bem, que me incentivou e deu suporte para a concretização deste objetivo, com muita paciência, amor e dedicação, sem ele nada disso seria possível.

A minha irmã, por todo apoio moral e sentimental.

A minha orientadora Martha Andreia Brand, na qual admiro e agradeço por toda ajuda nestes dois anos incríveis de mestrado, sua inteligência e determinação só me deram forças a continuar. Muito obrigada, sem você não seria uma mestranda tão realizada.

Agradeço a EPAGRI, pelo apoio e inclusão no projeto “Construindo a sustentabilidade da pecuária familiar dos Campos e Matas de Araucária”, em especial ao Tássio, Tiago, Cassiano e Fábio.

Agradeço aos professores Alexsandro B. da Cunha e André Hess, no qual tive a oportunidade de ser aluna em algumas de suas disciplinas dentro do programa florestal.

E por fim agradeço a Universidade do Estado de Santa Catarina e ao programa de pós-graduação em Engenharia Florestal pelo amparo durante o período do mestrado.

RESUMO

RODRIGUES, T. M. **Potencial produtivo e qualidade energética da grimpa e herbáceas em campo de altitude na região serrana de Santa Catarina.** 2020. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, 2020.

Os campos de altitude são de grande interesse para o segmento pecuarista da região serrana de Santa Catarina, a qual possui uma importante diversidade de espécies vegetais arbóreas/arbustivas. A grimpa da *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze é um resíduo considerado inconveniente que se destaca nesta atividade, juntamente com algumas espécies herbáceo/arbustivas. O principal propósito do produtor rural é manter o campo produtivo para a criação dos bovinos, descartando esses recursos vegetais. Assim, este trabalho teve como objetivo quantificar e caracterizar o potencial energético da biomassa vegetal residual do campo de altitude. A área de estudo se localizou na fazenda Experimental da Epagri em São José do Cerrito/SC. Para cumprir o objetivo proposto, a apresentação do trabalho foi dividida em três capítulos: (I) quantificação das acículas de árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livre em campo de altitude; (II) caracterização energética da biomassa aciculada de araucárias de crescimento livre em campo de altitude; (III) quantificação e caracterização energética de espécies vegetais herbáceo-arbustivas presentes em campo de altitude. Para a quantificação das acículas em árvores de crescimento livre de *A. angustifolia* (Capítulo I), foram selecionadas 37 árvores, em abril de 2018, obtendo-se as variáveis dendrométricas, coordenadas geográficas e dois rolos de incremento. Os dados dendrométricos foram utilizados para a determinação de índices morfométricos de cada indivíduo analisado. Durante 12 meses foram realizadas pesagens da biomassa produzida pelas árvores e coletada uma amostra de acículas de cada árvore. Foram também determinadas as propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa (Capítulo II). Para a quantificação da biomassa herbáceo/arbustiva (Capítulo III) foram demarcadas 8 parcelas de 5 x 10 metros. Em cada parcela foram identificadas as espécies mais representativas da formação florística, totalizando 8 espécies. Foram realizadas 3 roçadas, a primeira em maio/2018, a segunda em agosto/2019 e a terceira em setembro/2019. Em cada coleta, todos os indivíduos foram contados nas parcelas e pesados. Para cada espécie foram calculados os índices fitossociológicos e realizadas as análises físicas, químicas e energéticas. No capítulo I foi possível concluir que a produção de grimpa foi afetada pela temperatura média mensal do ar e velocidade média mensal do vento e o teor de umidade das grimpas foi afetado pela umidade relativa do ar, temperatura média do ar e pela radiação solar. As árvores com os maiores diâmetros e copas produziram as maiores quantidades de grimpas, independentemente da forma da copa, altura da inserção da copa ou altura total das árvores. Já no capítulo II, a DE da grimpa foi elevada sendo influenciada de forma positiva mais pela DB do que PCS. As propriedades químicas e energéticas da grimpa variaram ao longo do ano e sofreram a influência da temperatura média do ar, radiação solar e umidade relativa do ar. No Capítulo III, o elevado TU da biomassa herbácea reduziu o potencial produtivo por unidade de área, o *E. horridum*, *S. angustifolium* e o *B. crispa* estavam presente em todas as parcelas e apresentaram o maior índice de importância da área. O PCS das herbáceas foi inferior ao que se observa na madeira, mas superior ao que se obtém em alguns resíduos agrícolas.

Palavras – chave: *Araucaria angustifolia*; Grimpa; Quantificação; Caracterização

ABSTRACT

RODRIGUES, T. M. **Yield potential and energy quality of aciculated dry branches and herbaceous plants from highland fields in Santa Catarina.** 2020. 104 p. Dissertation (Master in Forest Engineering) - Graduate Program in Forest Engineering, State University of Santa Catarina. Lages, 2020.

The highland grassland under study are essential to the region's livestock segment. It has an important diversity of trees and shrub species. The *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze vulture is a residue considered inconvenient in the segment, along with some herbaceous-shrub species. The rural producers seek to maintain a productive field for cattle breeding by discarding these plant resources. Thus, this study aimed to quantify and characterize the energy potential of residual plant biomass in the highland fields of Santa Catarina, Brazil. The study area was located at the Epagri's Experimental farm in São José do Cerrito - SC. We divided the study into three chapters: (I) quantification of the acicula of free-growing *Araucaria angustifolia* trees in highland field; (II) energetic characterization of free-growing araucaria biomass in altitude field; (III) quantification and energy characterization of herbaceous and shrubby plant species in highland fields. For the quantification of the acicula (Chapter I), we lined off 37 trees in April 2018 and obtained their dendrometric variables, geographic coordinates, and two increment rolls. We then used dendrometric data to determine the morphometric indices of each analyzed tree. For 12 months, we weighed the biomass produced by the trees monthly and collected a sample of acicula from each tree. After that, we determined the physical, chemical and energetic properties of the biomass (Chapter II). To quantify the herbaceous and shrubby plant species we demarcated 8 plots of 5 to 10 meters (Chapter III). In each plot, we identified the most representative species of the floristic formation, totaling 8 species. Three clearings were carried out, the first in May / 2018, the second in August / 2019, and the third in September / 2019. In each collection, we counted all individuals in the plots and weighed them. For each species, we calculated the phytosociological indices and performed physical, chemical and energetic analyzes. Chapter I showed that the vulture production was affected by the average monthly air temperature and the average monthly wind speed. Also, the moisture content of the vultures was affected by the air's relative humidity, the average air temperature and the solar radiation. The trees with the largest diameters and crowns produced the largest amounts of vane, regardless of the shape of the crown, height of the crown insertion or the total height of the trees. Results from Chapter II indicated that the energy density of the vane was high and influenced in a positive way more by the basic density than by the GCV. The chemical and energetic properties of the vane varied throughout the year and were influenced by the average air temperature, the solar radiation and the relative humidity. Moreover, Chapter III showed that the high moisture content of the herbaceous biomass reduced the yield potential per unit area. *E. horridum*, *S. angustifolium* and *B. crispa* appeared in all plots and presented the highest importance index of the area. The GCV of the herbaceous plants was lower than the one observed in wood, but higher than the one found in some agricultural residues.

Keywords: *Araucaria angustifolia*; Vulture; Quantification; Description

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo e coordenadas geográficas das araucárias amostradas - São José do Cerrito – SC	19
Figura 2. Araucária de crescimento livre em campo de altitude (a) e identificação dos indivíduos arbóreos (b)	20
Figura 3. Produção de massa úmida de grimpã total mensal das árvores de crescimento livre em campo de altitude e sua relação com o teor de umidade da grimpã (a) e produção de massa seca de grimpã total mensal ao longo do período de análise (b).	25
Figura 4. Relação entre a distribuição diamétrica dos indivíduos de <i>Araucaria angustifolia</i> e a produção de grimpã anual	32
Figura 5. Fluxograma da caracterização física, química e energética da biomassa aciculada de <i>Araucaria angustifolia</i>	41
Figura 6. Relação da umidade relativa média mensal x precipitação acumulada mensal (a), a relação temperatura média mensal x radiação média mensal (b)	43
Figura 7. Influência da Densidade Básica (DB) e do Poder Calorífico Superior (PCS) na Densidade Energética (DE).....	46
Figura 8. Análise termogravimétrica da grimpã <i>in natura</i> (a) e da lignina residual da grimpã (b).....	52
Figura 9. Região de mosaico campo de altitude - Floresta Ombrófila Mista na região de estudo	61
Figura 10. Mapa de localização da área de estudo. Município de São José do Cerrito, Estado de Santa Catarina (a); Localização das parcelas na roçada 1 (b); Localização das parcelas na roçada 2 (c) e Localização das parcelas na roçada 3 (d).	64
Figura 11. Croqui para a demarcação das parcelas, onde os pontos representam as coordenadas geográficas (a) e roçada mecanizada, realizada no momento da identificação, coleta e quantificação da biomassa (b).....	65
Figura 12. Espécies mais importantes causadoras de problemas à pecuária de corte, nos campos de altitude no planalto serrano de Santa Catarina	66
Figura 13. Fluxograma da caracterização física, química e energética da biomassa dos campos de altitude.....	68
Figura 14. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) do <i>B. articulata</i>	85
Figura 15. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) do <i>B. crista</i>	86
Figura 16. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) do <i>S. angustifolium</i>	87
Figura 17. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) do <i>E. horridum</i>	88
Figura 18. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) do <i>A. lateralis</i>	89
Figura 19. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) da <i>M. oblongata</i>	90
Figura 20. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) do <i>P. aquilinum</i>	91
Figura 21. Análise termogravimétrica da biomassa <i>in natura</i> (a) e da lignina residual (b) do <i>S. brasiliensis</i>	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis climáticas na região durante o período de estudo.....	19
Tabela 2. Dados dendrométricos das árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> de crescimento livre em campos de altitude (Continua).....	21
Tabela 3. Distribuição das árvores nas classes diamétricas.....	23
Tabela 4. Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas, produção e teor de umidade das grimpas em árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> de crescimento livre em campo de altitude.....	26
Tabela 5. Variáveis dendrométricas, morfométricas e quantidade de grimpas das trinta e sete árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> de crescimento livres em campo de altitude	27
Tabela 6. Comparação entre os dados obtidos neste trabalho com árvores de crescimento livre analisadas por Costa e Finger (2017) na mesma região de estudo	27
Tabela 7. Correlação de Pearson para as variáveis dendrométricas, morfométricas e quantidade de grimpas das 37 árvores de <i>Araucaria angustifolia</i> de crescimento livres em campos de altitude.....	31
Tabela 8. Caracterização física e energética mensal da grimpas durante o período de um ano de coleta	44
Tabela 9. Correlação de Pearson para as propriedades físicas, químicas e energéticas da grimpas durante um ano de coleta	45
Tabela 10. Caracterização química das coletas mensais da grimpas	48
Tabela 11. Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas e as propriedades químicas e energéticas da grimpas	49
Tabela 12. Comparação da composição química estrutural da grimpas com autores que trabalharam com material da mesma região de estudo	49
Tabela 13. Análise elementar inorgânica da grimpas de árvores de crescimento livre de <i>Araucaria angustifolia</i>	50
Tabela 14. Análise elementar orgânica da grimpas	51
Tabela 15. Comparação entre os estágios de degradação térmica em análise termogravimétrica entre <i>pellets</i> , grimpas <i>in natura</i> e lignina da grimpas de <i>Araucaria angustifolia</i>	53
Tabela 16. Espécies de campo de altitude estudadas.....	66
Tabela 17. Produção de massa e teor de umidade das principais espécies herbáceas presentes em campo de altitude no estado de Santa Catarina (Continua).....	70
Tabela 18. Produção de biomassa por unidade de área de diferentes formações vegetais no Brasil (Continua).....	71
Tabela 19. Estoque energético por unidade de área das espécies de campo de altitude e biomassa de outras sistemas nativos e implantados	73
Tabela 20. Índices fitossociológicos das espécies herbáceas em campo de altitude no estado de Santa Catarina em diferentes fases de crescimento (Continua)	74
Tabela 21. Caracterização química das espécies herbáceas em campo de altitude.....	77
Tabela 22. Correlação de Pearson para as propriedades físicas, químicas e energéticas das espécies herbáceas estudadas.....	78
Tabela 23. Caracterização energética das espécies herbáceas em campo de altitude	79

Tabela 24. Composição química elementar orgânica geral das espécies herbáceas de campo de altitude	82
Tabela 25. Composição química elementar inorgânica geral das espécies herbáceas de campo de altitude	83
Tabela 26. Etapas de degratação termogravimétrica das espécies <i>in natura</i> e da lignina residual espécies herbáceas do campo de altitude	93
Tabela 27. Perda de massa acumulada (%) em cada estágio de degradação térmica das espécies de campo de altitude.....	94
Tabela 28. Temperaturas de maior velocidade de perda de massa e intervalo de temperatura da perda de massa da biomassa <i>in natura</i> e da lignina residual.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ac	Área de projeção de copa
ASTM	American Society for Testing and Materials
Cc	Comprimento de copa
CV	Coefficiente de variação
cm	Centímetro
dap	Diâmetro à altura do peito
DB	Densidade básica
Dc	Diâmetro de copa
DE	Densidade energética
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
EAF	Teor de extrativos em água fria
EAQ	Teor de extrativos em água quente
EE	Teor de extrativos em etanol
EET	Teor de extrativos em etanol-tolueno
ENaOH _{1%}	Teor de extrativos em hidróxido de sódio à 1 %
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ET	Teor de extrativos totais
Fc	Formal de copa
FO	Frequência observada
GE	Grau de esbeltez
GPS	Global Positioning System
hic	Altura de inserção de copa
ha	Hectare
ht	Altura total
IA	Índice de abrangência
IPAd	Incremento periódico anual em diâmetro
IR	Índice de importância relativa
IS	Índice de saliência
L	Lignina
m	Metros
NaOH	Hidróxido de sódio

NBR	Normas Brasileiras
Pc%	Proporção de copa
PCS	Poder calorífico superior
QG	Quantidade de grimpá
rc	Raios de copa
SC	Santa Catarina
TC	Teor de cinzas
TCF	Teor de carbono fixo
TGA	Análise termogravimétrica
TH	Teor de holocelulose
TU	Teor de umidade
TV	Teor de voláteis

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS	16
1. QUANTIFICAÇÃO DAS ACÍCULAS DE <i>Araucaria angustifolia</i> DE CRESCIMENTO LIVRE EM CAMPOS DE ALTITUDE	17
1.1 INTRODUÇÃO	17
1.2 MATERIAIS E MÉTODOS	18
1.2.1 Caracterização da área de estudo	18
1.2.2 Quantificação das grimpas	20
1.2.3 Obtenção das variáveis dendrométricas e morfométricas	21
1.2.4 Incremento periódico anual	23
1.2.5 Processamento dos dados e análise estatística	23
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
1.4 CONCLUSÕES	33
1.5 REFERÊNCIAS	33
ANEXO A - GPS DAS 37 ARAUCÁRIAS UTILIZADAS NO ESTUDO	37
2. CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA BIOMASSA ACÍCULADA DE ARAUCÁRIAS DE CRESCIMENTO LIVRE EM CAMPO DE ALTITUDE.....	38
2.1 INTRODUÇÃO	38
2.2 MATERIAIS E MÉTODOS	40
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
2.4 CONCLUSÕES.....	54
2.5 REFERÊNCIAS	54
3. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE ESPÉCIES VEGETAIS PRESENTES EM CAMPO DE ALTITUDE	60
3.1 INTRODUÇÃO	60
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS	63
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	70
3.3.1 Potencial produtivo da biomassa e estoque energético em campos de altitude	70
3.3.2 Caracterização da vegetação de campo nativo de altitude	74
3.3.3 Potencial energético das espécies herbáceas de campo de altitude	76
3.4 CONCLUSÕES.....	95
3.5 REFERÊNCIAS	97

INTRODUÇÃO GERAL

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é um tipo de vegetação do planalto meridional, inserida no bioma Mata Atlântica, também conhecida como “mata de araucária” ou “pinheiral”, sendo caracterizada pela ocorrência elevada de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze (IBGE, 2012). Esta espécie nativa marcante nos estados do sul do Brasil sofreu ao longo dos anos grande exploração devido à qualidade e durabilidade de sua madeira. Desta forma apresenta poucos remanescentes, nos quais podem apresentar bons resultados econômicos nas propriedades rurais que estão inseridas, seja na aplicação de um manejo adequado para conservação ou mesmo para o seu uso sustentável (STEPKA, 2012).

Em consequência desta exploração a legislação tornou-se restritivo o manejo de florestas naturais com araucária devido a perda da biodiversidade genética e para estimular à pesquisa, na difusão de tecnologias de manejo sustentável, sendo legalmente proibida o corte da araucária no Brasil em 2001. A Lei da Mata Atlântica nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (BRASIL, 2006), vetou a possibilidade de manejo de espécies nativas em florestas naturais.

Porém, a proibição de uso provoca a desvalorização econômica da espécie, e a extração ilegal da madeira da araucária continua, estimulando proprietários rurais a impedir sua regeneração natural (ZANETTE, 2010). Desta forma, estudos relacionados com a utilização de todos os componentes da *Araucaria angustifolia*, como produção de pinhões, uso da biomassa morta (grimpa) seria uma maneira eficaz para diminuir a exploração sobre as araucárias remanescentes e tornar seu cultivo economicamente rentável para os proprietários rurais.

Os campos de altitude possuem uma vegetação herbácea/arbustiva caracterizada por comunidades florísticas próprias, geralmente encontra-se situados nos ambientes montano e alto-montano, com clima sub-tropical ou temperado (BRASIL, 1993). No sul do Brasil os campos de altitude são encontrados principalmente na região do planalto sul-brasileiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, formando um mosaico com a floresta de araucárias (BEHLING et al., 2009) e são comumente utilizados na região do planalto catarinense para a engorda do gado. Têm como um de seus componentes na conformação da paisagem, indivíduos arbóreos de crescimento livre da espécie *Araucaria angustifolia*, esta espécie possui derrama natural, sendo que as grimpas caem no solo ao longo de todo o ano.

Nos campos de altitude também predominam a presença de gramíneas (Poaceae) e muitas espécies herbáceas. Nos campos sujos, encontram-se principalmente espécies da família Asteraceae e da família Apiaceae (BEHLING et al., 2009).

Para realização da limpeza desses campos sujos a queimada no sul do país aparece como prática de manejo tradicional das pastagens, sendo amplamente difundida em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul (RHEINHEIMER et al., 2003), principalmente em razão da topografia acidentada e do afloramento de rochas, que dificultam o manejo do pasto acumulado durante a época da seca (final do inverno) (BARETTA et al., 2005). Outra alternativa seria a utilização da roçada mecanizada que possui a mesma finalidade da queimada, porém são utilizadas máquinas.

Diante disso, desenvolver estudos relacionados com a quantificação da produção de grama de *Araucaria angustifolia*, bem como a avaliação da biomassa herbáceo-arbustiva dos campos de altitude destacando o potencial energético, seria uma alternativa eficaz para agregar valor as propriedades rurais.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo geral determinar o potencial produtivo e qualidade da biomassa vegetal em campos de altitude na região serrana de Santa Catarina.

Os objetivos específicos do trabalho são:

Capítulo I - Quantificar as acículas de *Araucaria angustifolia* de crescimento livre em campos de altitude;

Capítulo II - Caracterizar energeticamente a biomassa aciculada de araucárias de crescimento livre em campos de altitude;

Capítulo III - Quantificar e caracterizar energeticamente espécies vegetais presentes em campos de altitude;

REFERÊNCIAS

BARETTA, D., SANTOS, J. C. P., FIGUEIREDO, S. R., & KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 715-724, 2005.

BEHLING, H., JESKE-PIERUSCHKA, V., SCHÜLER, L., & PILLAR, V. D. P. Capítulo 1: Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário. In: PILLAR, V. D. P. et al. **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**, p. 13 – 25 , 2009.

BRASIL. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 10, de 1º de outubro de 1993. Dispõe sobre os parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão da Mata Atlântica. Diário Oficial da União, Brasília, 3 nov. 1993.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 246, seção 1, p. 1-4, 26 dez. 2006.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2012.

RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, J.C.P.; FERNANDES, V.B.B.; MAFRA, A.L. & ALMEIDA, J.A. Modificações nos atributos químicos de solo sob campo nativo submetido à queima. **Ci. Rural**, 33:49-55, 2003.

STEPKA, T. F. Modelagem do crescimento e dendrocronologia em árvores nativas de *Araucaria angustifolia*, *Cedrela fissilis* e *Ocotea porosa* no sul do Brasil. 2012. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

ZANETTE, F. A araucária como fruteira para a produção de pinhões. Jaboticabal: Funep, 2010. 25 p. (Série Frutas Nativas).

1. QUANTIFICAÇÃO DAS ACÍCULAS DE *Araucaria angustifolia* DE CRESCIMENTO LIVRE EM CAMPOS DE ALTITUDE

1.1 INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista é a tipologia florestal do Planalto Meridional, popularmente conhecida como “mata de araucária” ou “pinheiral”. Apresentam disjunções florísticas devido à alta dispersão paleogeográfica da família *Araucariaceae* (IBGE, 2012). É uma das principais formações vegetacionais da região sul do Brasil. Sua distribuição geográfica está associada aos locais de elevada altitude e com baixas temperaturas médias anuais, associada aos campos de altitude, predominantemente na região do planalto meridional (HIGUCHI et al., 2012).

Nesta formação vegetacional a exploração de espécies madeiráveis, a expansão das cidades e a ocupação do solo para a agricultura e pecuária, alteraram a florística e a estrutura dessas florestas. Ainda, a monocultura em larga escala de *Pinus* sp., aliado à falta de conhecimento de parâmetros para o manejo de florestas naturais em conjunto com a legislação proibitiva, têm contribuído para a redução, estagnação da taxa de incremento e baixa diversidade dos remanescentes naturais destas florestas, isolando os fragmentos e submetendo-os a níveis de perturbação diversos (HESS et al., 2010).

As pastagens naturais em campos de altitude, comumente utilizados na região do planalto catarinense para a produção pecuária, têm como um de seus componentes na conformação da paisagem, indivíduos arbóreos de crescimento livre da espécie *Araucaria angustifolia*. Esta espécie possui desrama natural com produção contínua ao longo de todo o ano.

As grimpas podem ser definidas como ramos secundários, flexíveis e têm crescimento antrópico (sem direção preferencial). Geralmente apresentam ciclo de vida limitado entre 5 e 7 anos e depois secam juntamente com as acículas que correspondem às folhas da araucária. Formam-se na extremidade dos ramos primários e seu plastocromo (formação) é contínuo, enquanto viver a planta. Em alguns indivíduos a formação dos ginostrobilos (pinhas) pode ocorrer também nos ramos secundários, como é o caso das flores masculinas (androstróbilos). Esta característica representa aumento na capacidade de produção de pinhões (ZANETTE et al., 2017).

Os pecuaristas veem a presença desta espécie como uma adversidade, visto que as grimpas da araucária se constituem em um problema de sanidade animal nas propriedades rurais

da região Sul do Brasil. Este problema está relacionado principalmente à aspiração das grimpas pelos animais. Quando as mesmas não são coletadas, principalmente nos meses de inverno, durante a safra do pinhão, os bovinos aspiram as grimpas ao comer o pinhão, causando problemas pulmonares nos animais (BRAND et al. 2018).

Evangelista et al. (2014) e Bavaresco et al. (2017) avaliaram o efeito da aspiração das grimpas por bovinos e equinos em regiões de ocorrência da araucária em Santa Catarina, e ambos constataram que a aspiração deste corpo estranho causa lesões e doenças respiratórias graves, irreversíveis e que muitas vezes leva a morte ou necessidade de eutanásia dos animais.

Neste sentido, estudos sobre o potencial produtivo anual das grimpas pelas árvores de crescimento livre dará subsídios para os pecuaristas decidirem sobre a viabilidade de coleta e uso desta biomassa para fins energéticos, por exemplo. Além disso, há poucos estudos que comparam a produção de grimpas com índices morfométricos, tornando este tema interessante para ser aprofundado, visto que esses índices podem indicar as características da forma da copa relacionadas ao seu dap e que influenciam na quantidade de grimpas produzidas.

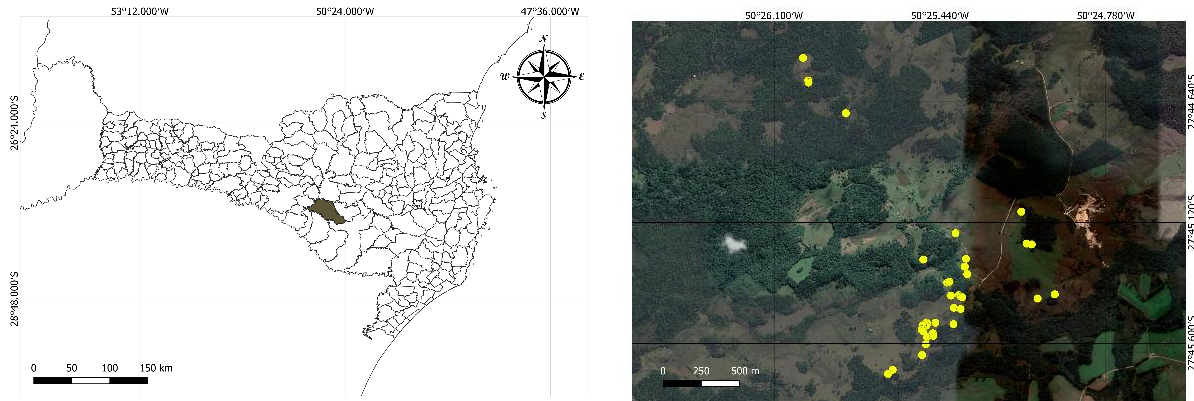
Desta forma, as hipóteses deste capítulo foram que: (a) a quantidade de biomassa de grimpas produzida no período de coleta é suficiente para geração de energia e que (b) o diâmetro à altura do peito influencia diretamente na produção de grimpas. Assim, os objetivos deste capítulo foram de (a) quantificar a produção de grimpas e sua variação ao longo do período estudado e (b) estabelecer quais características morfométricas influenciam na produção desta biomassa.

1.2 MATERIAIS E MÉTODOS

1.2.1 Caracterização da área de estudo

Este trabalho foi desenvolvido na área de estudo da fazenda da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina EPAGRI – “Amola Faca” (27°45’19,5”S e 50°25’19,9”W), localizada no município de São José do Cerrito - SC (Figura 1). A área de estudo está inserida na fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista Montana, que corresponde às faixas de altitude de: 600 a 2000 m nas latitudes entre 5° N e 16° S; de 500 a 1500 m nas latitudes entre 16° S e 24° S; e de 400 a 1000 m nas latitudes acima de 24° S, segundo Lei nº 11.428 (BRASIL, 2006).

Figura 1. Localização da área de estudo e coordenadas geográficas das araucárias amostradas - São José do Cerrito – SC



Fonte: IBGE, 2018.

O clima no local é temperado, de acordo com a classificação de Köppen, caracterizado por ser constantemente úmido sem uma estação seca definida. São José do Cerrito apresenta altitude média de 888 m, temperatura média anual de 16 ° C e precipitação anual 1690 mm (ALVARES et al., 2013).

Durante o período de estudo foram obtidas as variáveis climáticas médias de temperatura do ar (T_m), umidade relativa (UR_m), velocidade do vento (u_m), radiação média (Rsg_m) e a somatória da precipitação pluviométrica (Pp_t) de uma estação meteorologia da EPAGRI, instalada no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina (Tabela 1).

Tabela 1. Variáveis climáticas na região durante o período de estudo

Meses	T_m	UR_m	u_m	Rsg_m	Pp_t
jun/18	11,89	89,04	7,48	114,22	110,0
jul/18	13,17	85,83	8,19	141,92	121,8
ago/18	11,48	84,82	9,40	160,52	104,8
set/18	15,22	85,50	10,46	174,52	205,4
out/18	16,43	85,47	11,20	188,81	174,8
nov/18	18,78	80,66	11,69	273,4	129,6
dez/18	20,81	75,65	9,03	330,76	134,2
jan/19	22,40	82,72	8,89	281,39	124,6
fev/19	20,22	82,85	8,66	237,66	121,4
mar/19	18,99	84,32	8,42	196,19	122,0
abr/19	18,21	86,41	7,48	164,82	84,8
mai/19	15,95	91,48	8,12	112,24	325,0
jun/19	14,75	86,55	8,41	143,22	23,6
jul/19	12,20	83,35	8,58	138,78	74,0
ago/19	12,44	80,40	11,31	179,41	17,8

Onde: T_m : temperatura do ar média mensal (°C); UR_m : umidade relativa do ar média mensal (%); u_m : velocidade do vento média mensal (km/h); Rsg_m : radiação média mensal (W/m^2); Pp_t : precipitação pluviométrica total mensal (mm). Fonte: EPAGRI, 2019.

1.2.2 Quantificação das grimpas

Para avaliar a quantidade de grimpas em árvores de crescimento livre de araucária foram selecionadas 37 árvores de diferentes classes diamétricas, visando quantificar a variação na produção de grimpas. Foi considerada árvore de crescimento livre aquela que não estivesse em competição, ou seja, que não tivesse interferência na copa de nenhuma outra araucária e/ou qualquer outra espécie arbórea, crescendo de forma isolada no campo de altitude (Figura 2).

Figura 2. Araucária de crescimento livre em campo de altitude (a) e identificação dos indivíduos arbóreos (b)



Fonte: Elaborada pela autora, 2018.

Em cada árvore foram medidos quatro raios de copa, e a partir destes foram demarcados quatro quadrantes, nas direções norte, sul, leste e oeste, sendo a placa de identificação das árvores direcionada sempre para o Norte, para padronizar e facilitar a identificação do quadrante selecionado para coleta.

Foi escolhido um quadrante de forma aleatória para cada araucária, nele ocorreu a coleta e pesagem das grimpas durante todo o período de estudo. A coleta ocorria de forma manual das grimpas que caíam no chão do quadrante demarcado. Foram realizadas coletas mensais para a quantificação de grimpas durante um período de 19 meses, entre junho de 2018 a dezembro de

2019. A coleta realizada entre abril e maio de 2018 foi chamada de “coleta acumulada”, não sendo utilizada para o estudo da quantificação mensal, por não ter-se a estimativa correta de tempo que a biomassa estaria depositada naquela local. Neste sentido, esta coleta acumulada foi realizada para a limpeza da área das coletas subsequentes.

A quantidade de grimpas por árvore foi determinada com auxílio de uma balança com precisão de 15 g e peso máximo de 50 kg. O georeferenciamento de cada árvore de araucária foi obtido por meio de uso do GPS Garmim® (Global Positioning System) (Anexo A). Uma amostra composta de grimpas de todas as árvores mensal, com massa aproximada de 5 kg, foi obtida para a determinação do teor de umidade na base úmida conforme a norma NBR 14929 (ABNT, 2003).

1.2.3 Obtenção das variáveis dendrométricas e morfométricas

Para cada árvore de araucária foram obtidos os dados dendrométricos, com auxílio da suta, bússula e hipsômetro (Tabela 2).

Tabela 2. Dados dendrométricos das árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livre em campos de altitude (Continua)

Árvore	dap _m	h	hic	rc _m
1	48,45	9,00	2,20	4,52
2	37,25	13,20	3,90	3,50
3	57,75	12,50	7,10	6,54
4	53,25	8,60	3,00	6,50
5	84,85	17,00	12,00	7,69
6	57,55	15,30	4,80	6,56
7	43,55	14,60	6,10	6,29
8	34,15	11,80	5,00	4,36
9	55,45	17,90	16,40	6,38
10	55,50	13,90	7,70	6,06
11	27,70	10,70	3,40	2,61
12	13,10	6,30	1,00	1,40
13	35,55	12,20	8,40	5,50
14	34,80	11,80	8,20	3,97
15	26,30	8,70	3,80	3,22
16	31,20	9,80	3,40	3,48
17	27,40	8,40	4,00	3,16
18	50,05	15,20	3,50	4,64
19	33,75	10,20	5,50	3,83
20	32,60	10,30	4,70	3,44
21	32,15	9,50	4,70	3,38
22	36,30	10,60	5,30	3,45

Tabela 2. Dados dendrométricos das árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livre em campos de altitude (Conclusão)

Árvore	dap _m	h	hic	rc _m
23	39,15	10,00	5,60	4,42
24	44,45	11,70	5,20	4,93
25	42,40	11,60	4,40	4,76
26	40,75	13,40	5,20	3,70
27	59,55	16,40	4,80	6,44
28	55,20	17,30	6,00	5,76
29	32,75	11,80	4,90	3,65
30	56,10	12,00	4,50	6,08
31	48,50	16,10	5,70	4,80
32	19,75	7,90	4,00	2,34
33	49,50	12,90	4,90	4,68
34	17,65	7,40	5,20	2,51
35	24,25	8,80	5,00	2,76
36	13,55	4,80	1,30	2,16
37	21,10	8,00	4,40	2,12

Onde: dap_m: diâmetro à altura do peito médio (cm); h: altura total (m); hic: altura de inserção da copa (m); rc_m: raio de copa médio (m). Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Com os dados das variáveis dendrométricas medidas em campo, os índices morfométricos: raio médio (\bar{rc}), área de projeção da copa (Ac), comprimento de copa (Cc), grau de esbeltez (GE) diâmetro de copa (Dc), proporção de copa ($Pc\%$), formal de copa (Fc), índice de saliência (IS), índice de abrangência (IA) foram calculados de acordo com as equações:

$$\bar{rc} = \sum_{i=1}^{n=4} \frac{rc}{4} \quad (1)$$

$$Ac = (Dc^2 \times \pi) / 4 \quad (2)$$

$$Cc = ht - hic \quad (3)$$

$$GE = ht / dap \quad (4)$$

$$Dc = 2 \times \bar{rc} \quad (5)$$

$$Pc\% = (Cc / ht) \times 100 \quad (6)$$

$$Fc = Dc / Cc \quad (7)$$

$$IS = Dc / dap \quad (8)$$

$$IA = Dc / ht \quad (9)$$

Onde: \bar{rc} : raio médio (m); Ac : área de copa (m²); Dc : diâmetro de copa (m); Cc : comprimento de copa (m); ht : altura total (m); hic : altura de inserção (m); GE : grau de esbeltez (adimensional); dap : diâmetro à altura do peito; $Pc\%$: proporção de copa (%); Fc : formal de copa (adimensional); IS : índice de saliência (adimensional); IA : índice de abrangência (adimensional);

Para o agrupamento e apresentação dos resultados, as árvores foram inseridas em classes diamétricas. Segundo Machado (2006) não há uma regra rígida para agrupamento das classes diamétricas. Desta forma, foram fixadas 5 classes de diâmetro (Tabela 3).

Tabela 3. Distribuição das árvores nas classes diamétricas

Classes diamétricas (cm)	FO
≤25	6
26 ---- 35	10
35 ---- 45	8
45 ----65	5
≥65	8
Total	37

Onde: FO: Frequência observada. Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

1.2.4 Incremento periódico anual

Foram retirados dois rolos de incremento à altura do peito perpendiculares entre si, fixados em um porta bagueta de madeira, polidos e marcados os anéis de crescimento. A partir das marcações dos anéis de crescimento foi medido o incremento anual em diâmetro. Foi utilizado o aparelho de medição digital Lintab-6 com precisão de 0,01 mm com suporte do software Time Series Analyzes (TSAP - Win), com procedimento de datação cruzada. O incremento periódico anual em diâmetro (IPA_d) para um período de 5 anos foi calculado de acordo com a equação:

$$IPA_d = (dap - dap_t)/t \quad (10)$$

Onde: IPA_d : incremento periódico anual em diâmetro (cm); dap : diâmetro à altura do peito obtido no final do período (cm); dap_t : diâmetro à altura do peito obtida no início do período (cm); t : período de tempo considerado, neste estudo foi de cinco anos ($t = 10$).

1.2.5 Processamento dos dados e análise estatística

Foi realizada a estatística descritiva das variáveis dendrométricas/morfométricas. Para o processamento de dados foram utilizados os softwares Microsoft Office Excel® 365 Pro Plus. Para verificar a variação da produção de grimpas ao longo do ano foi aplicado o Teste de médias de Scott-Knott. A avaliação de correlação existente entre as variáveis dendrométricas e morfométricas com a quantidade de grimpas, e entre as variáveis climáticas com a quantidade

de grimpas foi aplicado o coeficiente de correlação linear de Pearson, considerando-se nível de significância a 5% probabilidade de erro.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

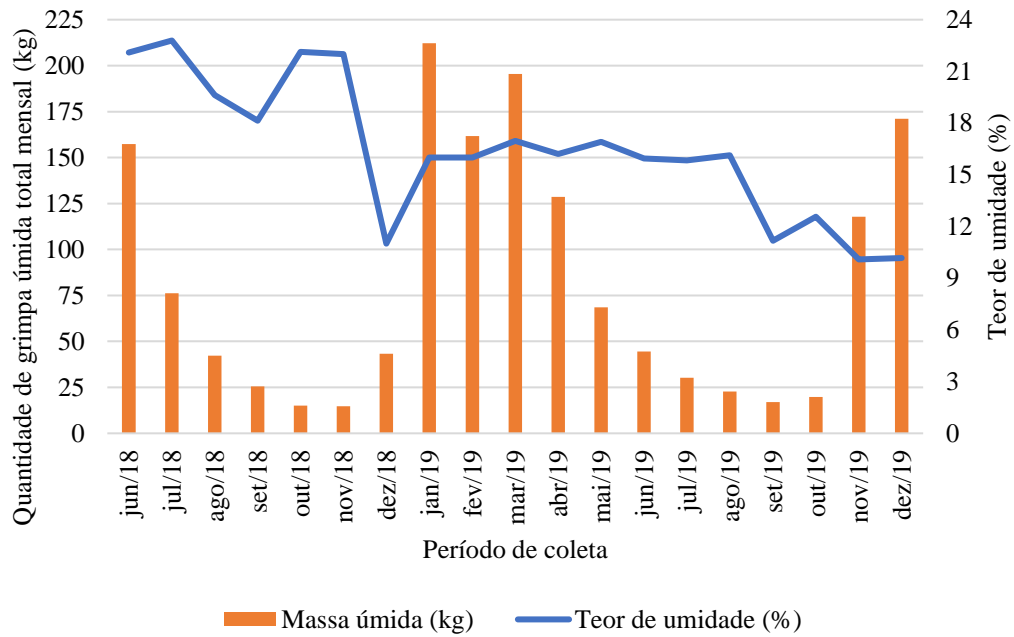
1.3.1 Quantificação das grimpas e variações da produção ao longo do ano em árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livre

Os resultados de quantificação da produção de grimpas em árvores de crescimento livre apresentados neste trabalho, tem caráter inédito, pois os trabalhos já publicados na área de quantificação de grimpas objetivaram estimar a biomassa nos diferentes componentes das árvores no sub-bosque e na serapilheira acumulada sobre o solo em plantios de *Araucaria angustifolia* (SCHUMACHER et al., 2011); estimar biomassa e carbono orgânico em floresta com araucária (WATZLAWICK et al., 2009); e as relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em árvores de *Araucaria angustifolia* (SANQUETTA et al., 2003).

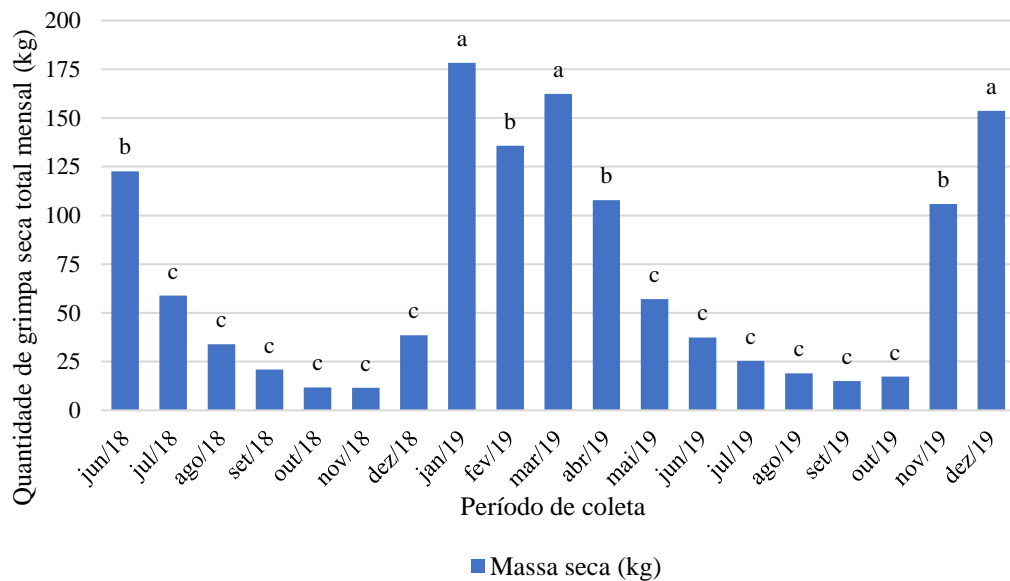
A produção de grimpas na coleta de limpeza da área (coleta acumulada) foi de 468,93 kg de massa úmida para as 37 árvores analisadas, e de 396,40 kg de massa seca. Considerando os 19 meses subsequentes analisados, a massa úmida total produzida foi de 1564,51 kg, representando o valor médio de 42,28 kg/árvore. Quanto à massa seca, a produção total no período foi de 1313,40 kg, sendo o valor médio de 35,50 kg/árvore.

A produção total mensal de grimpas foi maior nos meses de jan/2018, fev/2018, mar/2018 e dez/2019 (Figura 3a), com decréscimo a partir de jun/2018 a nov/2018 e abr/2019 a out/2019. Além disso, houve variação estatística dentro do período de análise para a produção de biomassa seca (Figura 3b).

Figura 3. Produção de massa úmida de grimpã total mensal das árvores de crescimento livre em campo de altitude e sua relação com o teor de umidade da grimpã (a) e produção de massa seca de grimpã total mensal ao longo do período de análise (b).



(a)



(b)

Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

No entanto, o teor de umidade apresentou comportamento inverso, apresentando os maiores valores nos meses de jun/2018 a nov/2018 e redução principalmente nos meses de dezembro, dentro de período de analisado (Figura 3a).

A produção mensal total de grimpas pelas árvores foi afetada de forma mais intensa pela temperatura média mensal (T_m) e pela velocidade média dos ventos (u_m) (Tabela 4). A relação entre a produção de grimpas e temperatura média mensal foi positiva, indicando que quanto maior a temperatura maior foi a produção de grimpas mensal. Já relação da produção de grimpas e a velocidade do vento foi inversa, sendo o oposto do esperado, e indicando que a maior velocidade do vento resultou na menor produção de grimpas pelas árvores dentro das parcelas. Isso por ser explicado pelo tamanho da parcela. Como a parcela se limitou ao perímetro da árvore, é provável com a maior velocidade dos ventos as grimpas foram levadas para fora da projeção da copa, não permanendo dentro da parcela. Portanto, isso indica a necessidade de parcelas maiores, com dimensões além da projeção da copa para a coleta da grimpas.

O teor de umidade das grimpas foi afetado de forma mais intensa e positiva pela umidade relativa do ar, indicando que nos meses com maior umidade relativa do ar, o teor de umidade das grimpas também foi maior. As relações negativas mais intensas foram com a temperatura média do ar e com a radiação solar, indicando que maiores temperatura e radiação solar resultaram em menores teores de umidade das grimpas.

Tabela 4. Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas, produção e teor de umidade das grimpas em árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livre em campo de altitude

	QG	TU	T_m	UR_m	u_m	Rsg_m	Ppt
QG	1	-0,15	0,49	0,15	-0,59	0,14	-0,02
TU	-	1	-0,42	0,45	0,22	-0,40	0,13
T_m	-	-	1	-0,40	0,01	0,79	0,21
UR_m	-	-	-	1	-0,45	-0,83	0,41
u_m	-	-	-	-	1	0,36	-0,01
Rsg_m	-	-	-	-	-	1	-0,06
Ppt	-	-	-	-	-	-	1

Onde: QG: quantidade total mensal de todas as árvores (kg/ mês); TU: teor de umidade na base úmida mensal da grimpas (%); T_m : temperatura do ar média mensal ($^{\circ}C$); UR_m : umidade relativa do ar média mensal (%); u_m : velocidade do vento média mensal (km/h), Rsg_m : radiação média mensal (W/m^2); Ppt : precipitação pluviométrica total mensal (mm). Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

1.3.2 Relações das variáveis morfométricas e dendrométricas com a produção de grimpas em árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livre em campo de altitude

Os parâmetros dendrométricos, morfométricos e a quantidade de grimpas verificados no estudo são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Variáveis dendrométricas, morfométricas e quantidade de grimpas das trinta e sete árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livres em campo de altitude

Variável	Média	Mínimo	Máximo	CV (%)
dap	39,82	13,10	84,85	38,27
ht	11,56	4,80	17,90	27,78
hic	5,28	1,00	16,40	51,71
Ac	67,32	6,16	185,66	66,61
Cc	6,28	1,50	11,70	41,21
GE	30,92	16,15	48,09	21,44
Dc	8,73	2,80	15,38	35,67
Pc	54,97	8,38	84,13	28,70
Fc	1,65	0,53	8,50	78,80
IS	22,39	18,12	31,92	14,88
IA	0,76	0,44	1,51	25,89
QG _{úmida}	42,28	1,65	131,50	83,19
QG _{seca}	35,52	1,39	112,07	83,45

Onde: dap: diâmetro à altura do peito (cm); ht: altura total (m); hic: altura de inserção de copa (m); rc: raio de copa (m); Ac: área de copa (m²); Cc: comprimento de copa (m); GE: grau de esbeltez; Dc: diâmetro de copa (m); Pc%: percentual de copa (%); Fc: formal de copa; IS: Índice de Saliência; IA: Índice de Abrangência; QG_{úmida}: quantidade total de grimpas úmidas produzidas no período de 19 meses por cada árvore (kg); QG_{seca}: quantidade total de grimpas secas produzidas no período de 19 meses por cada árvore. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

No trabalho desenvolvido por Costa e Finger (2017) que avaliaram o efeito da competição nas relações dimensionais de araucária, em árvores de crescimento livre (115 árvores) em comparação com árvores em competição de florestas (307 árvores) (Tabela 6), pode-se perceber que os valores de todas as variáveis analisadas foram muito próximos entre si, em ambos os trabalhos desenvolvidos.

Tabela 6. Comparação entre os dados obtidos neste trabalho com árvores de crescimento livre analisadas por Costa e Finger (2017) na mesma região de estudo

Características morfométricas	dap (cm)	ht (m)	hic (m)	Cc (m)	
Autora (2019)	Mínimo	13,10	4,80	1,00	1,50
	Média	39,82	11,56	5,28	6,28
	Máximo	84,85	17,90	16,40	11,70
	CV (%)	38,27	27,78	51,71	41,21
Costa e Finger (2017)	Mínimo	18,00	7,30	1,90	1,70
	Média	41,60	12,50	5,10	7,50
	Máximo	68,10	18,00	13,80	13,70
	CV (%)	24,90	20,90	41,30	41,80

Fonte: Elaborado pela autora, 2019

O diâmetro à altura do peito (dap) (Tabela 6) mostrou grande amplitude de distribuição. O mesmo também foi observado, tanto em floresta nativa (KLEIN et al., 2017) como plantada (DA SILVA et al., 2017). Em remanescente florestal nativo, Klein et al., (2017) registraram dap médio de 22,28 cm em árvores dominadas e de até 53,69 cm em árvores dominantes. Da Silva et al. (2017) avaliou as variáveis morfométricas em um plantio homogêneo com aproximadamente 40 anos, sendo avaliadas 281 árvores, que foram divididas em 6 classes diamétricas, com intervalos de 10 cm, desde 15 cm (Classe I) até ≥ 65 cm (Classe VI). Neste plantios homogêneos foram mensurados daps médios de 21,3 até 74,6 cm em diferentes classes diamétricas (DA SILVA et al., 2017). A variação de diâmetro é elevada, independentemente da árvore crescer de forma específica ou como componente florestal.

Com relação à altura total (ht) das árvores, as mesmas são relativamente baixas quando comparadas com árvores provenientes de plantios de araucárias ou florestas nativas de araucárias. Da Silva et al. (2017) obteve alturas médias em um plantio de araucária de 40 anos, que variaram de 18,4 m (árvores com 15 a 25 cm de dap) a 25,9 m (árvores com mais de 65 cm de dap). Em uma floresta nativa de araucária, na mesma região de estudo, foram mensuradas alturas médias que variaram de 14,65 m, nas árvores dominadas, a 17,95 m nas árvores dominantes (KLEIN et al., 2017). Já as árvores de crescimento livre mensuradas por Costa e Finger (2017) tiveram os valores médio e máximo muito próximos aos obtidos neste trabalho.

A altura de inserção da copa (hic) foi baixa em comparação com árvores tanto de floresta nativa, que variou de 9,33 a 10,7 m (KLEIN et al., 2017) e com relação a floresta plantada, que variou de 15 a 20,7 m (DA SILVA et al., 2017). Porém, os valores foram similares ao observado por Costa e Finger (2017) para árvores de crescimento livre. Devido a ausência de competição no crescimento livre a altura de inserção da copa foi bem menor que nos demais casos de crescimento da espécie. Costa e Finger (2017), comparando árvores crescendo na floresta com árvores de crescimento livre concluíram que a diminuição da competição de árvores aumenta o comprimento de copa e reduz a altura do ponto de inserção da copa.

O comprimento da copa (Cc) foi muito semelhante ao observado para árvores em sistemas florestal nativo de araucárias, cujos valores médios variaram de 5,07 a 7,96 m (KLEIN et al., 2017), e superior a árvores de plantios, cujos valores médios variaram de 3,5 a 5,1 m (DA SILVA et al., 2017).

A área de copa (Ac) foi superior ao observado em árvores de plantios (DA SILVA et al., 2017), que variaram de 6,1 a 51,8 m em diferentes classes diamétricas.

O grau de esbeltez caracteriza a estabilidade das árvores, indicando que quanto mais alto o grau de esbeltez, mais instável é a árvore (DA SILVA et al., 2017). O grau de esbeltez das árvores foi menor, tanto na comparação com árvores de plantio que variou de 34 a 88 (DA SILVA et al., 2017) como para áreas nativas, que variou de 33 a 73 (KLEIN et al., 2017). Portanto, as árvores de crescimento livre são mais estáveis que as outras formas de crescimento da espécie.

O diâmetro da copa (D_c) das árvores de crescimento livre foi similar ao observado em árvores de plantios por Da Silva et al., (2017) que obtiveram valores 5,3 a 16,2 m e árvores de florestais nativas (KLEIN et al., 2017), que variou de 5,53 a 11,13 m.

Segundo Durlo e Denardi (1998) a proporção da copa indica a vitalidade das árvores, quanto maior este índice melhor é a qualidade da copa. As araucárias de crescimento livres apresentaram índice elevado de proporção de copa comparativamente a floresta nativa, de 32,48 a 50,42 (KLEIN et al., 2017) e plantada, 15,0 a 21,1 (DA SILVA et al., 2017).

O formal de copa (F_c) fornece o grau de achatamento das copas. Valores abaixo de 1 caracterizam copas esbeltas e valores acima de 1 caracterizam copas achatadas, sendo que quanto menor for esse índice, melhor será a produtividade da árvore em termos de produção madeireira. No entanto, copas achatadas são uma característica comum em indivíduos adultos para a espécie *Araucaria angustifolia* (DA SILVA et al., 2017). Os autores obtiveram valores médios de 2,3 a 4,0, superior ao obtido para as araucárias de crescimento livre aqui avaliadas, indicando que as copas são menos achatadas que as árvores que crescem dentro de florestas plantadas. Para florestas nativas, o formal foi similar aos valores obtidos por Klein et al. (2017) (1,08 a 1,88).

O índice de saliência (IS) expressa quantas vezes o diâmetro de copa é maior que o dap (DA SILVA et al., 2017). O índice de saliência foi semelhante aos valores médios obtidos tanto para formação florestal nativa (19,82 a 26,49) (KLEIN et al., 2017), quanto para plantio homogêneo (21,4 a 25,1). Portanto, o local de crescimento das árvores não afetou a relação entre a copa e o diâmetro da árvore.

O índice de abrangência (IA) é calculado pela relação entre o diâmetro de copa e a altura total da árvore (DA SILVA et al., 2017). O valor médio do índice de abrangência das árvores de crescimento livre foi superior tanto em comparação com árvores de plantios (0,29 a 0,62) (DA SILVA et al., 2017), como com árvores em floresta nativa (0,34 a 0,71) (KLEIN et al., 2017). Isso ocorreu em função da menor altura das árvores, pois o diâmetro da copa foi similar ao observado por outros autores para árvores que crescem em florestas.

A produção de grimpas teve correlação negativa com o grau de esbeltez das árvores, indicando que quanto maior o valor deste índice, maior foi a produção de grimpas (Tabela 7). Portanto, árvores mais estáveis produzem maior quantidade de biomassa na forma de grimpas mensalmente. Já as correlações positivas mais importantes foram obtidas com o dap, raio da copa, área da copa e índice de abrangência. Portanto, árvores com maiores diâmetros e copas produzem maior quantidade de grimpas, independentemente da forma da copa, altura da inserção da copa ou altura total das árvores.

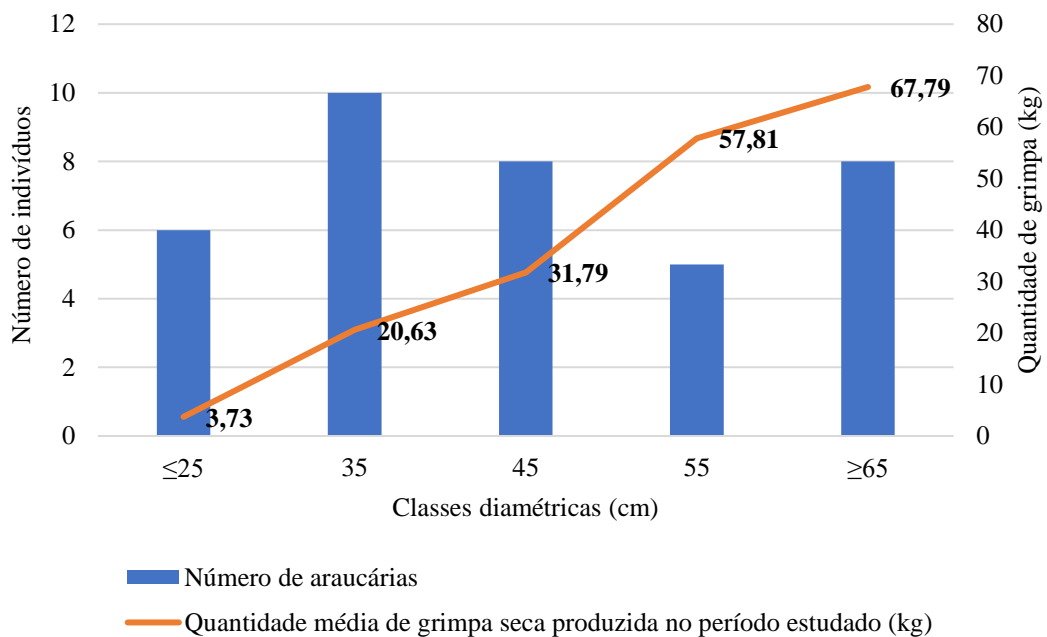
Tabela 7. Correlação de Pearson para as variáveis dendrométricas, morfométricas e quantidade de grimba das 37 árvores de *Araucaria angustifolia* de crescimento livres em campos de altitude

	QG	dap	ht	hic	rc	Cc	Ac	Pc%	Fc	IA	IS	GE	IPA_d
QG	1	0,70	0,39	0,07	0,67	0,42	0,64	0,20	0,06	0,58	-0,26	-0,74	0,12
dap	-	1	0,81	0,52	0,93	0,45	0,92	-0,10	0,31	0,47	-0,37	-0,77	-0,16
ht	-	-	1	0,63	0,76	0,58	0,73	-0,14	0,32	-0,01	-0,33	-0,32	-0,13
hic	-	-	-	1	0,56	-0,27	0,57	-0,82	0,84	0,07	0,00	-0,18	-0,48
rc	-	-	-	-	1	0,36	0,98	-0,19	0,41	0,62	-0,04	-0,73	-0,31
Cc	-	-	-	-	-	1	0,31	0,68	-0,49	-0,08	-0,40	-0,21	0,34
Ac	-	-	-	-	-	-	1	-0,20	0,43	0,62	-0,02	-0,69	-0,27
Pc%	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,75	-0,05	-0,23	0,01	0,65
Fc	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,24	0,19	-0,16	-0,38
IA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,32	-0,78	-0,29
IS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,24	-0,39
GE	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0,24
IPA_d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Onde: QG: quantidade de grimba (kg); dap: diâmetro à altura do peito (cm); ht: altura total (m); hic: altura de inserção de copa (m); rc: raio da copa (m); Cc: comprimento de copa (m); Ac: área de copa (m²); Pc%: percentual de copa (%); Fc: formal de copa; IA: Índice de Abrangência; IS: Índice de Saliência; GE: grau de esbeltez; IPA_d: Incremento periódico anual (cm). Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A influência do dap na produção de grimba pode ser também visualizada na Figura 4 que ilustra a distribuição de frequência dos indivíduos e a quantidade média de grimba produzida em kg por classe de diâmetro. A maior quantidade de grimpas foi observada nas classes superiores (acima de 45 cm), aumentando progressivamente com o aumento do diâmetro das árvores.

Figura 4. Relação entre a distribuição diamétrica dos indivíduos de *Araucaria angustifolia* e a produção de grimba anual



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Com relação ao incremento periódico anual (IPA) baseado no dap dos últimos cinco anos de crescimento das árvores, o valor médio obtido para as 37 árvores foi de 0,66 cm para um dap médio de 39,8 cm, medido em 2018, variando de 0,32 a 1,61 cm.

De Mattos et al. (2007) analisando o potencial dendrocronológico de seis espécies da Floresta Ombrófila Mista obteve valores de $IPA_{(dap)}$ dos últimos 10 anos de crescimento de árvores de *Araucaria angustifolia* variando de 0,5 a 1,3 cm, sendo que as árvores mais velhas tiveram os menores valores de IPA comparativamente as mais jovens. Além disso, esta espécie se destacou com os maiores valores de IPA comparativamente às outras estudadas. Portanto, o valor obtido neste trabalho está dentro do observado para a espécie.

1.4 CONCLUSÕES

- ✓ A produção de grimpas variou de forma significativa ao longo do ano, sendo maior nos meses de verão e menor na primavera;
- ✓ O teor de umidade das grimpas variou ao longo do ano, tendo comportamento inverso da produção da grimpas, apresentando os maiores valores nos períodos de inverno e redução principalmente no mês de dezembro.
- ✓ A produção de grimpas foi afetada pela temperatura média mensal do ar, sendo maior nos meses mais quentes.
- ✓ A velocidade média mensal do vento apresentou relação inversa com a produção de grimpas, indicando que o tamanho da parcela para a coleta deve ser aumentada em estudos futuros, para impedir o carregamento das grimpas para fora da parcela pelo vento.
- ✓ O teor de umidade das grimpas foi afetado de forma direta pela umidade relativa do ar e de forma indireta pela temperatura média do ar e pela radiação solar.
- ✓ As árvores tiveram elevada amplitude de dap, alturas menores que árvores que crescem em formações florestais, com fustes curtos, estáveis e com alta vitalidade, e copas menos achatadas que de árvores de crescimento florestal.
- ✓ A produção de grimpas foi afetada de forma direta pelo dap, diâmetro da copa, área da copa e índice de abrangência e de forma inversa pelo grau de esbeltez das árvores.
- ✓ As árvores com os maiores diâmetros e copas produziram as maiores quantidades de grimpas, independentemente da forma da copa, altura da inserção da copa ou altura total das árvores.

1.5 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., & SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 22(6), 711-728. 2013. Acessado em: Agosto de 2019, Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2003.

BAVARESCO, L. H. et al. “Grimpa” de *Araucaria angustifolia* como causa de morte em bovinos. Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI), X, 2017, Santa Catarina, Camboriú, Brasil, Anais eletrônicos... Instituto Federal Catarinense, 2017, 5 p. Disponível em:

<http://eventos.fabricadesoftware.ifc.edu.br/media/upload/submissao/2017/09/20/2017-grimpa-de-araucaria-angustifolia-como-causa-de-mo_3e00Ewp.pdf>. Acesso em: jun. 2018.

BRAND, M.A.; JACINTO, R.C.; CUNHA, A.B. Qualidade de pellets de galhos secos de araucária e partículas de pinus. **Energia na Agricultura**, vol. 33, n.4, p. 303-312, 2018.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 246, seção 1, p. 1-4, 26 dez. 2006.

COSTA, E. A., FINGER, C. A. G. Efeito da competição nas relações dimensionais de Araucária. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-11, 2017.

DA SILVA, F. A., DE OLIVEIRA FORTES, F., RIVA, D., SCHORR, L. P.

B. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na Região Norte do Rio Grande do Sul. **Advances in Forestry Science**, v. 4, n. 3, p. 143-146, 2017.

DE MATTOS, P. P., DOS SANTOS, A. T., DE OLIVEIRA, Y. M. M., & ROSOT, M. A. D. Dendrocronologia de espécies da floresta ombrófila mista do município de Candói, Pr. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 54, p. 153-156, 2007.

DURLO, M. A; DENARDI, L.; Morfometria de Cabrela canjerana em mata secundária nativa do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, 1998, p. 55-66.

EPAGRI. Centro de Informação de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina. Estação Campo Belo do Sul, 2019.

EVANGELISTA, C. M. et al. “Grimpa” de *Araucaria angustifolia* como causa de morte por insuficiência respiratória em bovinos. **Encontro Nacional de Diagnóstico Veterinário**

(ENDIVET), VII, 2014, Mato Grosso, Cuiabá, Brasil, Anais eletrônicos...Bahia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, 2014, 2 p. Disponível em:

<<https://www2.ufrb.edu.br/apa/component/phocadownload/category/8-miscelanea>>. Acesso em: mar. 2018.

HESS, A. F., CALGAROTTO, A. R., PINHEIRO, R., & WANGINIAC, T. C. R. Proposta de manejo de *Araucaria angustifolia* utilizando o quociente de Liocourt e análise de incremento, em propriedade rural no município de Lages, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 337, 2010.

HIGUCHI, P., DA SILVA, A. C., DE SOUZA FERREIRA, T., DE SOUZA, S. T., GOMES, J. P., DA SILVA, K. M., ... & DA SILVA PAULINO, P. Influência de variáveis ambientais sobre o padrão estrutural e florístico do componente arbóreo, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana em Lages, SC. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 79-90, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2012.

KLEIN, D. R., HESS, A. F., KREFTA, S. M., VIEIRA FILHO, M. D. H., CIARNOSCKI, L. D., COSTA, E. A. Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 501-512, 2017.

MACHADO, S.A; **Dendrometria**. 2ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2006.

SANQUETTA, C. R., WATZLAWICK, L. F., SCHUMACHER, M. V., & DE MELLO, A. A. Relações individuais de biomassa e conteúdo de carbono em plantações de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* no sul do estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 1, n. 3, p. 33-40, 2003.

SCHUMACHER, M. V., WITSCHORECK, R., CALIL, F. N., LOPES, V. G., & VIERA, M. Produção de biomassa no corte raso em plantio de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze de 27 anos de idade em Quedas do Iguaçu, PR. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 53-62, 2011.

WATZLAWICK, L. F., KIRCHNER, F. F., & SANQUETTA, C. R. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009.

ZANETTE, F., DANNER, M. A., CONSTANTINO, V., & WENDLING, I. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. (Ed.). **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília, DF : Embrapa, 2017. p. 13-39.

ANEXO A - GPS DAS 37 ARAUCÁRIAS UTILIZADAS NO ESTUDO

Árvore	Coordenadas geográficas
1	Lat: 27° 45' 12,2" S Long: 50° 25' 05,7" W Alt: 950 m
2	Lat: 27° 45' 12,4" S Long: 50° 25' 04,5" W Alt: 948 m
3	Lat: 27° 45' 24,3" S Long: 50° 24' 59,0" W Alt: 912 m
4	Lat: 27° 45' 25,3" S Long: 50° 25' 03,1" W Alt: 911 m
5	Lat: 27° 45' 04,6" S Long: 50° 25' 07,0" W Alt: 952 m
6	Lat: 27° 45' 19,5" S Long: 50° 25' 19,9" W Alt: 946 m
7	Lat: 27° 45' 17,7" S Long: 50° 25' 20,5" W Alt: 941 m
8	Lat: 27° 45' 15,8" S Long: 50° 25' 20,2" W Alt: 942 m
9	Lat: 27° 44' 41,1" S Long: 50° 25' 48,9" W Alt: 989 m
10	Lat: 27° 44' 27,9" S Long: 50° 25' 59,1" W Alt: 1032 m
11	Lat: 27° 44' 33,3" S Long: 50° 25' 57,9" W Alt: 1031 m
12	Lat: 27° 44' 33,8" S Long: 50° 25' 57,8" W Alt: 1032 m
13	Lat: 27° 45' 21,5" S Long: 50° 25' 24,7" W Alt: 956 m
14	Lat: 27° 45' 21,3" S Long: 50° 25' 24,2" W Alt: 949 m
15	Lat: 27° 45' 24,5" S Long: 50° 25' 21,9" W Alt: 959 m
16	Lat: 27° 45' 24,8" S Long: 50° 25' 21,5" W Alt: 960 m
17	Lat: 27° 45' 25,0" S Long: 50° 25' 21,1" W Alt: 959 m
18	Lat: 27° 45' 24,6" S Long: 50° 25' 23,8" W Alt: 950 m
19	Lat: 27° 45' 27,5" S Long: 50° 25' 23,1" W Alt: 956 m
20	Lat: 27° 45' 27,8" S Long: 50° 25' 21,5" W Alt: 961 m
21	Lat: 27° 45' 31,0" S Long: 50° 25' 29,6" W Alt: 953 m
22	Lat: 27° 45' 31,3" S Long: 50° 25' 29,4" W Alt: 954 m
23	Lat: 27° 45' 31,8" S Long: 50° 25' 29,7" W Alt: 953 m
24	Lat: 27° 45' 31,7" S Long: 50° 25' 30,6" W Alt: 947 m
25	Lat: 27° 45' 32,7" S Long: 50° 25' 30,8" W Alt: 945 m
26	Lat: 27° 45' 33,1" S Long: 50° 25' 30,5" W Alt: 948 m
27	Lat: 27° 45' 34,5" S Long: 50° 25' 29,5" W Alt: 961 m
28	Lat: 27° 45' 33,6" S Long: 50° 25' 28,1" W Alt: 969 m
29	Lat: 27° 45' 34,2" S Long: 50° 25' 28,0" W Alt: 969 m
30	Lat: 27° 45' 38,8" S Long: 50° 25' 30,7" W Alt: 954 m
31	Lat: 27° 45' 42,3" S Long: 50° 25' 37,7" W Alt: 967 m
32	Lat: 27° 45' 43,3" S Long: 50° 25' 38,8" W Alt: 965 m
33	Lat: 27° 45' 36,2" S Long: 50° 25' 29,8" W Alt: 952 m
34	Lat: 27° 45' 31,4" S Long: 50° 25' 23,2" W Alt: 970 m
35	Lat: 27° 45' 31,1" S Long: 50° 25' 27,5" W Alt: 961 m
36	Lat: 27° 45' 09,7" S Long: 50° 25' 22,7" W Alt: 938 m
37	Lat: 27° 45' 16,0" S Long: 50° 25' 30,4" W Alt: 939 m

2. CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA BIOMASSA ACÚCULADA DE ARAUCÁRIAS DE CRESCIMENTO LIVRE EM CAMPO DE ALTITUDE

2.1 INTRODUÇÃO

A *Araucaria angustifolia* é uma espécie da Floresta Ombrófila Mista, inserida no bioma Mata Atlântica, com ocorrências nas regiões Sul do Brasil, também conhecida como pinheiro brasileiro (MATTOS, 2011). Devido a sua importância econômica, a *Araucaria angustifolia* foi intensamente explorada no passado, sendo atualmente protegida por lei (DANNER et al., 2012). Sua madeira possui excelente trabalhabilidade e alta qualidade, adequada desta forma para a produção de madeira serrada e laminada. A espécie era utilizada na fabricação de diversos produtos, como movelaria, caibros, carpintaria, formas para concreto, marcenaria, compensados, pranchas, postes, mastros de navios, entre outros (RIOS et al., 2015; WENDLING et al., 2009).

Além disso, atualmente esta espécie apresenta potencial florestal não madeireiro, como a utilização da semente da araucária, um alimento considerado nutritivo e energético, e das grimpas que caem no solo ao longo de todo o ano (RIOS et al., 2015; ZANETTE et al., 2017).

As grimpas podem ser definidas como ramos secundários, flexíveis e têm crescimento antrópico (RIOS et al., 2015; ZANETTE et al., 2017). Segundo Brand et al. (2018b), as grimpas representam uma parcela importante da biomassa produzida pela *Araucaria angustifolia* e constituem um recurso energético possível de utilização na região sul do Brasil.

Watzlawick et al. (2012) quantificaram a biomassa média estocada na Floresta Ombrófila Mista Montana em 250,90 Mg/ha, sendo que a serapilheira acumulada de *Araucaria angustifolia* contribuiu com 8,22% da biomassa de galhos mortos, e juntamente com a *Ocotea porosa* foram as duas espécies que mais contribuíram com a biomassa florestal. Beutling et al. (2005) objetivaram quantificar o material combustível existente na superfície de reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* e concluíram que a ¹“miscelânea” (38,6%) e a “grimpa” (30,46%) são as classes de maior participação na constituição da carga total.

Com relação à produção de grimpas pelas árvores, a formação da serapilheira (biomassa das árvores que caem sobre o solo ao longo do ano) pode ser afetada por diversos fatores bióticos e abióticos, tais como: tipo de vegetação, altitude, latitude, precipitação, temperatura,

¹Miscelânea: material fino em decomposição, de diâmetro inferior a 0,7 cm, que formava uma massa uniforme cujos elementos já não permitiam uma identificação e classificação seguras (BEUTLING et al., 2005).

regimes de luminosidade, relevo, disponibilidade hídrica, características do solo entre outros. Em função das características do ecossistema um ou mais dos fatores anteriormente citados podem se sobressair sobre os demais fatores analisados (CALVI et al., 2009).

Com relação à caracterização dos componentes da árvore, poucos estudos foram realizados até o momento (RIOS et al., 2015; HACKBARTH et al., 2018; BRAND et al., 2018b). A composição química das grimpas de *Araucaria angustifolia* foi analisada por Rios et al. (2015) para verificar a potencialidade do uso deste material para a produção de painéis reconstituídos compostos por misturas de madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e galhos secos de *Araucaria angustifolia*. Hackbarth et al. (2018) caracterizaram o perfil da composição de aminoácidos presente no tronco, ramo e grimpas da *A. angustifolia*, para determinar se existem diferenças entre eles. Somente o estudo de Brand et al. (2018b) foi voltado a qualidade energética das grimpas. Esta pesquisa caracterizou as grimpas, com o objetivo de confeccionar *pellets* a partir de diferentes misturas desta biomassa com partículas de *Pinus*.

No contexto da geração de energia, deve-se considerar que as regiões de ocorrência natural da araucária possuem clima temperado com invernos rigorosos, de acordo com a classificação de Köppen. Em função desta condição climática, uma alternativa de uso dos resíduos da araucária seria sua aplicação energética, como um combustível alternativo para sistema de aquecimento residencial ou comercial. Além disso, a aplicação energética poderia se dar principalmente na forma de combustível sólido, minimizando assim as etapas de tratamento prévio antes do uso.

Partindo dessa premissa, é importante a realização de estudos para verificar a viabilidade da utilização das grimpas como biomassa alternativa, visto que é residual, disponível e com potencialidade para melhorar a qualidade de vida dos produtores rurais e geração de renda adicional.

Desta forma, as hipóteses deste capítulo foram que: (a) a biomassa de grimpas produzida pela espécie *Araucaria angustifolia* tem qualidade adequada para a utilização energética e que (b) as diferentes épocas do ano interferem na qualidade energética desta biomassa. Assim, os objetivos deste capítulo foram de (a) caracterizar energeticamente a biomassa da araucária (grimpas) produzida anualmente por árvores de crescimento livre em campos de altitude na região serrana de Santa Catarina e (b) determinar a influência das condições climáticas na qualidade energética da grimpas.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

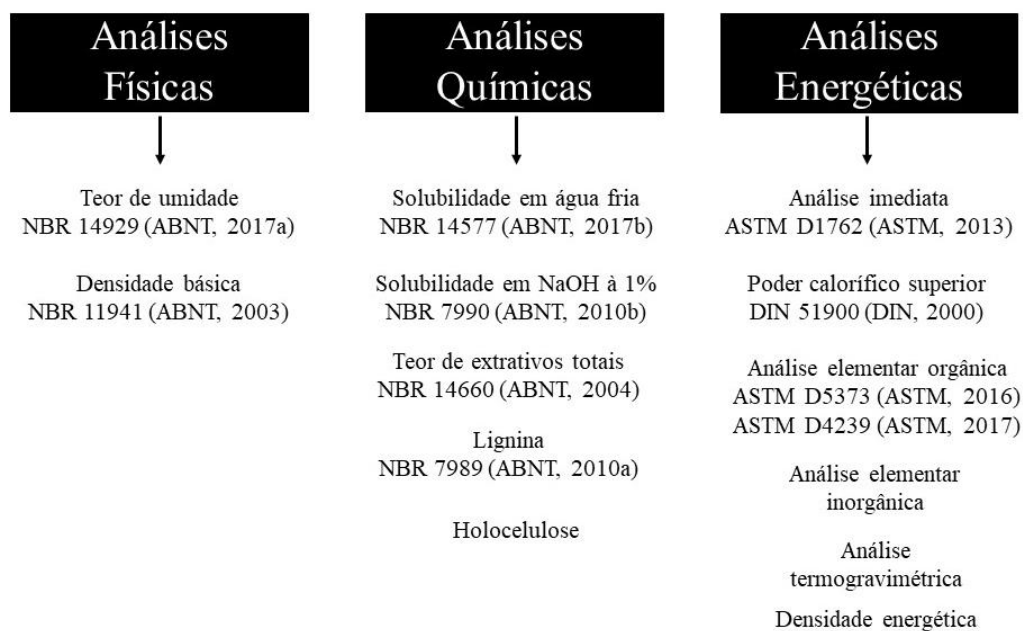
Os materiais utilizados foram as grimpas da *Araucaria angustifolia*, de 37 árvores de crescimento livre em campos de altitude, no município de São José do Cerrito-SC, na fazenda experimental da EPAGRI (27°45'19,5"S e 50°25'19,9"W). A primeira coleta foi realizada em junho/2018, totalizando 12 coletas mensais.

Entre os meses de abril e maio de 2018 foram demarcadas as 37 árvores e realizada uma coleta de limpeza da área estudada, conforme mencionado no Capítulo 1.

Além da análise da amostra de grimpas acumulada, a amostragem da grimpas produzida mensalmente pelas araucárias foi composta por porções variáveis de cada uma das 37 árvores amostradas. As grimpas coletadas no campo foram acondicionadas em sacos plásticos, para não haver variação no teor de umidade. Posteriormente em laboratório foi determinado o teor de umidade do material recém coletado.

Para a caracterização física, química e energética (Figura 5), a biomassa foi moída em moinho de martelo com abertura de tela de 5 mm. Após moagem, a serragem utilizada nas análises foi a que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida em peneira de 60 mesh. A serragem foi acondicionada em câmara climatizada com $65\% \pm 2$ de umidade relativa e temperatura de $22^{\circ}\text{C} \pm 2$, até atingir a umidade de equilíbrio de 12 %.

Figura 5. Fluxograma da caracterização física, química e energética da biomassa aciculada de *Araucaria angustifolia*



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Com relação às análises não normatizadas, dentre as propriedades energéticas, a análise termogravimétrica (TGA) foi realizada na biomassa *in natura* e na lignina residual, obtida no procedimento de determinação da lignina insolúvel em ácido (ABNT, 2010a). Para determinar o comportamento térmico do material foi utilizada uma termobalança gravimétrica, TGA 2000 da marca NAVAS Instruments. A combustão foi realizada sob condição de ar atmosférico, taxa de aquecimento de 10 °C/min, desde a temperatura ambiente até 1000 °C, até massa residual contante. As curvas termogravimétricas (TG), para a perda de massa, foram definidas em função da temperatura. A primeira derivada (DTG) representada por dM/dT , foi utilizadas para avaliar a velocidade da perda de massa.

O procedimento adotado para a análise elementar inorgânica seguiu a metodologia descrita por Henne et al (2020) com algumas alterações. Desta forma o procedimento consistiu em calcinar as amostras à 525°C, durante 8 a 10 horas. Posteriormente, foram pesados 50mg de cada amostra, acondicionados em tubos individuais contendo 3 ml de HNO₃ (ácido nítrico) 65%, 2 ml de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) 30%, para digestão inicial das amostras, mantendo esta mistura durante 48 horas para reação. Em seguida, as amostras foram colocadas em Microondas Anton Paar Multiwave 3000 com curva de temperatura chegando a 160°C durante 1 hora. Após este período as amostras foram resfriadas e transferidas para tubos calibrados de 50 ml, diluídas com 30 ml de água destilada e colocados na centrifuga a 4000 rpm por 10

minutos, para separar os materiais sólidos que ainda permaneceram na amostra. A parte líquida foi transferida para tubos calibrados de 50 ml. Em seguida, ao material sólido foi adicionado 2 ml de HF(ácido fluorídrico) 40% e mantido durante 72 horas para reação. Após este período foi adicionado 20 ml de H₃BO₃ (ácido bórico) 4% para neutralização, seguida de diluição com água destilada até 30 ml. Esta solução foi utilizada para determinação elementar, utilizando espectrometria de emissão óptica, com plasma individualmente acoplado (ICPOES), PerkinElmer Modelo Optima 8300.

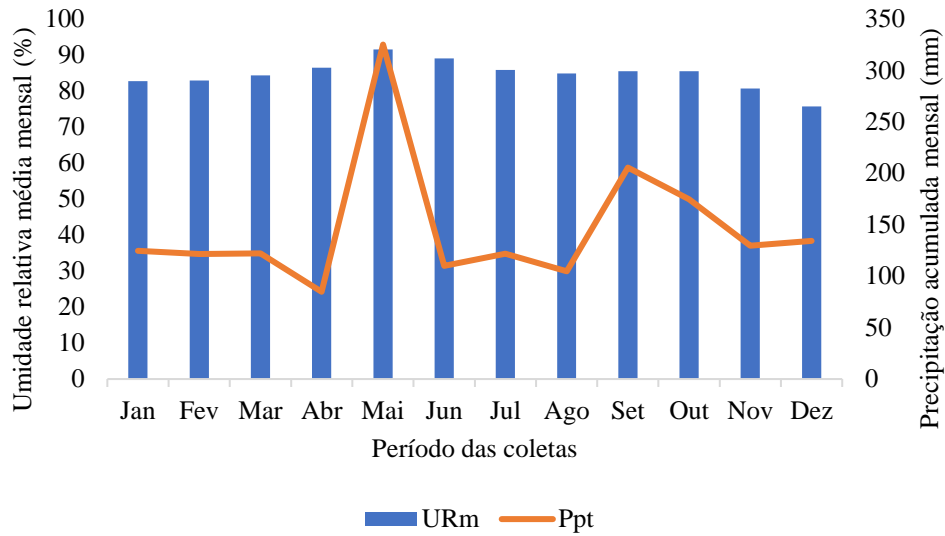
As concentrações de K foram determinadas por emissão atômica em fotômetro de chama modelo DM-62 (Digimed®). O procedimento de preparo da amostra seguiu a mesma metodologia adotada pela técnica de ICPOES descrita anteriormente.

A densidade energética (DE) foi calculada pelo produto entre o poder calorífico superior (PCS) e a densidade básica (DB).

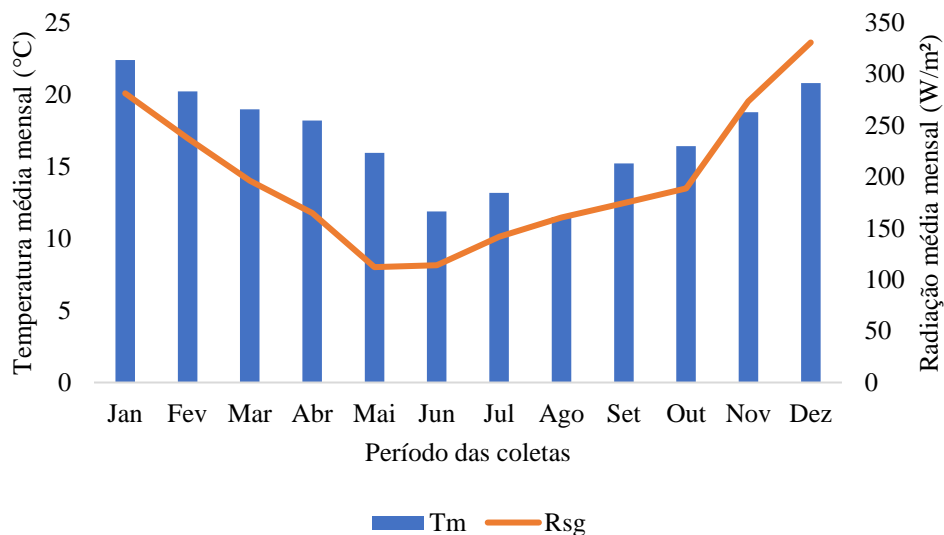
O teor de holocelulose (TH) foi obtido por diferença, onde: $TH = 100 - (\text{Extrativos totais (\%)} + \text{cinzas (\%)} + \text{Teor de lignina (\%)})$.

Para todas as propriedades (exceção análise elementar orgânica), as análises foram realizadas em triplicata para cada amostra, obtidas as médias e coeficiente de variação. Depois da aplicação da ANOVA foi aplicado o teste de médias pelo método Scott Knott a um nível de confiança de 95%. Para estabelecer o nível de correlação entre as variáveis analisadas, foi realizado o Coeficiente de correlação de Pearson entre as propriedades físicas, químicas e energéticas da biomassa e entre as propriedades (químicas e energéticas) e as variáveis climáticas do período de estudo. As variáveis climáticas do período são apresentadas na Figura 6.

Figura 6. Relação da umidade relativa média mensal x precipitação acumulada mensal (a), a relação temperatura média mensal x radiação média mensal (b)



(a)



(b)

Onde: URm: Umidade relativa média mensal (%); Ppt: Precipitação acaumulada mensal (mm); Tm: Temperatura média mensal (°C); Rsg: Radiação média mensal (W/m²); Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O teor de umidade na base úmida (TU) da grimpá, logo após a coleta em campo, foi baixo em todos os meses de estudo, não havendo variação significativa entre os valores médios obtidos (Tabela 8). Segundo Brand (2010), o TU da biomassa para combustão direta deve ser

menor que 30%. Desta forma, as grimpas, do período de 2018/2019, poderiam ser utilizadas diretamente para a geração de energia, sem necessidade de prévia secagem ou tratamento.

Tabela 8. Caracterização física e energética mensal da grimpá durante o período de um ano de coleta

Coleta	TU <i>in natura</i> (%)	DB (kg/m ³)	PCS (kcal/kg)	DE (Mcal/m ³)	TV (%)	TC (%)	TCF (%)
Acum.	15 ^a	218 ^d	4680 ^c	1021 ^b	74,2 ^a	5,6 ^e	20,2 ^b
Jan	16 ^a	231 ^a	4691 ^c	1085 ^a	73,0 ^b	6,2 ^a	20,8 ^b
Fev	16 ^a	223 ^c	4657 ^c	1037 ^b	74,1 ^a	5,3 ^g	20,6 ^b
Mar	17 ^a	224 ^c	4861 ^a	1090 ^a	74,1 ^a	5,5 ^f	20,4 ^b
Abr	16 ^a	230 ^a	4807 ^b	1104 ^a	73,5 ^a	5,9 ^d	20,7 ^b
Mai	17 ^a	222 ^c	4898 ^a	1085 ^a	73,6 ^a	6,0 ^c	20,5 ^b
Jun	22 ^a	211 ^f	4912 ^a	1037 ^b	72,9 ^b	6,2 ^a	20,8 ^b
Jul	23 ^a	205 ^g	4847 ^b	993 ^c	73,5 ^a	6,1 ^b	20,4 ^b
Ago	20 ^a	216 ^e	4830 ^b	1044 ^b	72,9 ^b	6,3 ^a	20,8 ^b
Set	18 ^a	219 ^d	4794 ^b	1048 ^b	72,9 ^b	6,1 ^b	21,0 ^b
Out	22 ^a	205 ^g	4607 ^d	943 ^d	72,1 ^b	5,8 ^d	22,1 ^a
Nov	22 ^a	226 ^b	4599 ^d	1039 ^b	72,4 ^b	5,5 ^f	22,1 ^a
Dez	11 ^a	232 ^a	4714 ^c	1094 ^a	74,6 ^a	5,2 ^g	20,2 ^b
Média Geral	18	220	4761	1048	73,3	5,8	20,8
CV (%)	33,37	1,18	0,96	1,43	0,73	1,17	2,65

Onde: TU: Teor de umidade na base umidade; DB: Densidade básica; TV: Teor de voláteis; TC: Teor de cinzas; TCF: Teor carbono fixo; PCS: Poder calorífico superior; DE: Densidade energética CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa entre as coletas pelo teste de médias de Scott-Knott a um nível de probabilidade de 0,05. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

O reduzido teor de umidade logo após a coleta representa uma vantagem em termos de ganhos energéticos, operacionais e de menor custo quando comparado a outros combustíveis de biomassa lignocelulósica, como a madeira por exemplo. A madeira de espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*, na mesma região de estudo, apresentaram teores de umidade entre 50 e 65% quando recém colhidas, em diferentes épocas do ano (BRAND et al., 2011).

Brand et al. (2018b) avaliaram o potencial do uso das grimpas para a produção de pellets. Os autores registraram o valor médio do TU das grimpas após a coleta em campo, na mesma região de estudo, de 15,34%, um pouco inferior ao encontrado neste trabalho, quando comparado à média geral das coletas (18%). No referido trabalho, os autores inclusive tiveram que adicionar umidade à matéria-prima para a obtenção de *pellets* de qualidade em peletizadora de matriz plana.

A densidade básica das partículas da grimpá, após a moagem em moinho de martelo foi baixa. No entanto, houve variação significativa entre os meses analisados (Tabela 8). A baixa densidade de combustíveis de biomassa é uma desvantagem quando comparado a outros combustíveis, pois reduz sua densidade energética, aumentando o custo de transporte e

manuseio do combustível, necessitando maiores áreas para estocagem (DE PAULA PROTÁSIO et al., 2013). No estudo de De Paula Protásio et al. (2013), que comparou a qualidade energética de diferentes tipos de biomassa com combustíveis fósseis, os autores obtiveram densidade básica de 217,58 kg/m³ para partículas de eucalipto e 232,52 kg/m³ para a casca de arroz. Estes valores foram próximos dos obtidos para grimpá (220 kg/m³), portanto similar as biomassas já tradicionalmente utilizadas para geração de energia, tanto em sistemas de queima direta como para a obtenção de outros produtos energéticos como compactados.

A relação entre a densidade básica e o poder calorífico superior expressa a densidade energética do combustível, sendo uma variável fundamental para a comparação do potencial energético de um novo combustível aos já tradicionalmente utilizados. Da mesma forma que a densidade básica, a densidade energética apresentou variação significativa ao longo dos meses de coleta, no entanto formando um número menor de grupos similares. O comportamento foi similar pois a densidade básica teve maior influência sobre a densidade energética ($R^2= 0,85$) comparado com o poder calorífico superior ($R^2= 0,38$), quando correlacionadas as variações por meio da aplicação do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela 9).

Tabela 9. Correlação de Pearson para as propriedades físicas, químicas e energéticas da grimpá durante um ano de coleta

	DE	PCS	DB	EAF	EAQ	EE	EET	ET	L	TC	TV	TCF	ENaOH _{1%}
DE	1,00	0,38	0,85	0,25	0,48	0,76	0,30	0,50	-0,03	-0,12	0,44	-0,44	0,30
PCS	-	1,00	-0,16	-0,29	-0,12	0,12	-0,23	-0,16	0,24	0,45	0,19	-0,43	-0,28
DB	-	-	1,00	0,44	0,59	0,75	0,46	0,63	-0,18	-0,38	0,37	-0,23	0,47
EAF	-	-	-	1,00	0,88	0,29	0,66	0,81	-0,61	-0,45	0,32	-0,14	0,46
EAQ	-	-	-	-	1,00	0,54	0,69	0,92	-0,49	-0,45	0,49	-0,34	0,45
EE	-	-	-	-	-	1,00	0,48	0,65	0,08	-0,28	0,36	-0,27	0,51
EET	-	-	-	-	-	-	1,00	0,91	-0,30	-0,10	0,24	-0,22	0,56
ET	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,38	-0,31	0,41	-0,31	0,57
L	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,27	-0,23	0,12	0,14
TC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,46	0,03	-0,19
TV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,90	0,29
TCF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,29
ENaOH 1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

Onde: DE: Densidade energética (Mcal/m³); PCS: Poder calorífico superior (kcal/kg); DB: Densidade básica (kg/m³); EAF: Teor de extrativos em água fria (%); EAQ: Teor de extrativos em água quente (%); EE: Teor de extrativos em etanol (%); EET: Teor de extrativos em etanol-tolueno (%); ET: Teor de extrativos totais (%); L: Teor de lignina (%); TC: Teor de cinzas (%); TV: Teor de voláteis (%); TCF: Teor carbono fixo (%); ENaOH_{1%}: Teor de extrativos em hidróxido de sódio à 1% (%); Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

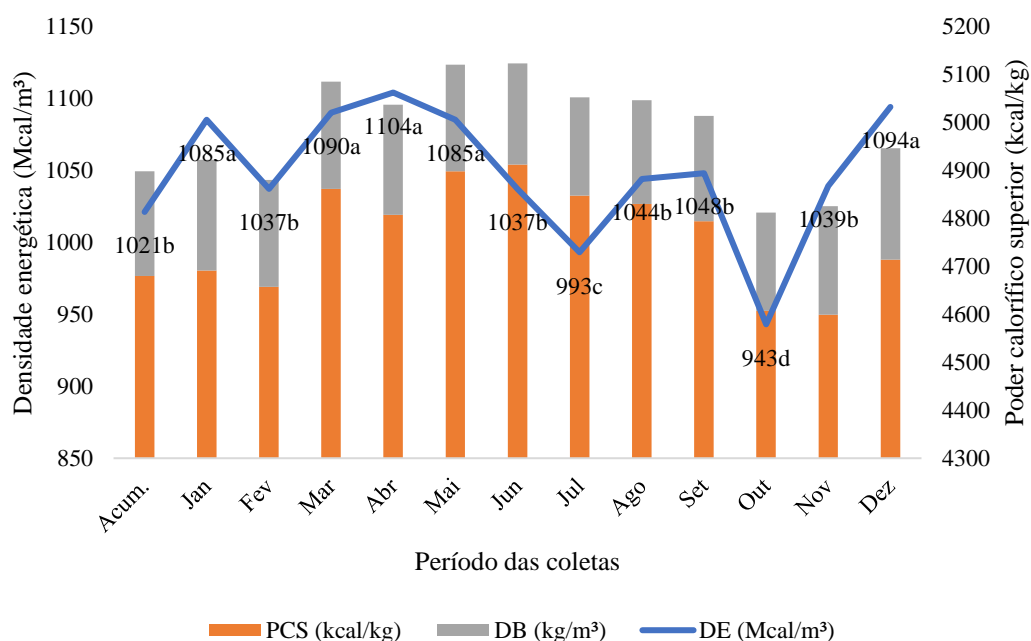
Os valores de densidade energética observados neste trabalho (1048 Mcal/m³) foram similares aos observados para partículas de eucalipto (997 Mcal/m³) e resíduos de café (casca

e endocarpo) (1147 Mcal/m³) no estudo de De Paula Protásio et al. (2013), demonstrando o potencial energético da grimpa.

Na Figura 7 é possível observar a tendência de maiores valores de densidade energética nos meses entre dezembro a maio, com queda dos valores nos meses de junho a novembro, com exceção somente do mês de fevereiro, que teve valor significativamente menor em relação aos meses anterior e posterior a ele. Já a coleta acumulada teve comportamento similar estatisticamente aos valores dos meses de junho a novembro.

A mesma tendência de variação observada na densidade energética ao longo do período de análise pode ser visualizada também para o poder calorífico superior, que apresentou variação significativa nos valores médios mensais. O poder calorífico superior médio da grimpa (4761 kcal/kg) foi similar ao obtido por Brand et al. (2018b) (4644 kcal/kg) para grimpa, e próximo ao da madeira com casca de *Pinus taeda* (4722 a 4867 kcal/kg), que também é uma Gimnosperma, e maior que os valores observados para a madeira de *Eucalyptus dunnii* com casca (4494 a 4571 kcal/kg). Ambas as espécies são cultivadas na região de estudo e utilizadas para geração de energia (BRAND et al., 2011).

Figura 7. Influência da Densidade Básica (DB) e do Poder Calorífico Superior (PCS) na Densidade Energética (DE)



Onde: PCS: Poder calorífico superior (kcal/kg); DB: Densidade básica (kg/m³); DE: Densidade energética (Mcal/m³). Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

A composição química imediata da grimpa variou significativamente ao longo do período de coleta. Das propriedades que compõe a composição química imediata o que chama

a atenção é o teor de cinzas com uma tendência de aumento nos meses de junho a setembro, seguido de redução gradativa nos meses de outubro a maio. Com exceção do mês de janeiro que teve um teor de cinzas elevado, similar aos meses de junho a setembro. Brand e Muniz (2012) observaram o inverso para o teor de cinzas de madeira com casca de *Pinus taeda* colhida em diferentes épocas do ano. Este comportamento inverso pode ser explicado pela diferença entre os componentes avaliados. Enquanto aquele trabalho avaliou madeira com casca, este avaliou acículas e galhos com pequenas dimensões.

A concentração de elementos químicos na serapilheira (acículas e galhos em plantas de *Araucária angustifolia* com 17 anos de idade) aumentou significativamente no verão, principalmente devido à maior atividade fisiológica das plantas em tal período, o que resultou em maiores taxas de alocação de nutrientes no período de maior crescimento vegetativo (SCHUMACHER et al., 2004). Portanto, os resultados aqui também foram contrários aos observados por SCHUMACHER et al. (2004), sendo que a correlação entre a temperatura média mensal do ar e o teor de cinzas ($R^2 = -0,64$) e a correlação entre radiação solar e teor de cinza ($R^2 = -0,64$) foram fortes e inversos, enquanto que a correlação com a umidade relativa média mensal foi forte e positiva ($R^2 = 0,65$) (Tabela 11).

A temperatura média do ar afeta principalmente o crescimento das plantas no decorrer das estações do ano, com diminuição nos períodos de outono e inverno, que influencia de modo direto e indireto o metabolismo da planta, afetando principalmente a fotossíntese e absorção e translocação dos nutrientes (SILVA, 1995; EASTIN & SULLIVAN, 1984), quando a umidade do solo não é limitante.

Os nutrientes das plantas podem ser translocados nas partes das plantas em função da época de chuva e secas (READ & LAWRENCE, 2003), fase de crescimento das plantas (FONTES et al., 2014) e maior competição pelos recursos do ambiente (VILLA et al., 2016).

O teor de cinzas médio da grimpá (5,8 %) foi menor que o observado também para grimpá colhida na mesma região por Brand et al. (2018b) (7,90%) e similar ao obtido por Rios et al. (2015) (5,13%). No entanto, o teor de cinzas da grimpá pode ser considerado elevado quando comparado com a madeira com casca de *Pinus taeda* que varia de 0,4 a 0,6% (BRAND E MUNIZ, 2012). Porém, menor que os valores obtidos para biomassas agrícolas, como a casca de arroz, por exemplo, que é em torno de 14% (BRAND et al., 2017). Para geração de energia, quanto menor o teor de cinzas, melhor será o aproveitamento energético do combustível e menor a quantidade de resíduos gerados após a combustão.

O teor de carbono fixo (20,8%) foi menor que os observados por Brand et al. (2018b), de 21,72%. Entretanto, o teor de voláteis (73,3%) foi maior que os 70,38% obtidos por Brand et al. (2018b).

A composição química estrutural da grimpá apresentou variações significativas ao longo do ano (Tabela 10). A correlação entre as variáveis climáticas e as propriedades químicas e energéticas da madeira (Tabela 11) confirmou esta tendência, sendo que a temperatura média mensal do ar apresentou alta correlação positiva com os extrativos e com a solubilidade da madeira em hidróxido de sódio à 1%, indicando que quanto mais alta a temperatura maior quantidade de solutos presentes no lume das células e maior o potencial de degradação das grimpas em hidróxido de sódio. Já a umidade relativa do ar apresentou correlação negativa com os extrativos e positiva com o teor de lignina do material. A radiação solar apresentou correção positiva com os extrativos e negativa com o teor de lignina. Portanto as variações das condições climáticas contribuíram para as variações observadas ao longo do ano na composição química das grimpas.

Tabela 10. Caracterização química das coletas mensais da grimpá

Coleta	EAF (%)	EAQ (%)	ENaOH _{1%} (%)	EE (%)	EET (%)	ET (%)	L (%)	H (%)
Acum.	8,89 ⁱ	13,18 ⁱ	44,68 ^c	1,66 ^h	12,75 ^g	27,54 ^g	41,88 ^b	24,96 ^a
Jan	12,13 ^c	16,84 ^c	49,69 ^a	2,96 ^b	18,99 ^a	38,92 ^a	40,31 ^d	15,04 ^e
Fev	15,52 ^a	18,02 ^b	49,28 ^a	2,37 ^e	17,19 ^b	37,57 ^b	39,51 ^e	17,22 ^d
Mar	9,56 ^g	14,01 ^f	46,39 ^b	2,89 ^c	12,20 ^g	29,18 ^e	40,78 ^c	24,56 ^a
Abr	9,99 ^f	14,96 ^d	50,06 ^a	3,28 ^a	14,47 ^e	32,7 ^c	43,63 ^a	17,81 ^c
Mai	10,18 ^f	14,83 ^d	49,59 ^a	2,73 ^d	15,41 ^d	32,97 ^c	43,08 ^a	17,98 ^c
Jun	10,10 ^f	14,59 ^e	46,81 ^b	1,96 ^g	12,44 ^g	29,00 ^e	41,86 ^b	22,93 ^b
Jul	9,28 ^h	13,64 ^h	45,48 ^c	2,04 ^f	14,23 ^e	29,91 ^d	40,58 ^d	23,39 ^b
Ago	10,89 ^d	14,15 ^f	46,77 ^b	1,31 ^j	12,57 ^g	28,04 ^f	40,18 ^d	25,47 ^a
Set	8,84 ⁱ	11,74 ^k	46,98 ^b	1,93 ^g	14,43 ^e	28,10 ^f	41,30 ^c	24,45 ^a
Out	9,29 ^h	12,41 ^j	49,34 ^a	1,44 ⁱ	13,64 ^f	27,49 ^g	42,43 ^b	24,29 ^a
Nov	10,42 ^e	13,80 ^g	49,18 ^a	2,35 ^e	12,59 ^g	28,75 ^e	40,87 ^c	24,87 ^a
Dez	13,28 ^b	19,39 ^a	49,18 ^a	2,79 ^d	16,60 ^c	38,78 ^a	39,48 ^e	16,51 ^d
Média Geral	10,64	14,74	47,96	2,28	14,42	31,46	41,22	21,49
CV(%)	1,55	0,6	1,16	1,68	1,87	0,92	0,93	2,50

Onde: EAF: Teor de extrativos em água fria; EAQ: Teor de extrativos em água quente; ENaOH_{1%}: Teor de extrativos em hidróxido de sódio à 1%; EE: Teor de extrativos em etanol; EET: Teor de extrativos em etanol-tolueno; ET: Teor de extrativos totais; L: Teor de lignina; TH: Teor de holocelulose. CV: coeficiente de variação. Letras iguais na coluna indicam que não houve diferença significativa entre as coletas pelo teste de médias de Scott-Knott a um nível de probabilidade de 0,05. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Tabela 11. Correlação de Pearson entre as variáveis climáticas e as propriedades químicas e energéticas da grimpá

	DE	PCS	DB	EAF	EAQ	EE	EET	ET	L	TC	TV	TCF	ENaOH ₁ %
T_m	0,43	-0,58	0,76	0,55	0,60	0,71	0,66	0,73	-0,26	-0,64	0,37	-0,03	0,66
UR_m	-0,14	0,63	-0,48	-0,52	-0,55	-0,17	-0,3	-0,45	0,71	0,65	-0,3	-0,03	-0,20
Rsg_m	0,23	-0,73	0,63	0,59	0,61	0,33	0,5	0,6	-0,62	-0,64	0,24	0,10	0,44

Onde: T_m: Temperatura média mensal (°C); UR_m: Umidade relativa média mensal (%); Rsg: Radiação média mensal (W/m²); DE: Densidade energética (Mcal/m³); PCS: Poder calorífico superior (kcal/kg); DB: Densidade básica (kg/m³); EAF: Teor de extrativos em água fria (%); EAQ: Teor de extrativos em água quente (%); EE: Teor de extrativos em etanol (%); EET: Teor de extrativos em etanol-tolueno (%); ET: Teor de extrativos totais (%); L: Teor de lignina (%); TC: Teor de cinzas (%); TV: Teor de voláteis (%); TCF: Teor carbono fixo (%); ENaOH₁: Teor de extrativos em hidróxido de sódio à 1% (%); Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

De forma geral, tanto os teores de extrativos totais (31,46%), quanto de lignina (41,22%) foram elevados (Tabela 10), o que é bom para a geração de energia, pois estes compostos são os que possuem o maior poder calorífico na composição química da biomassa.

Os valores de extrativos solúveis em água quente, etanol, etanol-tolueno e extrativos totais obtidos neste trabalho foram maiores que os observados por Rios et al. (2015) e Brand et al. (2018b) (Tabela 12). No entanto, os teores de lignina e holocelulose foram menores que os observados pelos autores supracitados para grimpas coletadas na mesma região de estudo.

Tabela 12. Comparação da composição química estrutural da grimpá com autores que trabalharam com material da mesma região de estudo

Composição química estrutural	Autora (2019)		Rios et al. (2015)		Brand et al. (2018b)	
	(%)	CV (%)	(%)	CV (%)	(%)	CV (%)
Extrativos						
EAQ (%)	14,74	0,60	11,01	13,08	7,75	9,99
EE (%)	2,28	1,68	1,37	27,74	0,56	16,47
EET (%)	14,42	1,87	12,57	13,13	11,64	3,85
ET (%)	31,46	0,92	24,95	9,3	19,96	2,86
L (%)	41,22	0,93	47,41	4,2	42,16	3,56
TH (%)	21,49	2,50	22,51	14,75	29,98	3,37

Onde: EAQ: Teor de extrativos em água quente; EE: Teor de extrativos em etanol (%); EET: Teor de extrativos em etanol-tolueno (%); ET: Teor de extrativos totais (%); L: Teor de lignina (%); TH: Teor de holocelulose (%); CV: Coeficiente de variação. Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

A solubilidade em hidróxido de sódio expressa a solubilização a quente em solução alcalina diluída, removendo extrativos e carboidratos de baixa massa molecular, que constituem principalmente algumas polioses e celulose degradada. Assim, esta análise indica o nível de decomposição causada por fungos ou a degradação por calor, luz, oxidação, etc (ABNT, 2010b). Pode-se perceber que os valores de solubilização entre os meses de outubro à maio foi maior e diminuiram nos meses de junho à setembro, indicando uma relação entre a velocidade

de degradação da biomassa no campo e as condições climáticas sob as quais o material está sujeito, sendo fortemente correlacionada com a temperatura média mensal do ar ($R^2=0,66$) (Tabela 11).

Para os extrativos solúveis em água fria e quente também pode-se observar que os maiores valores foram nos meses de dezembro à fevereiro reduzindo nos demais meses, o que expressa o aumento da quantidade de substâncias nutritivas neste período, sofrendo forte influência da temperatura média do ar, umidade relativa do ar e radiação solar. Os extrativos solúveis em solventes orgânicos e extrativos totais acompanharam a mesma tendência, sofrendo maior influência da temperatura do ar (Tabela 11).

Tabela 13. Análise elementar inorgânica da grimpá de árvores de crescimento livre de *Araucaria angustifolia*

Amostra	Grimpa (Autora, 2019)	Schumacher et al. (2004) ¹		
		Acículas	Galhos	
Elementos químicos (g/kg)	Al	0,2951	-	-
	Ca	0,4329	28,16 ± 3,16	17,80 ± 3,59
	Fe	0,1505	-	-
	Mg	0,1545	1,24 ± 0,37	1,18 ± 0,39
	P	< 0,0572*	0,80 ± 0,35	0,62 ± 0,34
	K	8,439	1,45 ± 0,41	2,01 ± 0,87
	Si	3,879	-	-
	Ti	0,172	-	-

Onde: Os valores que contém asterisco (*) ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento com base no branco utilizado. 1 - Schumacher et al. (2004) analisou a concentração média anual de nutrientes em diferentes frações de serapilheira em um povoamento da *Araucaria angustifolia* com 17 anos de idade (Pinhal Grande – RS), comparando a quantidade de nutrientes em galhos e acículas da espécie. Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Os valores dos elementos obtidos para a grimpá foram muito diferentes dos obtidos para Schumacher et al. (2004). Isso pode ser devido as diferenças de solo e clima das duas áreas de estudo. A composição química inorgânica da biomassa é um importante indicador de possíveis problemas que podem ser gerados durante a combustão do combustível (SOMMERSACHER et al., 2011; LAMBERG et al., 2013; NUNES et al., 2016). Em geral, a natureza dos problemas e o seu impacto sobre o desempenho do equipamento de combustão depende das características do combustível (sobretudo o teor de cinzas e a composição química inorgânica), bem como a concepção e operação do equipamento de combustão (CHERNEY & VERMA, 2013). Com relação à composição química das cinzas, os compostos inorgânicos estão presentes em combustíveis de biomassa na forma de óxidos alcalinos e sais e podem agravar problemas de aglomeração, deposição e corrosão nas superfícies de transferência de calor da caldeira (WERTHER et al., 2000).

A caracterização química elementar orgânica é muito importante porque o hidrogênio e o carbono afetam positivamente o valor calorífico superior dos materiais. Pelo contrário, o oxigênio afeta negativamente. O enxofre e o nitrogênio afetam negativamente a saúde humana e o meio ambiente (ROSA et al., 2012). A composição química orgânica da grimpa (Tabela 14) indicou que os teores de nitrogênio e enxofre foram baixos, o que é desejado quando a biomassa é destinada à geração de energia.

Tabela 14. Análise elementar orgânica da grimpa

Amostra		Grimpa
Análise elementar (%)	C	44,50
	H	5,64
	O	42,67
	N	1,31
	S	0,08
Cinzas (%)	TC	5,80
Relação atômica	H/C	0,13
	C/N	33,97

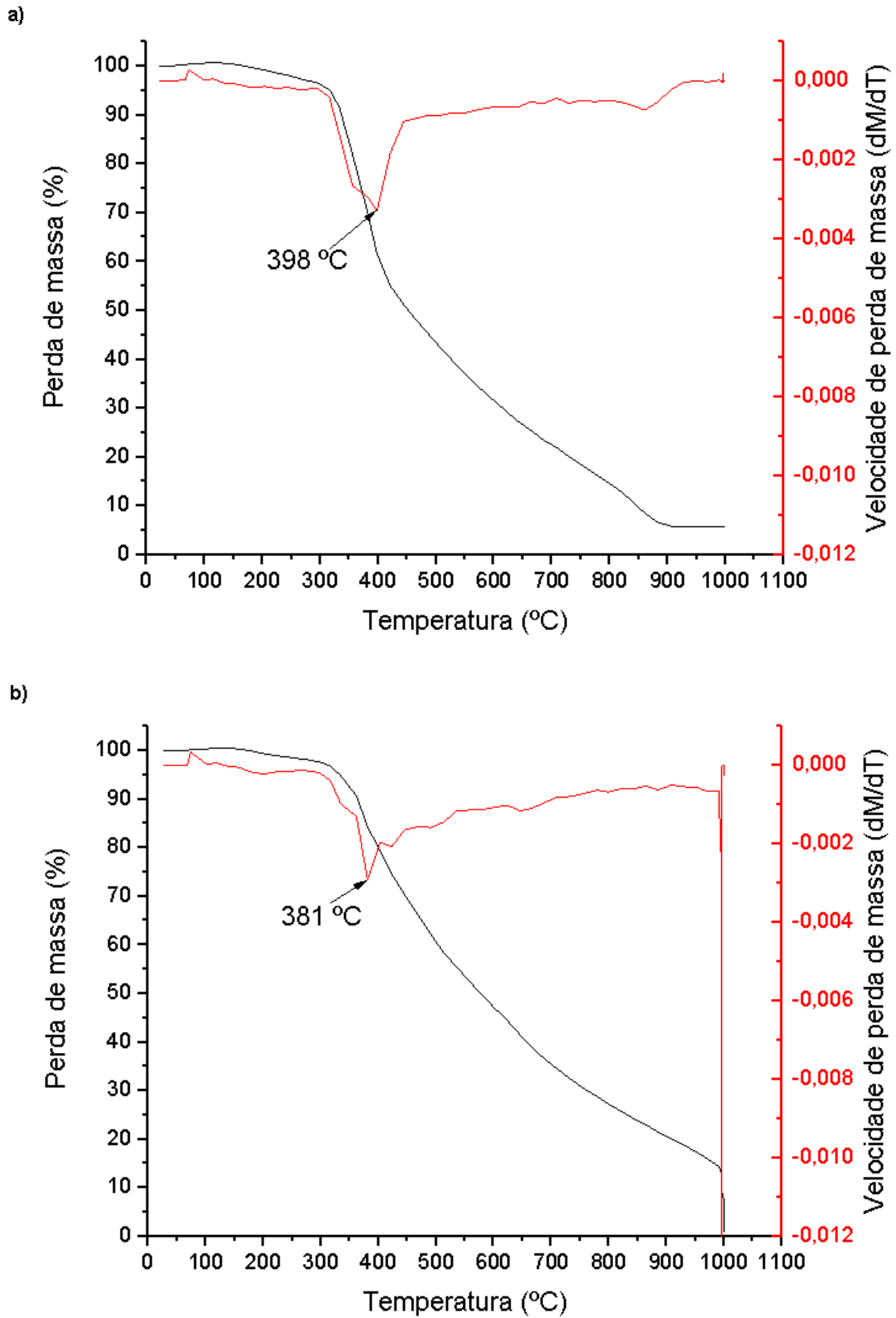
Onde: C: Carbono; H: Hidrogênio; O: Oxigênio; N: Nitrogênio; S; Enxofre; TC: Teor de cinzas médio; H/C e C/N são as relações atômicas. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Santana et al. (2012) afirmam que as razões C/N (carbono / nitrogênio) e H/C (hidrogênio / carbono) são parâmetros importantes na avaliação da energia da biomassa. A relação C/N estabelece a velocidade na qual o nitrogênio retorna ao seu ciclo natural. Quanto menor essa proporção, mais rápido o C do material na forma de CO₂ é liberado. Além disso, indica o potencial poluidor do combustível devido à emissão de óxidos de nitrogênio, que resultam em chuva ácida. A relação H/C mostra a capacidade de liberação de energia. Quanto maior a relação H/C, mais energético é o material.

Henne et al. (2020), analisando a biomassa de *Pinus* utilizada na mesma região de estudo para a geração de energia obteve valores de 0,16 para H/C e 122,09 para C/N. Portanto, a grimpa apresentou muito melhor desempenho para o índice C/N que o *Pinus*, tradicionalmente utilizado para a geração de energia. Para o índice H/C os valores das duas biomassas foram muito próximos entre si.

A Figura 8 representa a degradação termogravimétrica (TG) e a velocidade de perda de massa (DTG) da grimpa *in natura* e da lignina residual.

Figura 8. Análise termogravimétrica da grimpá *in natura* (a) e da lignina residual da grimpá (b)



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Nyakuma et al. (2016) determinou que as curvas TG dos *pellets* podem ser divididas em três etapas principais: Estágio I (secagem), Estágio II (pirólise ativa) e estágio III (pirólise passiva). Brand et al. (2018a) avaliaram *pellets* feitos de grimpas de *Araucaria angustifolia* e obtiveram os resultados descritos na Tabela 15 para comparação com os dados obtidos neste trabalho.

Tabela 15. Comparação entre os estágios de degradação térmica em análise termogravimétrica entre *pellets*, grimpas *in natura* e lignina da grimpas de *Araucaria angustifolia*

Material	Estágio I	Estágio II	Estágio III
Pellets de grimpas ¹	25 a 350 °C	350 a 500 °C	500 a 1000 °C
Grimpa <i>in natura</i>	25 a 315 °C	315 a 422 °C	422 a 969 °C
Lignina da grimpas	25 a 333 °C	333 a 643 °C	643 a 1000 °C

Onde: ¹ Brand et al. (2018a). Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

O Estágio I envolve a volatilização de compostos de baixa massa molecular e água adsorvida (PAULA et al., 2011). O Estágio II é onde ocorre a degradação das polioses, celulose e lignina. No Estágio III, a perda de massa é atribuída ao restante da lignina do Estágio II. A degradação da lignina ocorre em uma taxa gradual mais lenta que os outros compostos (BRAND et al., 2018a).

A grimpas avaliada neste trabalho teve um comportamento próximo ao observado por Brand et al. (2018a), no entanto com temperaturas um pouco inferiores no final do primeiro estágio e início dos dois estágios subsequentes às observadas para os *pellets* de grimpas.

A principal diferente entre a biomassa *in natura* e a lignina residual foi observada principalmente no segundo estágio. A amplitude de temperatura deste estágio para lignina foi maior, indicando que neste estágio é onde ocorre a maior parte da degradação da lignina, pois na temperatura desta fase, 60% da massa da amostra havia sido perdida.

A maior velocidade de perda de massa ocorreu a uma temperatura maior (Figura 9a) em relação a lignina (Figura 9b). Isto indica que a lignina é o composto estrutural mais estável da grimpas, pois sem a interferência da presença de celulose, polioses e extrativos teve o maior intervalo de temperatura de degradação e menor temperatura de velocidade máxima de degradação.

2.4 CONCLUSÕES

- ✓ O teor de umidade da grimpa recém coleta foi baixo (18%). Desta forma, no período de estudo que abrange 2018/2019, em qualquer época do ano, esta biomassa pode ser utilizada diretamente para a geração de energia, sem necessidade de prévia secagem ou tratamento;
- ✓ A densidade básica da biomassa foi baixa (220 kg/m³), prejudicando o uso do material *in natura*, e favorecendo os processos de compactação para a produção de biocombustíveis.
- ✓ O poder calorífico da grimpa foi alto (4761 kcal/kg) e similar ao da madeira de *Pinus* utilizada tradicionalmente para a produção de energia na região de estudo.
- ✓ A densidade energética foi elevada (1048 Mcal/m³) tendo maior correlação de Pearson com a densidade básica ($R^2 = 85$) do que com poder calorífico superior ($R^2 = 0,38$).
- ✓ A principal desvantagem da grimpa como combustível é seu elevado teor de cinzas (5,8%) em comparação a biomassa de origem madeireira.
- ✓ O coeficiente de correlação de Pearson indicou que as propriedades químicas e energéticas da grimpa variaram ao longo do ano e sofreram a influência das variáveis climáticas, principalmente da temperatura média do ar, radiação solar e umidade relativa do ar.
- ✓ A lignina foi o composto majoritário da grimpa (41,22%) e determinou a faixa de degradação térmica e a velocidade de degradação térmica da grimpa.

2.5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, D1762 e 84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal, Atlanta, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, D 5373: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke, West Conshohocken, PA, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, D 4239: Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion, West Conshohocken, PA, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11941: Madeira: Determinação da densidade básica, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14577: Pasta celulósica e madeira: Determinação do material solúvel em água, Rio de Janeiro, 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14660: Madeira - Amostragem e preparação para análise, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7989: Pasta celulósica e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido, Rio de Janeiro, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7990: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%, Rio de Janeiro, 2010b.

BEUTLING, A., BATISTA, A. C., SOARES, R. V., & VITORINO, M. D. Quantificação de material combustível superficial em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. **Floresta**, v. 35, n. 3, p. 465-472, 2005.

BRAND, M. A., BARNASKY, R. R. D. S., CARVALHO, C. A., BUSS, R., WALTRICK, D. B., & JACINTO, R. C. Thermogravimetric analysis for characterization of the pellets produced with different forest and agricultural residues. **Ciência Rural**, v. 48, n. 11, 2018a.

BRAND, M. A., DE MUÑIZ, G. I. B., QUIRINO, W. F., BRITO, J. O. Storage as a tool to improve wood fuel quality. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2581-2588, 2011.

BRAND, M. A., JACINTO, R. C., ANTUNES, R., DA CUNHA, A. B. Production of briquettes as a tool to optimize the use of waste from rice cultivation and industrial processing. **Renewable energy**, v. 111, p. 116-123, 2017.

BRAND, M.A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 114p.

BRAND, M.A.; JACINTO, R.C.; CUNHA, A.B. Qualidade de pellets de galhos secos de araucária e partículas de pinus. **Energia na Agricultura**, vol. 33, n.4, p. 303-312, 2018b.

BRAND, M.A.; MUNIZ, G.I.B. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 66-78, 2012.

CALVI, G. P., PEREIRA, M. G., & ESPÍNDULA JÚNIOR, A. Produção de serapilheira e aporte de nutrientes em áreas de floresta atlântica em Santa Maria de Jetibá, ES. **Ciência Florestal**, 19, v. 2, p. 131-138, 2009.

CHERNEY, J. H.; VERMA, V. K. Grass pellet Quality Index: A tool to evaluate suitability of grass pellets for small scale combustion systems. **Applied energy**, v. 103, p. 679-684, 2013.

DANNER, M. A.; ZANETTE, F.; RIBEIRO, J. Z. O cultivo da araucária para produção de pinhões como ferramenta para a conservação. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 441451, 2012.

DE PAULA PROTÁSIO, T., BUFALINO, L., TONOLI, G. H. D., JUNIOR, M. G., TRUGILHO, P. F., MENDES, L. M. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **BioResources**, v. 8, n. 1, p. 1166-1185, 2013.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, DIN, DIN 51900: 1e3, Testing of Solid and Liquid Fuels. Determining the Gross Calorific Value of Solid and Liquid Fuels Using the Bomb Calorimeter, and Calculation of Net Calorific Value e Part 1-3. Berlin, 2000.

EASTIN, J. D.; SULLIVAN C.Y. Environmental stress influences on plant persistence physiology, and production. In.: TESAR, M. B. Physiological basic of crop growth and development. Madison: American Society of Agronomy, cap. 8, p. 201-236, 1984.

FONTES AG, GAMA-RODRIGUES AC, GAMA-RODRIGUES EF, SALES MVS, COSTA MG, MACHADO RCR. Nutrient stocks in litterfall and litter in cocoa agroforests in Brazil. **Plant and Soil**, v. 383, n. 1-2, p. 313-335, 2014.

HACKBARTH, C., SOFFIATTI, P., ZANETTE, F., FLOH, E. I. S., MACEDO, A. F., & LAUREANO, H. A. Free amino acid content in trunk, branches and branchlets of *Araucaria angustifolia* (Araucariaceae). **Journal of Forestry Research**, v. 29, n. 6, 1489-1496, 2018.

HENNE, R. A., BRAND, M. A., SCHEIN, V. A. S., PEREIRA, E. R., & SCHVEITZER, B. Characterization of ashes from forest biomass combustion in boilers: a systemic view of potential applications. **Floresta**, v. 50, n. 1, p. 1081-1090, 2020.

LAMBERG, H., TISSARI, J., JOKINIEMI, J., & SIPPULA, O. Fine particle and gaseous emissions from a small-scale boiler fueled by pellets of various raw materials. **Energy & Fuels**, v. 27, n. 11, p. 7044-7053, 2013.

MATTOS, J. R. **O pinheiro brasileiro**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2011. 700 p.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. Biomass combustion systems: a review on the physical and chemical properties of the ashes. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 235-242, 2016.

NYAKUMA, B. B., AHMAD, A., JOHARI, A., & ABDULLAH, T. A. T. Thermogravimetric and kinetic analyses of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) Pellets using the distributed activation energy model. **Journal of Physical Science**. v. 27, n. 3, p. 67–83, 2016.

PAULA, L. E. D. R., TRUGILHO, P. F., NAPOLI, A., & BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**. v. 17, n. 2, p. 237–246, 2011.

READ L, LAWRENCE D. Litter nutrient dynamics during succession in dry tropical forest of the Yucatan: regional and seasonal effects. **Ecosystems**, v. 6, n. 8, p. 747-761, 2003.

RIOS, P., VIEIRA, H. C., STUPP, Â. M., KNISS, D. D. C., BORBA, M. H., & DA CUNHA, A. B. Avaliação física e mecânica de painéis reconstituídos compostos por partículas de galhos secos de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze e madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 106, p. 283-289, 2015.

ROSA, R. A.; CHAVES ARANTES, M. D.; PAES, J. B.; ANDRADE, W. S. D. P.; MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, Gurupi, v.3, n.2, p.41-48, 2012.

SANTANA, W. M. S.; CALEGARIO, N.; ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal Eucalyptus. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 1-8, 2012.

SCHUMACHER, M. V., BRUN, E. J., HERNANDES, J. I., & KÖNIG, F. G. Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 29-37, 2004.

SILVA, S.C., Condições edafo-climáticas para a produção de Panicum. In.: Simpósio sobre manejo de pastagem, 12., Piracicaba, 1995. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p. 129- 146, 1995.

SOMMERSACHER, P.; BRUNNER, T.; OBERNBERGER, I. Fuel indexes: a novel method for the evaluation of relevant combustion properties of new biomass fuels. **Energy & Fuels**, v. 26, n. 1, p. 380-390, 2011.

VILLA, E. B., PEREIRA, M. G., ALONSO, J. M., BEUTLER, S. J., & LELES, P. S. D. S. Aporte de serapilheira e nutrientes em área de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 90-99, 2016.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BAILBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na Floresta Ombrófila Mista Montana Paraná. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 353-362, 2012.

WENDLING, I., DUTRA, L. F., HOFFMANN, H. A., BETTIO, G., & HANSEL, F. Indução de brotações epicórmicas ortotrópicas para a propagação vegetativa de árvores adultas de *Araucaria angustifolia*. **Agronomía Costarricense** Vol. 33, n. 2, p. 309-319, 2009.

WERTHER, J., SAENGER, M., HARTGE, E. U., OGADA, T., SIAGI, Z.. Combustion of agricultural residues. **Progress in energy and combustion science**, v. 26, n. 1, p. 1-27, 2000.

ZANETTE, F., DANNER, M. A., CONSTANTINO, V., & WENDLING, I. Particularidades e biologia reprodutiva de *Araucaria angustifolia*. In: WENDLING, I.; ZANETTE, F. (Ed.). **Araucária: particularidades, propagação e manejo de plantios**. Brasília, DF : Embrapa, 2017. p. 13-39.

3. QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DE ESPÉCIES VEGETAIS PRESENTES EM CAMPO DE ALTITUDE

3.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o Bioma Mata Atlântica apresenta diversas tipologias florestais: Floresta Ombrófila Densa, Mista e Aberta; Floresta Estacional Decidual e Semidecidual. Essas áreas possuem ecossistemas associados que apresentam ambientes campestres, recebendo diferentes denominações: campos de altitude, altimontanos, rupestres, inselbergs, entre outros (VASCONCELOS, 2014).

As formações de campo de altitude são principalmente vegetação rasteira, embora, em alguns casos, possam conter proporções variadas de espécies arbóreas, o que torna sua classificação dentro dos diferentes sistemas de topografia ainda mais complicada (MEDIIVILLA et al., 2017). Na Nota Explicativa ao mapa que acompanha o Decreto Federal nº 6.660, de 2008, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE (2008) define os campos de altitude como:

“A vegetação com estrutura herbácea ou herbácea/arbustiva, caracterizada por comunidades florísticas próprias, que ocorre sob clima tropical, subtropical ou temperado, geralmente nas serras de altitudes elevadas, nos planaltos e nos Refúgios Vegetacionais, bem como a outras pequenas ocorrências de vegetação campestre. Os campos de altitude estão situados nos ambientes montano e alto-montano. O montano corresponde às faixas de altitude: de 600 a 2.000 m nas latitudes entre 5° N e 16° S; de 500 a 1.500 m nas latitudes entre 16° S e 24° S; e de 400 a 1.000 m nas latitudes acima de 24° S. O alto montano ocorre nas altitudes acima dos limites máximos considerados para o ambiente montano”.

No sul do Brasil, os campos de altitude são encontrados principalmente na região do planalto sul-brasileiro, nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, formando um mosaico com a Floresta Ombrófila Mista (Figura 9). Nos campos de altitude predominam a presença de gramíneas (Poaceae), e muitas espécies herbáceas principalmente das famílias Asteraceae (*Baccharis* spp), e Apiaceae (*Eryngium* spp.) (BEHLING et al., 2009).

Figura 9. Região de mosaico campo de altitude - Floresta Ombrófila Mista na região de estudo



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Espécies arbóreas como a *Araucaria angustifolia*, associada ao *Podocarpus lambertii* Klotzsch ex Endl. e *Mimosa scabrella* Benth cobertas por *Tillandsia usneoides* (L.) L., encontram-se ligadas a alta incidência da herbácea *Andropogon lateralis* Nees. Neste ecossistema contínuo, são encontradas espécies de diversas famílias, algumas muito vistosas, como as Asteraceae, Fabaceae, Verbenaceae e Solanaceae (BOLDRINI, 2009).

O maior número de espécies pertence à família Asteraceae (24%), seguida pelas gramíneas com 20% e famílias menores com 7%, como Fabaceae e Cyperaceae, e 3% em Apiaceae. Outras famílias correspondem a 39% das espécies. Entre as Poaceae destacam-se, na fisionomia dos campos bem drenados *Andropogon lateralis*, *Axonopus siccus* (Nees) Kuhl., *Paspalum maculosum* Trin., *Schizachyrium tenerum* Ness e *Schizachyrium. spicatum* (Spreng.) Herter. Nos campos mal drenados, salienta-se *Andropogon macrothrix* Trin. e *Paspalum pumilum* Ness, embora *A. lateralis* possa ocorrer nestes ambientes. É característico nos campos dessa região a presença de espécies cespitosas eretas e de ciclo estival, devido ao alto índice de solo descoberto, conforme descrito em Boldrini (1997) citado por (BOLDRINI, 2009).

Outra família fisionomicamente importante é a Apiaceae, representada principalmente pelo gênero *Eryngium* com 18 espécies. Nas áreas mais úmidas do campo é encontrado o *E.*

pandanifolium Cham. & Schltdl.. Já nos campos secos e alterados, principalmente pelo uso do fogo, são encontradas grandes populações de *E. horridum* Malme (BOLDRINI, 2009).

Ambrosini et al. (2012) analisando a evolução dos sistemas agrários na região dos Campos de Cima da Serra (CCS), situada no extremo nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, que é vizinha à área de abrangência do estudo, constataram que historicamente a bovinocultura de corte foi uma atividade determinante para a economia e cultura na região dos campos de altitude. Portanto, os atuais ecossistemas, tanto florestais como de campos, são fortemente influenciados pelas atividades humanas. Os impactos negativos da ação antrópica sobre o ambiente natural geram desafios que decorrem do uso impróprio ou ação indevida do homem (BORBA & TRINDADE, 2009).

Em função da ação antrópica, a necessidade de regulação do uso e proteção deste e outros ecossistemas associados levou a criação da Lei da Mata Atlântica (Lei Federal nº 11.428, de 2006), que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica e seu decreto regulamentador (Decreto Federal nº 6.660, de 2008). A proteção legal dos campos inseridos no Bioma Mata Atlântica é direta, pois esta Lei protege todos os tipos de vegetação nativos inseridos no interior desse Bioma (VASCONCELOS, 2014).

No Sul do país a prática de “queimada” como manejo tradicional das pastagens ainda vem sendo amplamente utilizada, principalmente devido à topografia angulosa e a elevação de rochas, que dificulta o manejo do pasto durante o final do inverno. Esta prática tem como principal impacto a perda de água por evaporação, afetando a camada superficial, bem como a aceleração de perdas por lixiviação e volatilização, que elimina a cobertura vegetal transformando em um solo pobre em nutrientes (BARETTA et al., 2005).

Além disso, algumas espécies do gênero *Eryngium*, por exemplo, respondem positivamente ao fogo, sendo caracterizadas como espécies de distúrbios, com maior capacidade reprodutiva (FIDELIS et al., 2008). Desta forma, a prática comum de queimada pode ser vista como não produtiva do ponto de vista agrônomo, favorecendo gramíneas cespitosas ao invés de rizomatosas ou estoloníferas, tendo como consequência menor qualidade da forragem (OVERBECK, 2009).

No entanto, quando os campos de altitudes não são bem manejados, aliados ao abandono do uso tradicional da silvicultura, levam a um ecossistema mais propenso a incêndios. Especialistas recomendam que estes campos precisam ser limpos a fim de evitar este problema (MEDIAVILLA et al., 2017). Além disso, os campos de altitude podem fornecer uma biomassa

ainda quase inexplorada de grande potencial energético, no qual não se tem muitos estudos de análise química e energéticas destas espécies herbáceo-arbustivas.

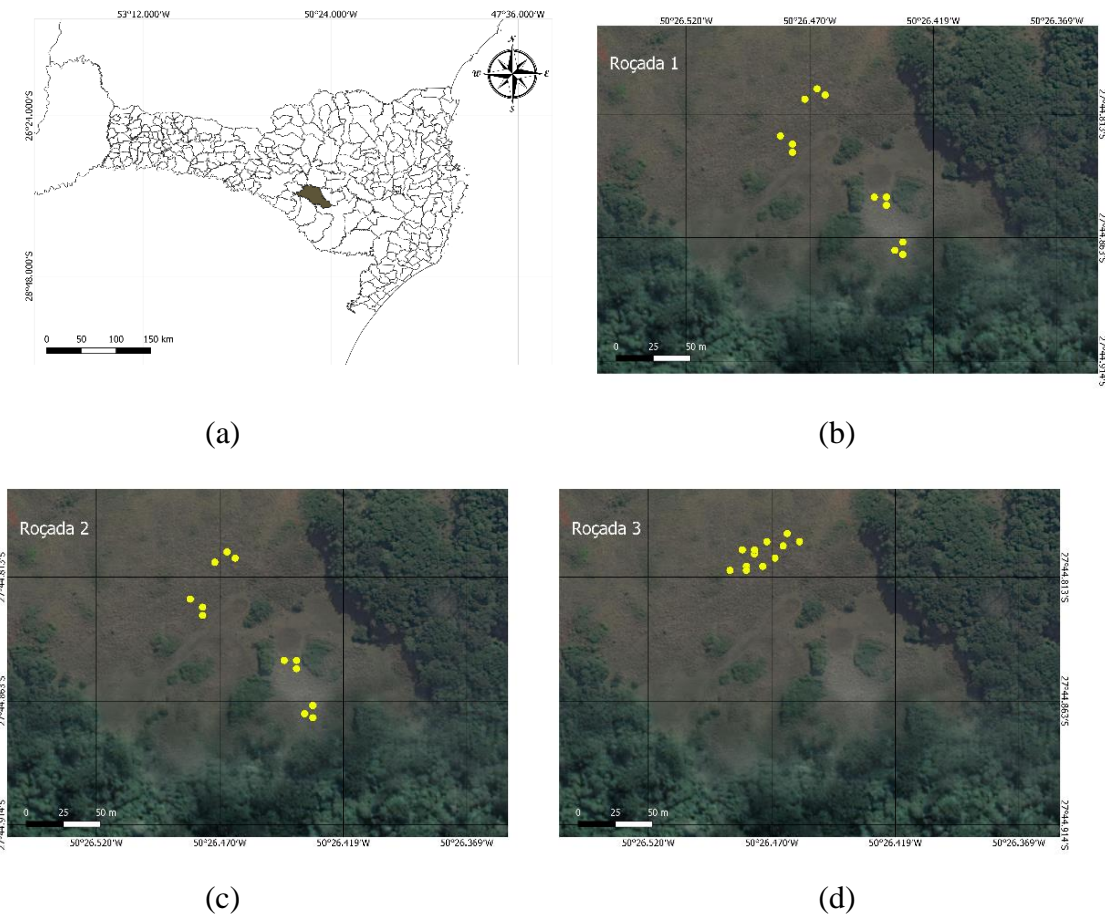
Algumas alternativas tem sido estudadas para melhorar a qualidade da pastagem, evitando o desenvolvimento de vegetação indesejável. A roçada é uma das técnicas analisadas. Esta prática visa manter o campo para pastagem por meio da associação do efeito de cortes, controlando desta forma as características morfofisiológicas das plantas. Esta técnica é considerada satisfatória, embora tenham poucos estudos na área (NABINGER et al., 2009), principalmente com relação ao potencial produtivo de biomassa das espécies componentes deste ecossistema. Roquette (2018) destaca que são necessários mais estudos de determinação da biomassa vegetal em diferentes fitofisionomias, a fim de possibilitar estimativas mais precisas com base na estatística e estrutura e composição da vegetação.

Portanto, trabalhos de pesquisa nestas áreas são fundamentais para orientar práticas de manejo e para indicar a viabilidade de uso da biomassa produzida nas áreas de pastejo para fins energéticos. Nesse contexto, as hipóteses levantadas foram que a biomassa de espécies presentes nos campos de altitude são suficientes em quantidade para utilização na geração de energia e que suas características energéticas indicam viabilidade positiva para geração de energia. Desta forma, este trabalho teve como objetivos: (a) Quantificar a biomassa herbácea produzida nas áreas de campo de altitude e (b) determinar a viabilidade energética da biomassa gerada nas roçadas de forma a contribuir com o manejo sustentável dos campos de altitude no planalto serrano do Estado de Santa Catarina, Brasil.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido na área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI (27°45'19,5"S e 50°25'19,9"W), localizada no município de São José do Cerrito - SC (Figura 10). A área de estudo está inserida na fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista – Montana, correspondendo à faixa de altitude de 400 a 1000 m nas latitudes acima de 24° S, segundo a Lei n° 11.428 (BRASIL, 2006).

Figura 10. Mapa de localização da área de estudo. Município de São José do Cerrito, Estado de Santa Catarina (a); Localização das parcelas na roçada 1 (b); Localização das parcelas na roçada 2 (c) e Localização das parcelas na roçada 3 (d).



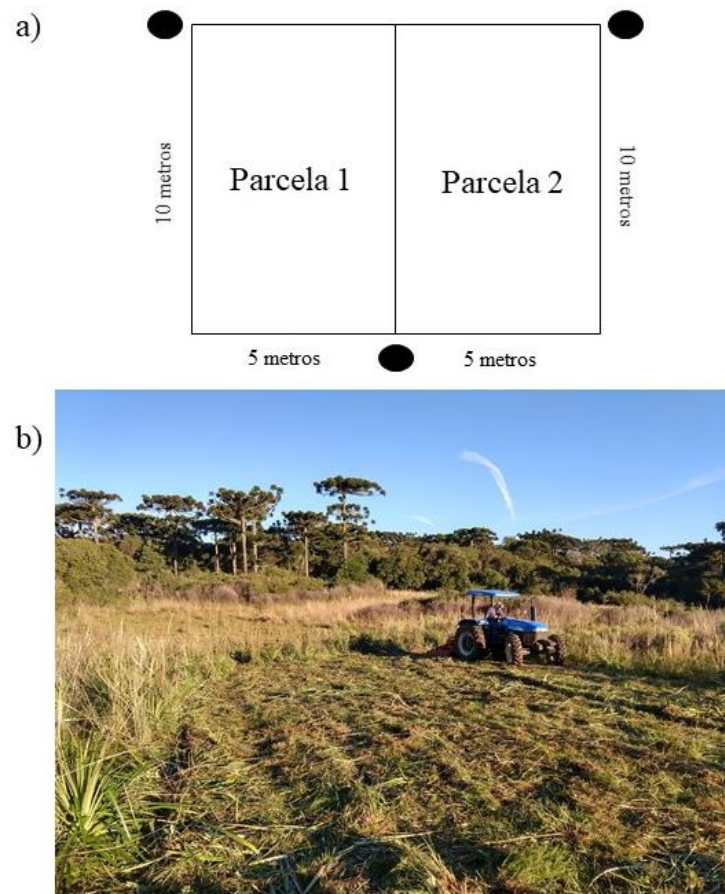
Fonte: IBGE, 2018.

A área é utilizada para pesquisas em bovinocultura de corte, onde é aplicado o pastejo contínuo em vegetação nativa, com roçada/queimada de primavera para o controle do crescimento da vegetação arbustiva. A última queimada na área de estudo ocorreu em setembro de 2017, oito meses antes da primeira roçada realizada para a quantificação da biomassa herbácea.

Para caracterização fitossociológica e quantificação da biomassa foram instaladas parcelas de 5 x 10 metros. As parcelas foram agrupadas em duplicatas contínuas, totalizando 8 parcelas, em 4 pontos de amostragem na área de estudo (Figura 10b, 10c), que representam a roçada 1 e roçada 2. Já para a caracterização fitossociológica e quantificação da biomassa da Roçada 3, foram agrupadas todas as parcelas de forma contínuas uma as outras, totalizando 8 parcelas em um mesmo ponto de amostragem (Figura 10c). Foram colocadas três estacas nos

limites de cada duas parcelas (Figura 11a) e obtida a localização por coordenadas de GPS nesses pontos de extremidade.

Figura 11. Croqui para a demarcação das parcelas, onde os pontos representam as coordenadas geográficas (a) e roçada mecanizada, realizada no momento da identificação, coleta e quantificação da biomassa (b).

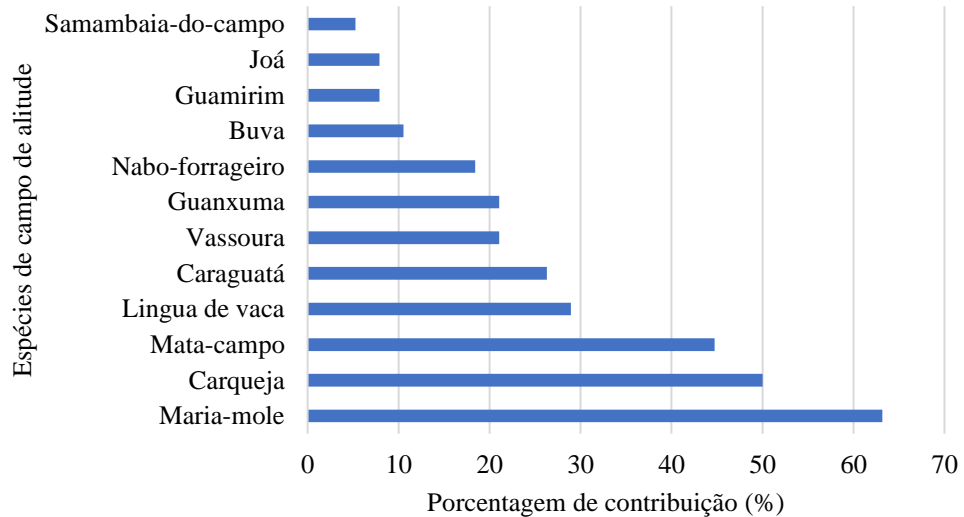


Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

A escolha das espécies para a pesquisa foi baseada em um questionário aplicado aos produtores rurais com propriedades no planalto serrano de Santa Catarina. Este questionário foi parte integrante do projeto de Pesquisa “Construindo a sustentabilidade da pecuária familiar dos Campos e Matas de Araucária” coordenado pela EPAGRI. O questionário teve o objetivo de determinar o perfil social, técnico, econômico e ambiental de propriedades dedicadas a pecuária de corte no planalto serrano de Santa Catarina. Seis das espécies estudadas estão entre as 12 mais importantes causadoras de problemas à qualidade da pastagem para a pecuária de corte, segundo os pecuaristas entrevistados (Figura 12). As outras duas espécies componentes

do estudo foram selecionadas em função da ocorrência das mesmas na área das parcelas (*Saccharum angustifolium* (Nees) Trin. e *Andropogon lateralis* Nees) (Tabela 16).

Figura 12. Espécies mais importantes causadoras de problemas à pecuária de corte, nos campos de altitude no planalto serrano de Santa Catarina



Fonte: Elaborado pela autora, 2018.

Para fins de identificação das espécies herbáceo-arbustiva foram confeccionadas exsicatas, que foram registradas no herbário da Universidade de Santa Catarina (LUSC) (Tabela 16).

Tabela 16. Espécies de campo de altitude estudadas

Família	Nome científico	Nome do coletor	Número do registro (LUSC)
Asteraceae	<i>Baccharis articulata</i> (Lam.) Pers.	Rodrigues. M. T	9801
Asteraceae	<i>Baccharis crispa</i> Spreng.	Rodrigues. M. T	9802
Poaceae	<i>Saccharum angustifolium</i> (Nees) Trin.	Rodrigues. M. T	9803
Apiaceae	<i>Eryngium horridum</i> Malme	Rodrigues. M. T	9804
Poaceae	<i>Andropogon lateralis</i> Nees	Rodrigues. M. T	
Myrtaceae	<i>Myrcia oblongata</i> DC.	Rodrigues. M. T	
Dennstaedtiaceae	<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	Rodrigues. M. T	
Asteraceae	<i>Senecio brasiliensis</i> (Spreng.) Less.	Rodrigues. M. T	

Onde: LUSC - Herbário da Universidade do Estado de Santa Catarina. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Para a coleta da biomassa nas parcelas foram adotados dois critérios: (a) quando o número de indivíduos era reduzido, menor ou igual a 10 indivíduos na parcela, ou a massa individual de cada representante era reduzida, todos os indivíduos foram coletados e pesados ou (b) para as espécies com maior número de indivíduos e maior massa individual, foram

coletados e pesados apenas 5 plantas da espécie. Neste caso, a massa média dos indivíduos foi multiplicada pelo número de indivíduos da parcela para o cálculo da biomassa total. Todos os indivíduos de cada espécie foram contados em cada parcela, para em seguida ser realizada a roçada.

Os levantamentos fitossociológicos e a quantificação da biomassa foram realizados em maio de 2018 (8 meses após a última queimada) (Roçada 1), agosto de 2019 (15 meses após a Roçada 1) (Roçada 2) e setembro de 2019 (24 meses após a queimada) (Roçada 3). As roçadas de maio de 2018 e agosto de 2019 foram feitas nas mesmas parcelas, de modo a registrar o incremento de biomassa ocorrido nas espécies que passaram pela roçada mecanizada na roçada 1 (Figura 10b e 10c). A coleta feita em setembro de 2019 foi realizada na mesma área, porém em parcelas contíguas às parcelas fixas utilizadas para as duas primeiras coletas (Figura 10d). Assim, a coleta em setembro de 2019 foi realizada para verificar a produção de biomassa após 2 anos da última queimada, sem a ocorrência de intervenções na área. Na área de coleta, o gado bovino teve acesso ao pastejo durante todo o período do estudo.

Foram ainda calculados os seguintes parâmetros fitossociológicos propostos por Mueller-Dombois & Ellenberg (1974) (ADEGAS et al. 2010).

$$F = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de parcelas onde a espécie foi encontrada}}{\text{n}^{\circ} \text{ total de parcelas}} \quad (11)$$

$$FR = \frac{\text{frequência da espécie} \times 100}{\text{frequência total das espécies}} \quad (12)$$

$$D = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ total de indivíduos de espécies}}{\text{n}^{\circ} \text{ total de parcelas}} \quad (13)$$

$$DR = \frac{\text{densidade da espécie} \times 100}{\text{densidade total das espécies}} \quad (14)$$

$$A = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ total de indivíduos de espécies}}{\text{n}^{\circ} \text{ total de parcelas onde a espécie foi encontrada}} \quad (15)$$

$$AR = \frac{\text{abundância de espécie} \times 100}{\text{abundância total das espécies}} \quad (16)$$

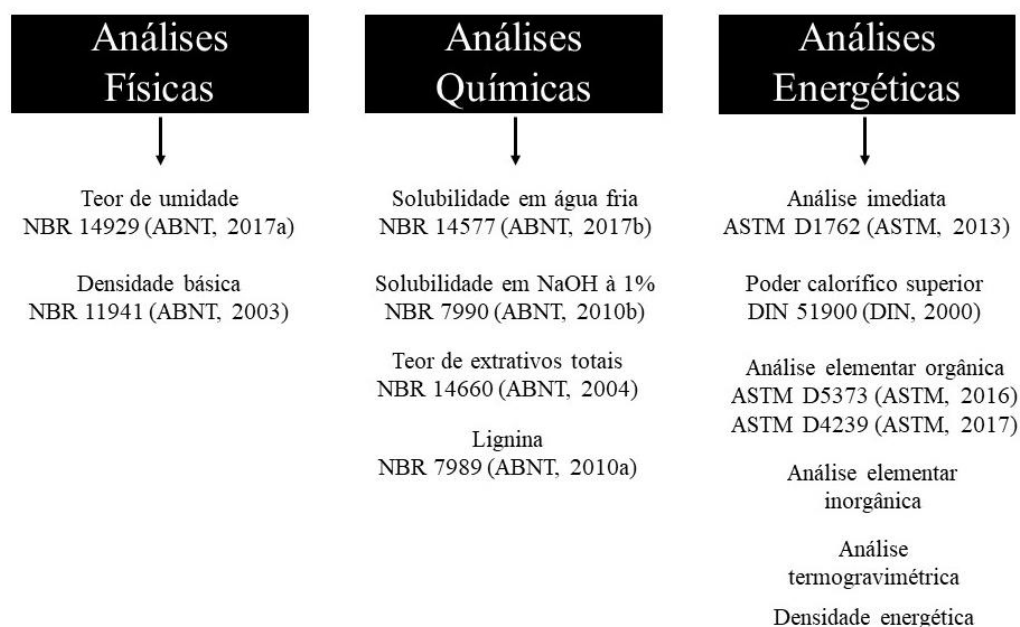
$$IR = FR + DR + AR \quad (17)$$

Onde: F: Frequência (adimensional); FR: Frequência relativa (%); D: Densidade (adimensional); DR: Densidade relativa (%); A: Abundância (adimensional); AR: Abundância relativa (%); IR: Índice de importância relativa (%). A abundância total das espécies foi obtida pela somatória da abundância de todas as espécies encontradas. A densidade total das espécies foi obtida pela somatória da densidade de todas as espécies encontradas.

A biomassa de cada espécie recém coleta foi acondicionada em sacos plásticos, com o intuito de não haver alteração no teor de umidade. Posteriormente, em laboratório foi determinado o teor de umidade do material recém coletado.

Para a caracterização física, química e energética (Figura 13), as espécies apenas da roçada 1 e roçada 2 foram analisada *in natura* com uma pré-secagem a 55 C° por 72 horas. A biomassa foi moída em moinho de martelo com abertura de tela de 5 mm, e após moagem, a serragem utilizada nas análises passou pela peneira de 40 mesh e ficou retida em peneira de 60 mesh. Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em câmara climatizada.

Figura 13. Fluxograma da caracterização física, química e energética da biomassa dos campos de altitude



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Com relação às análises não normatizadas, dentre as propriedades energéticas, a análise termogravimétrica (TGA) foi realizada na biomassa *in natura* e na lignina residual, obtida no procedimento de determinação da lignina insolúvel em ácido (ABNT, 2010a). Para determinar o comportamento térmico do material foi utilizada uma termobalança gravimétrica, TGA 2000 da marca NAVAS Instruments. A combustão foi realizada sob condição de ar atmosférico, taxa de aquecimento de 10 °C/min, desde a temperatura ambiente até 1000 °C, até massa residual contante. As curvas termogravimétricas (TG), para a perda de massa, foram definidas em

função da temperatura. A primeira derivada (DTG) representada por dM/dT , foi utilizadas para avaliar a velocidade da perda de massa.

O procedimento adotado para a análise elementar inorgânica seguiu a metodologia descrita por Henne et al (2020) com algumas alterações. Desta forma o procedimento consistiu em calcinar as amostras à 525°C, durante 8 a 10 horas. Posteriormente, foram pesados 50mg de cada amostra, acondicionados em tubos individuais contendo 3 ml de HNO₃ (ácido nítrico) 65%, 2 ml de H₂O₂ (peróxido de hidrogênio) 30%, para digestão inicial das amostras, mantendo esta mistura durante 48 horas para reação. Em seguida, as amostras foram colocadas em Microondas Anton Paar Multiwave 3000 com curva de temperatura chegando a 160°C durante 1 hora. Após este período as amostras foram resfriadas e transferidas para tubos calibrados de 50 ml, diluídas com 30 ml de água destilada e colocados na centrifuga a 4000 rpm por 10 minutos, para separar os materiais sólidos que ainda permaneceram na amostra. A parte líquida foi transferida para tubos calibrados de 50 ml. Em seguida, ao material sólido foi adicionado 2 ml de HF(ácido fluorídrico) 40% e mantido durante 72 horas para reação. Após este período foi adicionado 20 ml de H₃BO₃ (ácido bórico) 4% para neutralização, seguida de diluição com água destilada até 30 ml. Esta solução foi utilizada para determinação elementar, utilizando espectrometria de emissão óptica, com plasma individualmente acoplado (ICPOES), PerkinElmer Modelo Optima 8300.

As concentrações de K foram determinadas por emissão atômica em fotômetro de chama modelo DM-62 (Digimed®). O procedimento de preparo da amostra seguiu a mesma metodologia adotada pela técnica de ICPOES descrita anteriormente.

A densidade energética (DE) foi calculada pelo produto entre o poder calorífico superior (PCS) e a densidade básica (DB) para cada espécie. O estoque energético por unidade de área (Gcal/ha) foi calculado pelo produto do poder calorífico superior (Gcal/kg) pela produção de massa seca por unidade de área (kg/ha).

Para todas as propriedades (exceção análise elementar orgânica), as análises foram realizadas em triplicata para cada amostra, obtidas as médias e coeficiente de variação. Depois da aplicação da ANOVA foi aplicado o teste de médias pelo método Scott Knott a um nível de confiança de 95%. Para estabelecer o nível de correlação entre as variáveis analisadas, foi realizado o Coeficiente de correlação de Pearson entre as propriedades químicas e energéticas.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.3.1 Potencial produtivo da biomassa e estoque energético em campos de altitude

A produção de biomassa variou em função do intervalo de tempo entre a realização das roçadas e a última queimada realizada na área. A produção de biomassa úmida na roçada 3 (24 meses após a queimada, sem roçada) foi mais de 4,5 vezes maior que na roçada 1 (oito meses após a queimada, sem roçada) na mesma área, em parcelas vizinhas. Já a produção de biomassa úmida foi similar depois de 8 meses após a queimada (roçada 1) e após 15 meses após a primeira roçada, sem queimada (roçada 2) nas mesmas parcelas (Tabela 17).

Tabela 17. Produção de massa e teor de umidade das principais espécies herbáceas presentes em campo de altitude no estado de Santa Catarina (Continua)

Espécies	Roçada 1 (8 meses após a queimada)		
	MU (kg/ha)	MS (kg/ha)	TU (%)
<i>B. articulata</i>	6,63	3,60	45,66
<i>B. crispa</i>	872,18	518,33	40,57
<i>S. angustifolium</i>	1219,68	513,61	57,89
<i>E. horridum</i>	1558,78	482,29	69,06
<i>A. lateralis</i>	18,88	11,92	36,83
<i>M. oblongata</i>	180,30	103,26	42,73
<i>P. aquilinum</i>	184,53	75,64	59,01
<i>S. brasiliensis</i>	-	-	-
Total	4040,98	1708,65	-
Espécies	Roçada 2 (15 meses após a roçada 1)		
	MU (kg/ha)	MS (kg/ha)	TU (%)
<i>B. articulata</i>	33,00	16,78	49,16
<i>B. crispa</i>	578,13	296,40	48,73
<i>S. angustifolium</i>	539,43	257,20	52,32
<i>E. horridum</i>	2140,25	797,03	62,76
<i>A. lateralis</i>	16,05	10,01	37,66
<i>M. oblongata</i>	157,63	78,89	49,95
<i>P. aquilinum</i>	73,00	61,41	15,88
<i>S. brasiliensis</i>	149,00	47,32	68,24
Total	3686,49	1565,04	-

Tabela 17. Produção de massa e teor de umidade das principais espécies herbáceas presentes em campo de altitude no estado de Santa Catarina (Conclusão)

Espécies	Roçada 3 (24 meses após a queimada)		
	MU (kg/ha)	MS (kg/ha)	TU (%)
<i>B. articulata</i>	269,73	132,54	50,86
<i>B. crispa</i>	41,13	22,32	45,72
<i>S. angustifolium</i>	4287,98	2001,63	53,32
<i>E. horridum</i>	13751,62	4712,68	65,73
<i>A. lateralis</i>	0,00	0,00	38,38
<i>M. oblongata</i>	1,90	0,99	47,89
<i>P. aquilinum</i>	17,75	14,74	16,98
<i>S. brasiliensis</i>	38,75	12,31	68,24
Total	18408,86	6897,21	-

Onde: UM: Massa úmida; MS: Massa seca; TU: Teor de umidade *in natura*. Fonte: Elaborado pela autora, 2019

Os valores obtidos neste trabalho foram intermediários aos obtidos por outros autores que trabalharam com ecossistemas campestres nativos sujeitos a ocorrência de queimadas (Tabela 18). Porém, quando a produtividade do campo de altitude é comparada com plantios de gramíneas para a geração de energia ou sistemas florestais, tanto nativos como plantados, destinados para a geração de energia, a produção de biomassa do campo de altitude foi muito pequena.

De forma geral, a produção total de biomassa úmida por unidade de área na operação de roçada foi pequena em períodos inferiores a 24 meses após a queimada.

Tabela 18. Produção de biomassa por unidade de área de diferentes formações vegetais no Brasil (Continua)

Formação vegetal	Características da biomassa	Produção (kg/ha)
Campos nativos do Rio Grande de Sul (30°02'00''S e 30°04'40''S e 51°06'30''W e 51°09'00''W) ⁽¹⁾	Biomassa herbácea acima do solo, após 12 meses da última queimada	2.276,65
Campos nativos da região central do Brasil (cerrado) ⁽²⁾	Campo limpo - vegetação exclusivamente herbácea, com arbustos raros e ausência de árvores, sujeita a incêndios	5.500
Capim elefante cultivado (<i>Pennisetum purpureum</i> Schumach)	Gramínea cultivada para alimentação animal e produção de energia após 160 dias do plantio ⁽³⁾	121.000 a 136.000
	Plantio de uso energético após 12 meses do plantio ⁽⁴⁾	25.450 a 113.500
	Plantios energéticos após 12 meses de plantio ⁽⁵⁾	208.200 a 260.600

Tabela 18. Produção de biomassa por unidade de área de diferentes formações vegetais no Brasil (Conclusão)

Formação vegetal	Características da biomassa	Produção (kg/ha)
Sorgo energético	Plantios energéticos após 12 meses de plantio ⁽⁵⁾	106.300
Cana-de-açúcar	Plantios energéticos após 12 meses de plantio ⁽⁵⁾	110.400 a 137.200
Caatinga, na região sul do Piauí (Brasil) (9°29'03" a 9°53'16" S, 43°51'35" a 44°25'13"O) ⁽⁶⁾	Troncos de árvores sem a inclusão de galhos	106.000 a 160.000
	Árvores inteiras, com galhos	170.000
Plantios de <i>Pinus taeda</i> L., de uso múltiplo, sul do Brasil ⁽⁷⁾	Poda das árvores (3 anos de idade)	13.460 (galhos)
		16.910 (folhas)
		63.420 (galhos)
	Colheita (24 anos)	27.450 (folhas)
		4.070 (copa)

Fonte: (1) Fidelis et al. (2006); (2)Roquette (2018): valores baseados em estudos anteriores; (3) Saraiva & König (2013), (4) Marafon et al. (2014); (5) Marafon et al. (2017); (6) Brand (2017); (7) Brand et al. (2014): Copa: tronco com menos de 8 cm de diâmetro de galhos ou folhas.

O potencial produtivo variou entre as espécies componentes da vegetação. A produção de massa úmida foi maior para a espécie *E. horridum* em todas as roçadas. Já a espécie *S. angustifolium* foi a segunda a produzir mais biomassa úmida nas roçadas 1 e 3. Portanto, o *S. angustifolium* não teve uma retomada de crescimento e produção de biomassa após a roçada, sem a presença do fogo. Na roçada 2 foi a *B. crispa* que produziu mais massa úmida (Tabela 17).

Em função do alto teor de umidade do *E. horridum* e *S. angustifolium* na roçada 1, o *B. crispa* teve a maior produção de massa seca nesta roçada. Já nas roçadas 2 e 3 o *E. horridum* continuou sendo a espécie que mais contribuiu para a produção de biomassa seca no campo de altitude. O elevado teor de umidade da biomassa herbácea contribuiu de forma importante para a redução da produção de biomassa seca, que determina o potencial energético da biomassa.

O *S. brasiliensis* não esteve presente na primeira roçada, havendo representantes da espécie somente na segunda e terceira roçadas. Já as espécies com menor potencial de produção de biomassa seca variaram entre as roçadas, sendo o *B. articulata* e o *A. lateralis*, respectivamente, na primeira roçada, o *A. lateralis* e *B. articulata* na segunda roçada, e a *M. oblongata* na terceira roçada. A espécie *A. lateralis* não esteve presente na terceira roçada.

O estoque energético das plantas herbáceas dos campos de altitude (Gcal/ha), que é produto do poder calorífico superior (Gcal/kg) pela produção de massa seca por unidade de área

(kg/ha), foi baixo quando comparado como sistemas de campo semi-naturais (MELTS et al., 2013,) e com florestas nativas manejadas para a produção de energia, com ciclo de corte de 13 anos (BRAND, 2017). No entanto, mesmo a primeira roçada teve um estoque de energia maior que plantios da espécie arbórea *Ateleia glazioviana* com um ano de idade. O valor anual da biomassa da roçada 3 foi intermediário aos observados para plantios com um ano de idade das espécies *Acacia mearnsii*, *Eucalyptus grandis* e *Mimosa scabrella* (ELOY et al., 2015) (Tabela 19).

Tabela 19. Estoque energético por unidade de área das espécies de campo de altitude e biomassa de outras sistemas nativos e implantados

Formação vegetal	Estoque energético (Gcal/ha)
Campos de altitude (Roçada 1 - 8 meses após a queimada)	7,665
Campos de altitude (Roçada 2 - 15 meses após a roçada 1)	6,949
Campos de altitude (Roçada 3 - 24 meses após a queimada)	30,782
Semi-natural grasslands-Estônia (Gcal/ha/ano)	24,50 ⁽¹⁾
Caatinga biome – Brazil. Biomassa de árvores e arbustos, incluindo galhos, ciclo de corte de 13 anos.	603,961 a 619,512 ⁽²⁾
<i>Acacia mearnsii</i> De Wild (distributed in different spacing in planting, at ages of 1 and 3 years. (biomassa total = madeira, casca, galhos e folhas).	<i>A. mearnsii</i> ⁽³⁾ 9 a 24,5 (1 ano) 121,5 a 447 (3 anos)
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hill ex Maiden (distributed in different spacing in planting, at ages of 1 and 3 years. (biomassa total = madeira, casca, galhos e folhas).	<i>E. grandis</i> ⁽³⁾ 18 a 46 (1 ano) 206 a 615 (3 anos)
<i>Mimosa scabrella</i> Benth (distributed in different spacing in planting, at ages of 1 and 3 years. (biomassa total = madeira, casca, galhos e folhas).	<i>M. scabrella</i> ⁽³⁾ 10 a 22 (1 ano) 45 a 167 (3 anos)
<i>Ateleia glazioviana</i> Baill (distributed in different spacing in planting, at ages of 1 and 3 years. (biomassa total = madeira, casca, galhos e folhas).	<i>A. glazioviana</i> ⁽³⁾ 0,8 a 1,5 (1 ano) 43 a 108 (3 anos)

Fonte: ⁽¹⁾Melts et al. (2013); ⁽²⁾Brand (2017). ⁽³⁾Eloy et al. (2015).

No entanto, esta biomassa não é aproveitada pelo gado e seria perdida no processo de queimada ou roçada do campo para a preparação da área para o pastoreio dos animais. Assim, esta biomassa pode se constituir em recurso energético e fonte de renda para os produtores

rurais desde que seja utilizado um sistema de coleta acoplado ao equipamento de roçada mecanizado.

3.3.2 Caracterização da vegetação de campo nativo de altitude

Quando avaliados os índices fitossociológicos (Tabela 20) em conjunto com a produção de biomassa, o *S. angustifolium* e o *E. horridum*, com as maiores produções de biomassa também foram as espécies com maior número de indivíduos por unidade de área, independentemente do período após a queimada ou intervalo entre roçadas.

Tabela 20. Índices fitossociológicos das espécies herbáceas em campo de altitude no estado de Santa Catarina em diferentes fases de crescimento (Continua)

Espécies	Roçada 1 (8 meses após a queimada)				
	Nº ind/ha	F	D	A	IR
<i>B. articulata</i>	75	0,25	0,38	1,50	7,33
<i>B. crista</i>	3125	1,00	15,63	15,63	49,56
<i>S. angustifolium</i>	7425	1,00	37,13	37,13	85,39
<i>E. horridum</i>	6375	1,00	31,88	31,88	76,64
<i>A. lateralis</i>	100	0,13	0,50	4,00	6,33
<i>M. oblongata</i>	1200	0,38	6,00	16,00	26,13
<i>P. aquilinum</i>	3075	0,50	15,38	30,75	48,62
<i>S. brasiliensis</i>	-	-	-	-	-
Espécies	Roçada 2 (15 meses após a roçada 1)				
	Nº ind/ha	F	D	A	IR
<i>B. articulata</i>	800	0,63	4,00	6,40	16,73
<i>B. crista</i>	3050	1,00	15,25	15,25	35,80
<i>S. angustifolium</i>	8000	1,00	40,00	40,00	67,40
<i>E. horridum</i>	9675	1,00	48,38	48,38	78,09
<i>A. lateralis</i>	150	0,13	0,75	6,00	6,10
<i>M. oblongata</i>	3425	0,63	17,13	27,40	38,14
<i>P. aquilinum</i>	3375	0,75	16,88	22,50	37,11
<i>S. brasiliensis</i>	675	1,00	3,38	3,38	20,64

Tabela 20. Índices fitossociológicos das espécies herbáceas em campo de altitude no estado de Santa Catarina em diferentes fases de crescimento (Conclusão)

Espécies	Roçada 3 (24 meses após a queimada)				
	Nº ind/ha	F	D	A	IR
<i>B. articulata</i>	2250	0,88	11,25	12,86	27,68
<i>B. crispa</i>	1125	1,00	5,63	5,63	23,44
<i>S. angustifolium</i>	12650	1,00	63,25	63,25	81,43
<i>E. horridum</i>	21500	1,00	107,50	107,50	125,97
<i>A. lateralis</i>	-	-	-	-	-
<i>M. oblongata</i>	200	0,38	1,00	2,67	8,50
<i>P. aquilinum</i>	1375	0,88	6,88	7,86	22,96
<i>S. brasiliensis</i>	150	0,50	0,75	1,50	10,02

Onde: F: Frequência (adimensional); D: Densidade (adimensional); A: Abundância (adimensional); IR: Índice de importância relativa (%). Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Fidelis et al. (2008) encontraram elevados números de indivíduos por unidade de área em estudo dos efeitos da perturbação na biologia populacional da espécie *Eryngium horridum* Malme em pastagens no sul do Brasil. O maior número de indivíduos por unidade de área de *E. horridum*, principalmente jovens, foi observado em áreas sob a influência de fogo e pastejo e em áreas recentemente queimadas, enquanto os adultos foram dominantes em áreas excluídas dos distúrbios como fogo ou pastejo. Os autores concluíram que o fogo claramente aumentou a reprodução vegetativa e levou ao crescimento da população. O pastoreio favoreceu passivamente a espécie, uma vez que foi principalmente rejeitada pelo gado.

A frequência, densidade e abundância, aliada a elevada produção de biomassa do *E. horridum* confirma a alteração do ambiente que vem sendo provocada pelo fogo, conforme destacado por Boldrini (2009). Da mesma forma, o *B. articulata* foi a espécie com menor número de indivíduos por unidade de área na roçada 1, o *A. lateralis* na roçadas 2 e o *S. brasiliensis* na roçada 3.

Quanto à frequência, que representa o número de parcelas nas quais as espécies estiveram presentes, o *E. horridum*, *S. angustifolium* e *B. crispa* ocorreram em toda a área analisada, apresentando índice 1,00, enquanto as espécies com menor frequência foram o *A. lateralis*; o *B. articulata* e a *M. oblongata*, indicando que estas espécies ocorreram de forma concentrada em alguns locais. Quanto a *M. oblongata* foi possível verificar durante as roçadas que a espécie era observada em locais com presença de pedras no solo.

Para a densidade, que representa o número total de indivíduos da espécie em relação ao número de parcelas analisadas, o *S. angustifolium* e o *E. horridum* apresentam elevado número de indivíduos em todas as parcelas amostradas.

O cálculo dos parâmetros fitossociológicos clássicos (*sensu* Müller-Dombois e Ellenberg 1974) geralmente é o primeiro passo da análise de dados. Além disso, se as espécies forem ordenadas de acordo com os valores médios de abundância, isso proporciona uma boa caracterização dos principais padrões da comunidade (ANDRADE et al., 2019a). Assim, a abundância, que representa o número de indivíduos da espécie em relação ao número de parcelas em que a espécie ocorre também confirmou a abundância do *S. angustifolium* e *E. horridum*. Já o *P. aquilinum* e a *M. oblongata*, são abundantes, porém com ocorrência limitada a apenas algumas parcelas, indicando sua ocorrência de forma concentrada.

Como complemento dos dados, o índice de importância relativa, que representa a somatória da frequência, densidade e abundância relativas, indicou que as espécies mais importantes na área de estudo foram o *E. horridum* e o *S. angustifolium*.

Andrade et al. (2019b) fizeram a primeira classificação de campos do Sul do Brasil (*Campos Sulinos*) com base em dados quantitativos da vegetação. Os autores descreveram os tipos de campos em termos de espécies dominantes e indicadoras. Os resultados indicaram que entre as dez espécies com maior cobertura relativa para toda a região, foram encontrados representantes de diferentes formas de vida. Dentre as gramíneas se destacou o *A. lateralis*, entre os subarbustos o *B. crista*. Uma espécie conspícua encontrada em toda a região foi o *E. horridum*, podendo se tornar muito abundante, também em resposta ao regime de perturbação. Overbeck et al. (2018) também destacaram as espécies *A. lateralis* e o *B. crista* como importantes componentes da formação dos campos de altitude.

3.3.3 Potencial energético das espécies herbáceas de campo de altitude

As espécies avaliadas tiveram variação na composição química para os extrativos, e para a lignina, tanto na primeira como na segunda roçadas, quando a plantas estavam em diferentes fases do período vegetativo (Tabela 21).

Tabela 21. Caracterização química das espécies herbáceas em campo de altitude

Espécies	Roçada 1 (8 meses após a queimada)						
	EAF (%)	EAQ (%)	ENaOH _{1%} (%)	EET (%)	EE (%)	ET (%)	L (%)
<i>B. articulata</i>	10,05 ^e	14,37 ^d	51,46 ^b	25,02 ^a	4,01 ^c	43,29 ^b	20,93 ^d
<i>B. crispa</i>	14,09 ^c	15,98 ^c	43,62 ^d	18,84 ^c	3,93 ^c	38,75 ^c	22,69 ^c
<i>S. angustifolium</i>	8,65 ^f	9,20 ^f	45,91 ^c	8,61 ^f	2,70 ^d	20,51 ^f	18,97 ^e
<i>E. horridum</i>	17,18 ^b	18,29 ^b	43,49 ^d	14,03 ^d	5,09 ^b	37,41 ^d	19,60 ^e
<i>A. lateralis</i>	4,90 ^g	7,77 ^g	41,34 ^e	11,35 ^e	2,91 ^d	22,03 ^e	17,61 ^f
<i>M. oblongata</i>	12,24 ^d	13,32 ^e	37,35 ^f	21,14 ^b	3,83 ^c	38,29 ^c	34,53 ^b
<i>P. aquilinum</i>	26,08 ^a	26,78 ^a	58,88 ^a	20,94 ^b	8,56 ^a	56,29 ^a	40,71 ^a
<i>S. brasiliensis</i>	-	-	-	-	-	-	-
Média Geral	13,31	15,1	46,01	17,13	4,43	36,67	25,01
CV (%)	1,3	1,74	1,12	2,35	2,75	1,23	1,63
Espécies	Roçada 2 (15 meses após a roçada 1)						
	EAF (%)	EAQ (%)	ENaOH (%)	EET (%)	EE (%)	ET (%)	L (%)
<i>B. articulata</i>	27,29 ^c	31,45 ^c	59,13 ^b	41,03 ^a	4,10 ^f	76,92 ^b	29,06 ^c
<i>B. crispa</i>	33,34 ^b	38,73 ^a	67,00 ^a	39,61 ^b	4,36 ^f	82,70 ^a	28,62 ^c
<i>S. angustifolium</i>	7,42 ^f	11,53 ^f	48,31 ^d	12,30 ^h	3,10 ^g	26,93 ^h	24,50 ^d
<i>E. horridum</i>	14,02 ^e	18,95 ^d	46,46 ^e	17,98 ^e	4,84 ^e	41,77 ^e	20,37 ^f
<i>A. lateralis</i>	7,62 ^f	11,99 ^e	51,99 ^c	16,68 ^f	6,99 ^b	35,67 ^f	22,54 ^e
<i>M. oblongata</i>	25,71 ^d	31,79 ^c	59,06 ^b	35,95 ^c	5,19 ^d	72,93 ^c	39,87 ^b
<i>P. aquilinum</i>	4,01 ^g	7,79 ^g	42,02 ^f	14,46 ^g	8,74 ^a	30,98 ^g	42,71 ^a
<i>S. brasiliensis</i>	34,32 ^a	36,45 ^b	67,15 ^a	25,72 ^d	5,92 ^c	68,09 ^d	29,50 ^c
Média Geral	19,22	23,63	55,14	25,47	5,40	54,50	29,65
CV (%)	1,08	1,1	1,32	2,89	3,26	1,26	1,42

Onde: EAF: Teor de extrativos em água fria; EAQ: Teor de extrativos em água quente; ENaOH_{1%}: Teor de extrativos em hidróxido de sódio à 1%; EE: Teor de extrativos em etanol; EET: Teor de extrativos em etanol-tolueno; ET: Teor de Extrativos Totais; L: Teor de Lignina; CV: coeficiente de variação. A espécie *S. brasiliensis* não foi realizada a caracterização devido a ausência na Roçada 1. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quanto aos extrativos solúveis em água, este solvente neutro remove os compostos inorgânicos, taninos, gomas, açúcares, materiais coloridos, na água fria. E na água quente, todos os anteriormente mencionados, incluindo o amido (ABNT, 2017b). Os extrativos em solventes orgânicos (etanol-tolueno e etanol) se constituem em extrair ceras, elementos graxos, algumas resinas e possivelmente algumas partes de goma (ABNT, 2004).

A quantidade de extrativos totais foi elevada em todas as espécies avaliadas excedendo em todos os casos a quantidade de lignina presente nos tecidos vegetais. A quantidade de extrativos, juntamente com o teor de lignina são indicativos da qualidade energética de biocombustíveis como a madeira. Soares et al. (2012) encontraram correlação, pelo coeficiente de Pearson, mais forte entre o poder calorífico e o teor de lignina do que entre o poder calorífico e o teor de extrativos na madeira de espécies de *Eucalyptus*. Isso porque a madeira tem maior teor de lignina e menor quantidade de extrativos.

No entanto, como nas gramíneas os teores de extrativos totais foram os compostos majoritários na composição estrutural das plantas foi possível observar que o efeito dos extrativos no poder calorífico foi maior que o da lignina. O coeficiente de correlação de Pearson entre o poder calorífico e o teor de extrativos em etanol-tolueno ($R^2 = 0,72$) e entre os extrativos totais ($R^2 = 0,64$) (Tabela 22).

Resíduos agrícolas (por exemplo, palha de milho) geralmente contêm ~ 35% em peso de celulose, ~ 24% em peso de hemicelulose e ~ 22% em peso de lignina, enquanto plantas dedicadas (por exemplo, culturas herbáceas) têm mais celulose (> 38% em peso) e menos lignina ($\pm 19\%$ em peso) (JOHNSON et al. (1994); JEFFERSON et al. (2004), BECIDAN et al. (2007); CHENG et al., 2020). Estes valores são próximos aos observados para as espécies herbáceas e gramíneas analisadas neste estudo.

Tabela 22. Correlação de Pearson para as propriedades físicas, químicas e energéticas das espécies herbáceas estudadas

	DE	PCS	DB	EAF	EAQ	EE	EET	ET	L	TC	TV	TCF	NaOH _{1%}
DE	1	0,81	0,99	0,41	0,41	0,00	0,62	0,53	0,59	-0,56	0,07	0,41	0,16
PCS	-	1	0,70	0,57	0,56	-0,14	0,72	0,64	0,35	-0,74	0,39	0,18	0,29
DB	-	-	1	0,34	0,33	0,04	0,55	0,45	0,61	-0,50	-0,01	0,45	0,11
EAF	-	-	-	1	0,98	0,15	0,78	0,92	0,34	-0,29	0,25	-0,04	0,85
EAQ	-	-	-	-	1	0,15	0,84	0,96	0,34	-0,25	0,21	-0,03	0,88
EE	-	-	-	-	-	1	0,03	0,18	0,65	0,45	-0,67	0,44	0,22
EET	-	-	-	-	-	-	1	0,95	0,38	-0,39	0,18	0,14	0,72
ET	-	-	-	-	-	-	-	1	0,43	-0,29	0,14	0,10	0,85
L	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,03	-0,61	0,82	0,27
TC	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,65	-0,13	-0,07
TV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,67	0,07
TCF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-0,02
NaOH _{1%}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Onde: TU: Teor de umidade (%); PCS: Poder calorífico superior (kcal/kg); EAF: Teor de extrativos em água fria (%); ENaOH_{1%}: Teor de extrativos em hidróxido de sódio à 1% (%); ET: Teor de Extrativos totais (%); L: Teor de lignina (%); TC: Teor de cinzas (%); TV: Teor de voláteis (%); TCF: Teor carbono fixo (%); DE: Densidade energética (Mcal/m³); DB: Densidade básica (kg/m³). Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As correlações entre o teor de extrativos em água fria ($R^2 = 0,85$), água quente ($R^2 = 0,88$), etanol tolueno ($R^2 = 0,72$) e extrativos totais ($R^2 = 0,85$) também foram altas e positiva com a solubilidade do tecido das herbáceas em solução de hidróxido de sódio fraca. A solubilização do tecido vegetal em solução básica fraca (NaOH a 1% de concentração) representa a solubilização de extrativos e carboidratos de baixa massa molecular, que consistem principalmente em algumas polioses e celulose degradada (ABNT, 2010b).

Além dos extrativos, o teor de cinzas (Tabela 23) foi a propriedade energética com maior correlação negativa ($R^2 = -0,74$) com o poder calorífico superior (Tabela 22).

O teor de lignina por sua vez apresentou alta correção positiva com o teor de carbono fixo ($R^2 = 0,82$), visto que este é o composto com maior quantidade de carbono e com maior estabilidade no processo a queima da biomassa, remanescendo na forma de carbono fixo durante o processo de combustão.

Tabela 23. Caracterização energética das espécies herbáceas em campo de altitude

Espécies	Roçada 1 (8 meses após a queimada)					
	TV (%)	TC (%)	TCF (%)	PCS (kcal/kg)	DB (kg/m ³)	DE (Mcal/m ³)
<i>B. articulata</i>	79,5 ^a	4,17 ^f	16,33 ^b	4680 ^a	-	-
<i>B. crispa</i>	77,35 ^b	5,64 ^e	17,01 ^b	4625 ^a	224 ^b	1037 ^b
<i>S. angustifolium</i>	76,48 ^b	7,44 ^b	16,07 ^c	4427 ^b	169 ^d	749 ^d
<i>E. horridum</i>	79,34 ^a	7,22 ^c	13,44 ^b	4449 ^b	165 ^d	735 ^d
<i>A. lateralis</i>	77,31 ^b	6,35 ^d	16,34 ^b	4244 ^c	174 ^d	713 ^d
<i>M. oblongata</i>	74,66 ^c	6,25 ^d	19,09 ^a	4582 ^a	294 ^a	1346 ^a
<i>P. aquilinum</i>	71,74 ^d	7,63 ^a	20,63 ^a	4396 ^b	197 ^c	824 ^c
<i>S. brasiliensis</i>	-	-	-	-	-	-
Média Geral	76,63	6,39	16,99	4486	202,28	901
CV (%)	1,2	1,29	5,59	1,24	1,78	1,92
Espécies	Roçada 2 (15 meses após a roçada 1)					
	TV (%)	TC (%)	TCF (%)	PCS (kcal/kg)	DB (kg/m ³)	DE (Mcal/m ³)
<i>B. articulata</i>	77,79 ^a	6,31 ^g	15,91 ^c	4928 ^a	240 ^b	1182 ^a
<i>B. crispa</i>	76,00 ^b	6,82 ^f	17,18 ^b	4489 ^c	208 ^d	933 ^c
<i>S. angustifolium</i>	73,29 ^d	9,88 ^d	16,83 ^b	4101 ^f	162 ^f	664 ^d
<i>E. horridum</i>	75,12 ^c	10,93 ^b	13,95 ^d	4264 ^e	157 ^f	670 ^d
<i>A. lateralis</i>	70,41 ^e	13,62 ^a	15,98 ^c	4096 ^f	172 ^e	704 ^d
<i>M. oblongata</i>	73,82 ^d	5,37 ^h	20,81 ^a	4818 ^b	252 ^a	1215 ^a
<i>P. aquilinum</i>	67,98 ^f	10,38 ^c	21,64 ^a	4343 ^d	223 ^c	968 ^c
<i>S. brasiliensis</i>	77,25 ^a	8,31 ^e	14,43 ^d	4482 ^c	232 ^b	1038 ^b
Média Geral	73,96	8,95	17,09	4440	205,67	922
CV (%)	0,68	0,90	2,93	0,78	2,8	2,79

Onde: TV: Teor de voláteis; TC: Teor de cinzas; TCF: Teor carbono fixo; PCS: Poder Calorífico Superior; DB: Densidade básica; DE: Densidade energética. CV: coeficiente de variação. A espécie *S. brasiliensis* não foi realizada a caracterização devido a ausência na Roçada 1 e a densidade energética da espécie *B. articulata* não foi realizada devido à falta de amostra. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

As propriedades energéticas variaram entre as espécies analisadas (Tabela 23). As espécies com os maiores valores de teor de voláteis foram o *E. horridum* e as duas espécies do gênero *Baccharis*, indicando que estas espécies terão maior emissão de energia na fase inicial de queima, com maior emissão, ignição e queima de voláteis, queimando de forma mais rápida e com menor tempo de residência nos sistemas de queima em comparação com o *P. aquilinum* e a *M. oblongata* que tiveram maior teor de carbono fixo. Estas duas últimas espécies terão em contrapartida maior tempo de residência durante a queima em câmaras de combustão.

Afonso et al. (2018) avaliando material combustível do solo de plantios de *Pinus elliottii* obtiveram valores de voláteis variando de 56,13 a 74,57% para amostras contendo folhas e galhos finos das árvores; teor de carbono variando de 21,72% a 25,05% e teor de cinzas variando de 3,92 a 22,15%. Neste sentido, as gramíneas tiveram teores de voláteis similares ou semelhantes à biomassa do pinus, menos carbono fixo e teor de cinzas dentro do que foi observado para galhos e folhas de pinus. A biomassa de *Pinus* é um importante recurso energético na região de ocorrência dos campos de altitude.

O teor de cinzas das espécies foi elevado, principalmente considerando as espécies mais importantes na composição da vegetação (*S. angustifolium* e *E. horridum*). Os menores teores de cinzas são os mais adequados para a geração de energia.

O poder calorífico superior foi maior para o *B. articulata* em ambas as roçadas. Em ambas as roçadas o menor valor foi do *A. lateralis*. O valor médio de todas as espécies foi em torno de 4400 kcal/kg. Afonso et al. (2018) registraram 3540 kcal/kg em material combustível de serapilheira de floresta de *Pinus* e Brand et al. (2014), avaliando a qualidade energética de componentes de árvores de *Pinus taeda* com diferentes idades obtiveram valores variando de 4812 a 4976 kcal/kg para galhos e 5040 a 5258 kcal/kg para folhas (acículas). Portanto, o PCS das gramíneas foi similar ou um pouco inferior ao observado para material lignocelulósico oriundo de árvores utilizado para geração de energia na região de estudo. Porém foi superior ao que se obtém para alguns resíduos agrícolas, como a casca de arroz, para o qual Vieira et al. (2013) obtiveram 3503,86 kcal/kg. Este aspecto pode tornar esta biomassa potencial para geração de energia, desde que realizado um tratamento prévio para a redução do teor de umidade.

Além disso, o poder calorífico superior ($R^2=0,81$) teve menor efeito na densidade energética do que a densidade básica dos materiais ($R^2=0,99$), apesar dos dois serem elevados e positivos (Tabela 22).

A densidade energética, que representa a relação entre a densidade básica e poder calorífico superior dos combustíveis, expressa de forma mais clara o potencial energético volumétrico das espécies. Para esta propriedade também houve variação significativa entre as espécies, com os maiores valores obtidos para a *M. oblongata* em ambas as roçadas. Isso pode ser explicado pelo fato desta espécie se tornar arbustivo-arbórea, tendo maior característica lignocelulósica que as demais espécies. Apesar dos menores valores de densidade energética terem sido do *S. angustifolium* e o *E. horridum*, estas foram as espécies que tiveram maior produção de biomassa seca e maior importância na composição da vegetação analisada.

Quanto à composição química elementar orgânica (Tabela 24), a espécie com maior teor de carbono foi o *B. articulata*. Todas as espécies tiveram baixos teores de nitrogênio e enxofre, sendo uma característica desejável para a produção de energia, devido a menor emissão de óxidos de enxofre e óxidos de nitrogênio.

De Paula Protásio et al. (2011) observaram correlação positiva entre o PCS e o teor de H e C, ou seja uma tendência de maiores valores de PCS estarem associados a maiores valores percentuais de H e C. Nós também encontramos valores elevados de correlação entre o PCS e o teor de carbono ($R^2=0,87$) e entre o PCS e teor de hidrogênio ($R^2=0,66$).

O dióxido de carbono fixado na biomassa e liberado para a atmosfera pelo processo de combustão é dependente de fatores externos ao processo, sendo que a velocidade de liberação é determinada principalmente pela temperatura, umidade do material combustível, e da relação C/N da biomassa (SCHNEIDER et al., 2005). A relação C/N estabelece a velocidade na qual o nitrogênio retorna ao seu ciclo natural. Menores valores de C/N da matéria orgânica resulta em um resíduo final melhor para uso como adubo orgânico em função da mineralização do nitrogênio e da solubilização parcial de alguns nutrientes (SILVA; FRANCISCO, 2010).

Com relação ao teor de nitrogênio, altas relações C/N implicam em uma quantidade menor de nitrogênio a ser liberada para o ambiente após a combustão da biomassa. Quanto menor for a relação C/N, mais rápida será a liberação de CO₂ para a atmosfera durante a combustão (DOS REIS et al., 2012), fato este indesejável nos processos de combustão direta. No entanto, para processos de bioconversão anaeróbia, na fermentação, a relação C/N, deve ter um valor compreendido entre 30 e 35. Acima deste valor, o processo é pouco eficaz, já que as bactérias não têm possibilidade de utilizar todo o carbono disponível. Para um valor baixo corre-se o perigo de aumentar a quantidade de amoníaco, que pode atingir os limites da toxicidade (PANNIRSELVAM et al., 2005). Neste contexto, quanto menor essa proporção, melhor a qualidade energética da biomassa para a produção de biogás (FLORES et al., 2013).

Portanto, o *E. horridum* poderia apresentar potencial para a produção de biogás, enquanto *A. lateralis*, *P. aquilinum* e *S. angustifolium* teriam maior potencial para uso em processos de combustão direta.

Cavacos com casca de *Pinus* utilizados na mesma região de estudo para a geração de energia apresentaram valores de 0,16 para H/C e 122,09 para C/N (HENNE et al., 2020). Portanto, as gramíneas apresentaram valores inferiores ao *Pinus* para ambos os índices. Dick et al. (2008) avaliaram campo queimado e pastejado (28°38'S, 51°34'W, e altitude aproximada de 800 m) obtiveram valores de C (43,1%), N (0,70%) e relação C/N (62,00) para a vegetação

acima do solo. Os autores concluíram que na vegetação da pastagem queimada foram observados menores teores de N.

Pequenos acréscimos no teor de hidrogênio promovem elevado ganho no poder calorífico dos combustíveis de biomassa sendo que a relação H/C mostra a capacidade de liberação de energia. Quanto maior a relação H/C, mais energético é o material (DE PAULA PROTÁSIO et al., 2011). Quanto mais altos os resultados para a relação hidrogênio/carbono (H/C), mais altos serão os valores de poder calorífico e, quanto maior ele for, mais energia disponível à conversão do combustível terá (CONSUEGRA, 2013). Neste índice todas as espécies tiveram valores muito próximos.

Tabela 24. Composição química elementar orgânica geral das espécies herbáceas de campo de altitude

Espécies	Análise elementar (%)					Cinzas (%)	Relação atômica	
	C	H	O	N	S	TC	H/C	C/N
<i>B. articulata</i>	48,79	6,43	38,13	1,26	0,15	5,24	0,13	38,72
<i>B. crispa</i>	47,28	6,26	39,08	1,04	0,11	6,23	0,13	45,46
<i>S. angustifolium</i>	42,81	6,03	41,99	0,43	0,08	8,66	0,14	99,56
<i>E. horridum</i>	43,37	5,77	40,32	1,25	0,22	9,08	0,13	34,70
<i>A. lateralis</i>	43,02	6,00	40,56	0,41	0,03	9,99	0,14	104,93
<i>M. oblongata</i>	47,54	6,05	39,78	0,72	0,10	5,81	0,13	66,03
<i>P. aquilinum</i>	47,16	5,97	37,30	0,47	0,10	9,01	0,13	100,34
<i>S. brasiliensis</i>	44,87	6,09	38,63	2,03	0,07	8,31	0,14	22,10

Onde: C: Carbono; H: Hidrogênio; O: Oxigênio; N: Nitrogênio; S: Enxofre; TC; Teor de cinzas médios da Roçada 1 e Roçada 2; H/C e C/N são as relações atômicas. Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Quanto à composição química inorgânica (Tabela 25), com exceção do *P. aquilinum*, que teve como elemento majoritário a sílica, todas as demais espécies tiveram como componente majoritário o potássio, seguido da sílica e como terceiro elemento o cálcio.

A silicificação dos tecidos pode, eventualmente, ser considerada uma estratégia adaptativa das plantas em relação a distúrbios como a queima (QUADROS, 1999). A queima da pastagem favorece o predomínio de vegetação com maior teor de silício e menor teor de nitrogênio. E este efeito persistiu por oito anos após a suspensão da queima em estudo desenvolvido por Dick et al. (2008).

Em geral, a natureza dos problemas e o seu impacto sobre o desempenho do equipamento de combustão depende das características do combustível (sobretudo o teor de cinzas e a composição química inorgânica), bem como a concepção e operação do equipamento de combustão (CHERNEY; VERMA, 2013).

Com relação à composição química das cinzas, os compostos inorgânicos estão presentes em combustíveis de biomassa na forma de óxidos alcalinos e sais e podem agravar problemas de aglomeração, deposição e corrosão nas superfícies de transferência de calor da caldeira (WERTHER et al., 2000). A deposição de partículas de cinzas nas superfícies de troca de calor e paredes refratárias das usinas de energia e a formação de fases fundidas dependem, além da composição da cinza, também dos parâmetros térmicos, físicos e químicos locais (MASIÁ et al., 2007).

Assim, para a determinação dos índices de deposição, que expressam os problemas relacionados à combustão da biomassa, diferentes correlações são utilizadas na literatura (PRNOBIS, 2005), entre eles os índices de escória, incrustação, viscosidade e álcali (GUPTA et al., 1998), que são calculados com base na composição química inorgânica da biomassa. Isso porque, segundo Masiá et al. (2007), existe uma clara ligação entre a composição química dos combustíveis e os resultados obtidos pelas correlações e índices de deposição.

Tabela 25. Composição química elementar inorgânica geral das espécies herbáceas de campo de altitude

Elemento químico (mg/kg)	<i>B. articulata</i>	<i>B. crispa</i>	<i>S. angustifolium</i>	<i>E. horridum</i>	<i>A. lateralis</i>	<i>M. oblongata</i>	<i>P. aquilinum</i>	<i>S. brasiliensis</i>
Al	< LD	100,45	< LD	69,96	< LD	< LD	179,20	< LD
Ca	342,30	466,08	97,82	501,21	566,84	213,02	567,56	227,53
Fe	20,85	52,46	7,65	37,09	47,37	6,33	224,61	6,61
Mg	102,96	152,53	41,53	165,79	211,58	80,80	254,01	77,20
Mn	2,90	13,05	20,73	6,03	65,13	13,30	39,27	< LD
Zn	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
P	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Cr	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Pb	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Cd	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Si	2395,51	5967,40	4476,53	2870,36	21489,04	4591,32	18821,13	1388,64
Ba	< LD	< LD	< LD	12,71	10,26	< LD	35,61	< LD
Ni	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
K*	9483,00	10179,00	26274,00	7830,00	30015,00	6177,00	13311,00	6264,00
Bi	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Co	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Li	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Sr	15,71	< LD	< LD	25,21	40,33	14,11	77,84	< LD
Sn	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Ti	22,72	59,62	8,80	41,18	47,82	6,99	280,79	7,14

Onde: Al: alumínio; Ca: cálcio; Fe: ferro; Mg: magnésio; Mn: manganês; Zn: zinco; P: fósforo; Cr: cromo; Pb: chumbo; Cd: cádmio; Si: silício; Ba: bário; Ni: níquel; B: boro; Bi: bismuto; Co: cobalto; Li: lítio; Sr: estrôncio; Sn: estanho. < LD: abaixo do limite de detecção do equipamento. Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

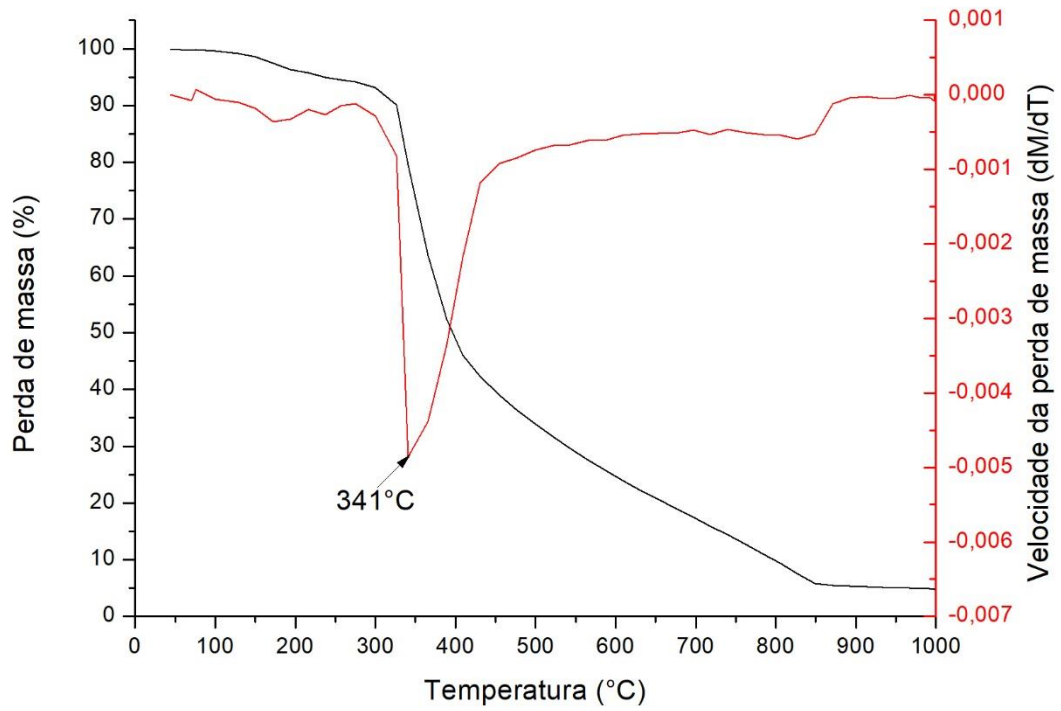
Macari et al. (2002) quantificou macro e micronutrientes em folhas de *Baccharis dracunculifolia* DC. em diferentes épocas do ano, obtiveram valores de 50,7 a 263 mg/kg de Fe, 0 a 3,7 mg/kg de Ni, 77 a 608 mg/kg de Na, 14 a 24, 7 mg/kg de Zn, 135,5 a 32384 mg/kg de Ca (apesar deste último valor ter sido obtido após ter havido um incêndio na área de coleta), 1947 a 17344 mg/kg de K.

As espécies do gênero *Baccharis* analisadas aqui tiveram valores próximos aos mínimos de *Baccharis dracunculifolia* para Fe, sem quantidade detectável para Ni e Zn e dentro dos valores observados para Ca e K.

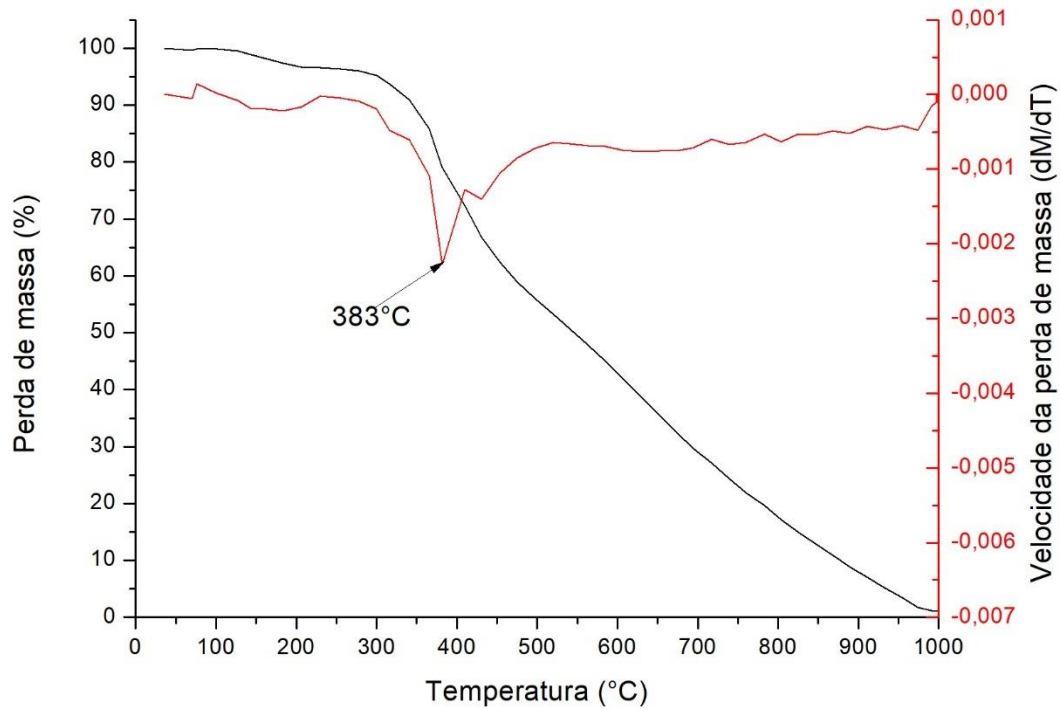
Os gráficos da análise termogravimétrica da biomassa *in natura* e da lignina residual das espécies herbáceas de campo de altitude mostram que a degradação térmica da biomassa e da lignina extraída de sua composição elementar difere em relação as faixas de temperatura em que a perda de massa ocorre bem como na velocidade de perda de massa durante a degradação nas diferentes faixas de temperatura (Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, e 21).

Figura 14. Análise termogravimétrica da biomassa *in natura* (a) e da lignina residual (b) do *B. articulata*

a)



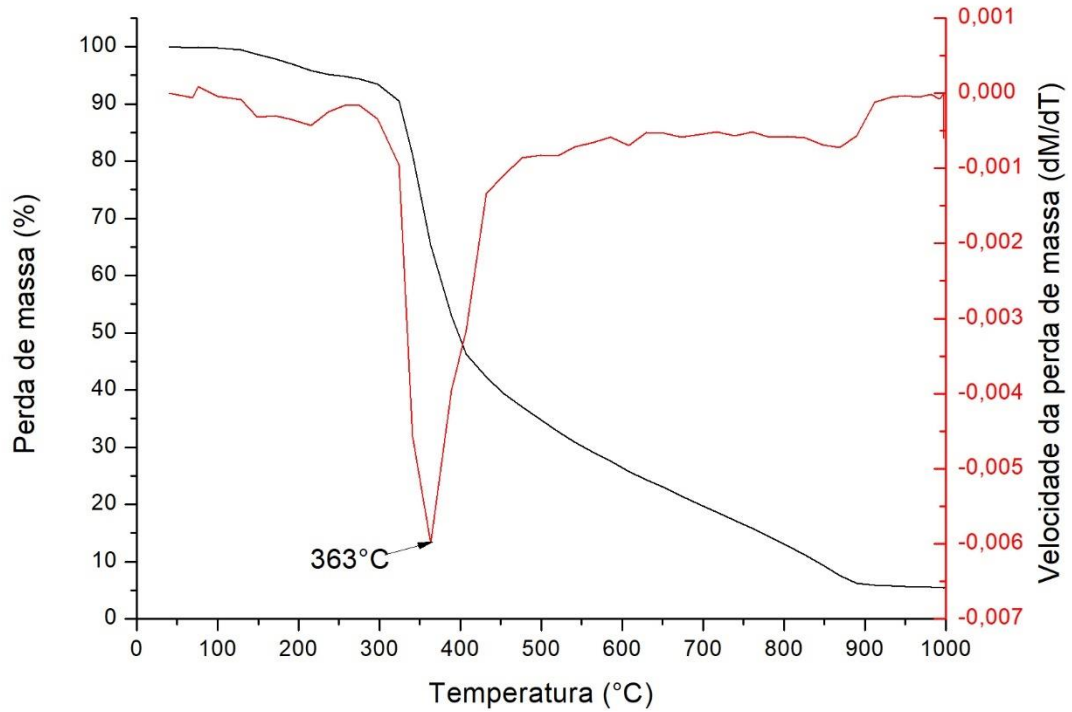
b)



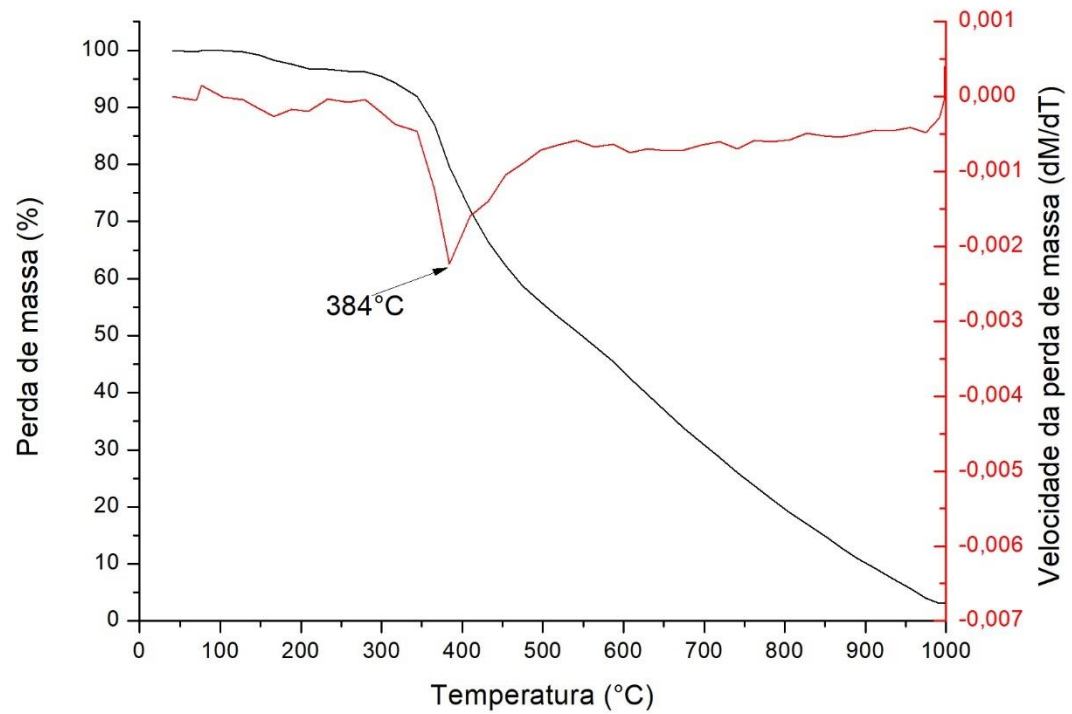
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 15. Análise termogravimétrica da biomassa in natura (a) e da lignina residual (b) do *B. crispa*

a)

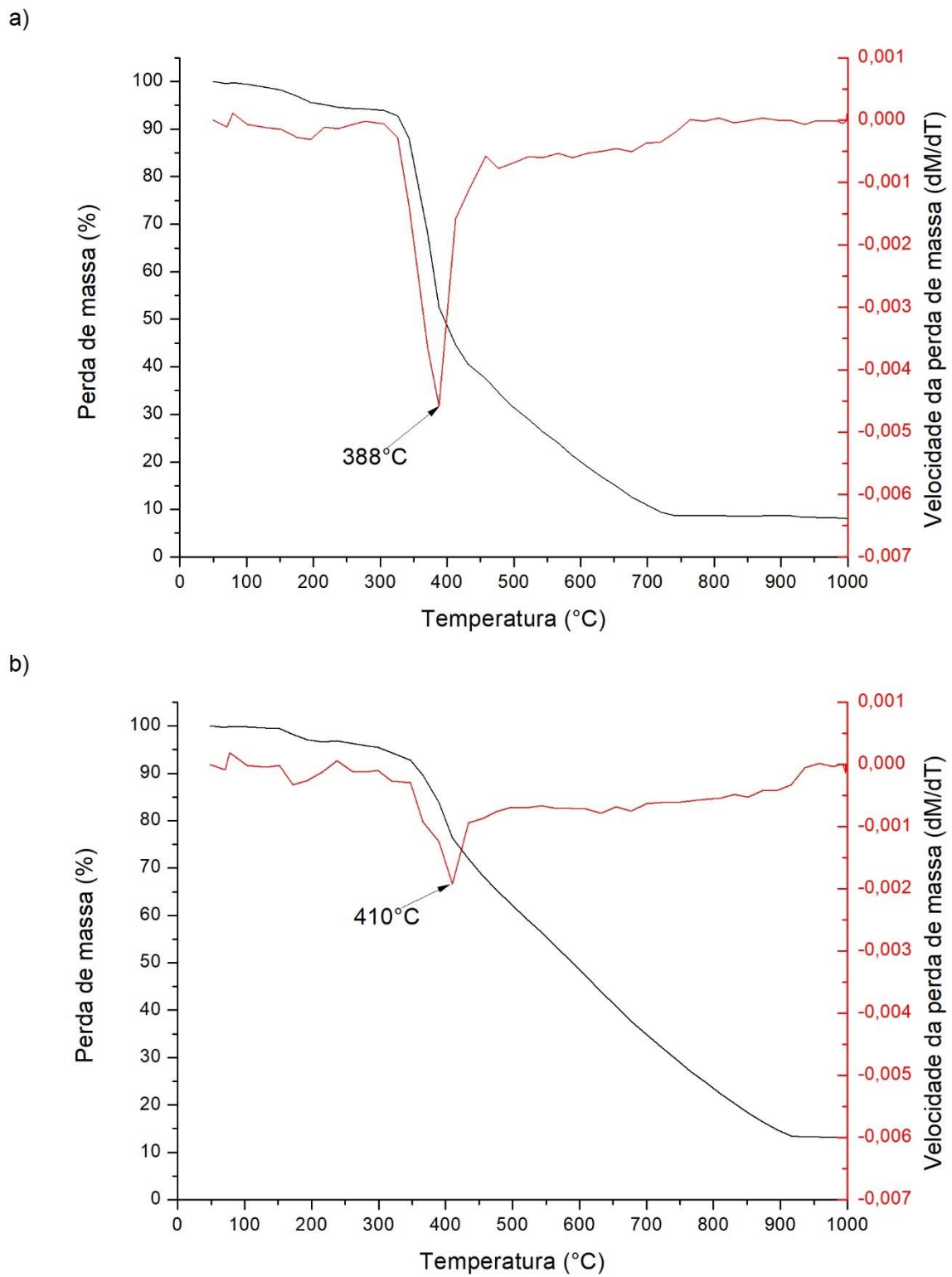


b)



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

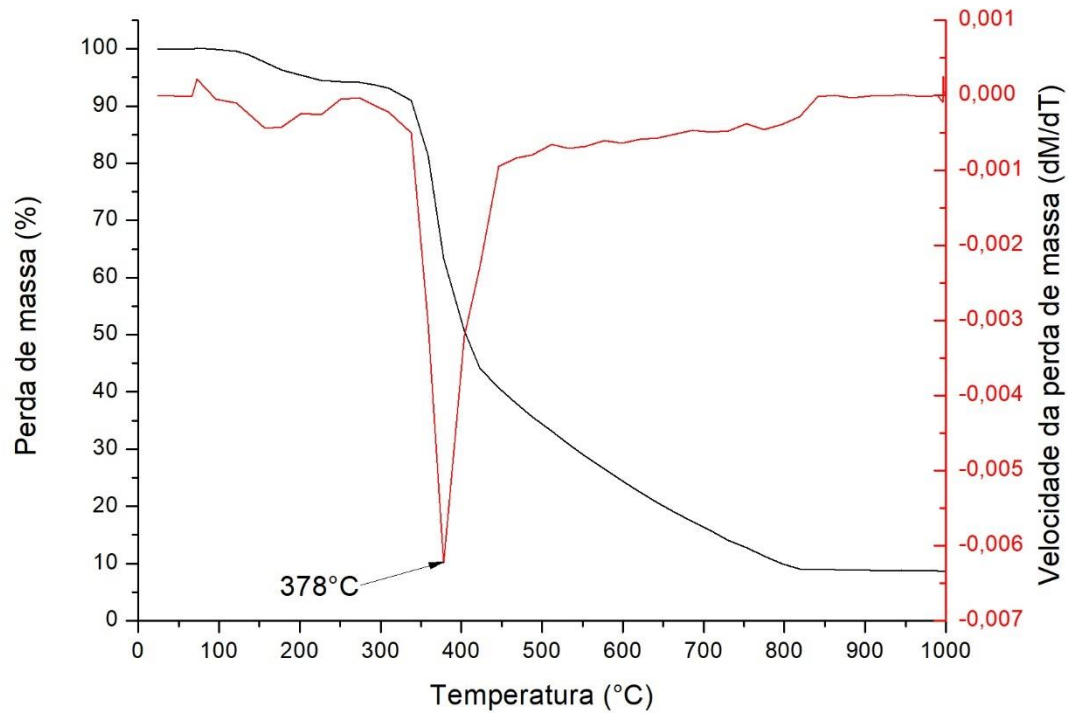
Figura 16. Análise termogravimétrica da biomassa in natura (a) e da lignina residual (b) do *S. angustifolium*



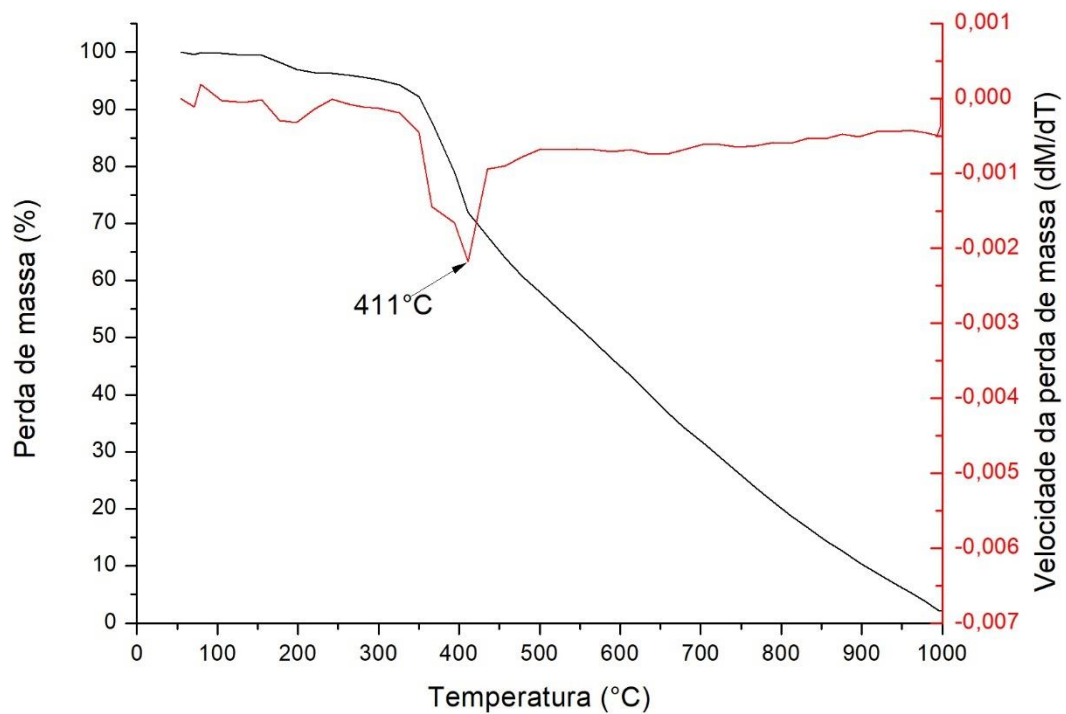
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 17. Análise termogravimétrica da biomassa in natura (a) e da lignina residual (b) do *E. horridum*

a)



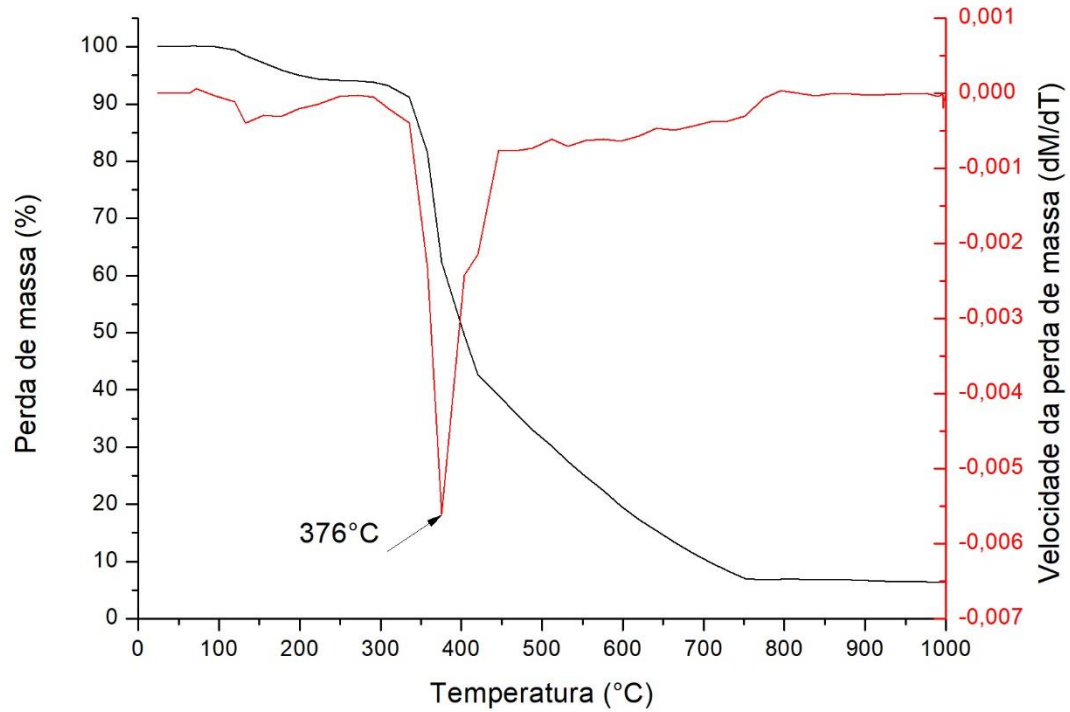
b)



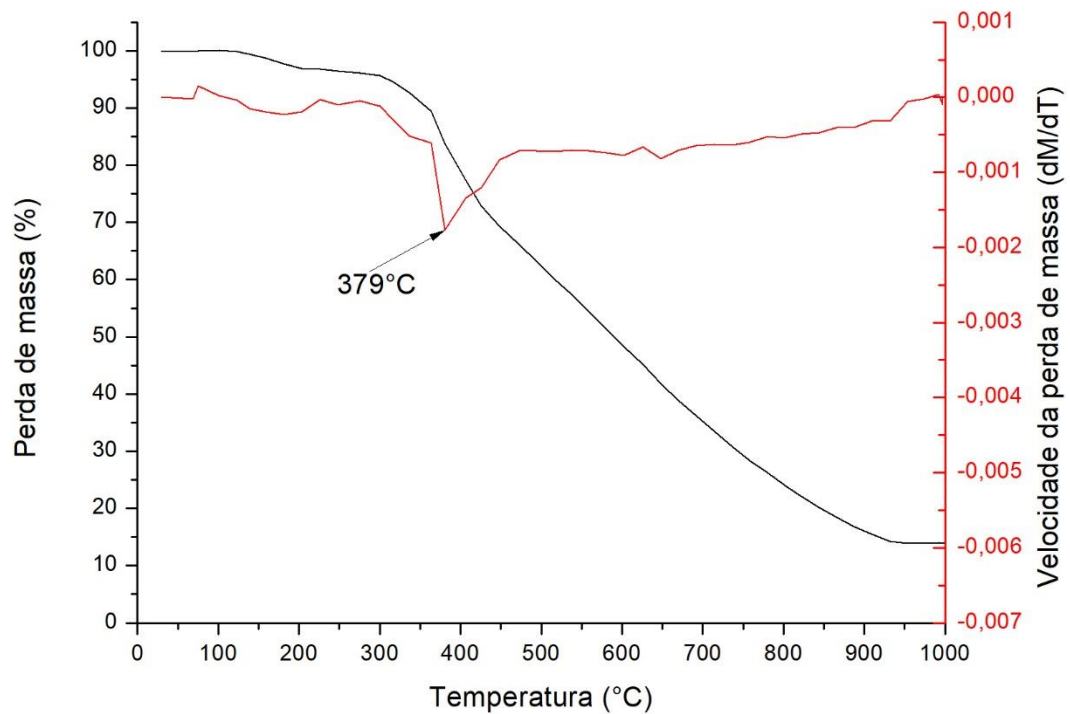
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 18. Análise termogravimétrica da biomassa in natura (a) e da lignina residual (b) do *A. lateralis*

a)



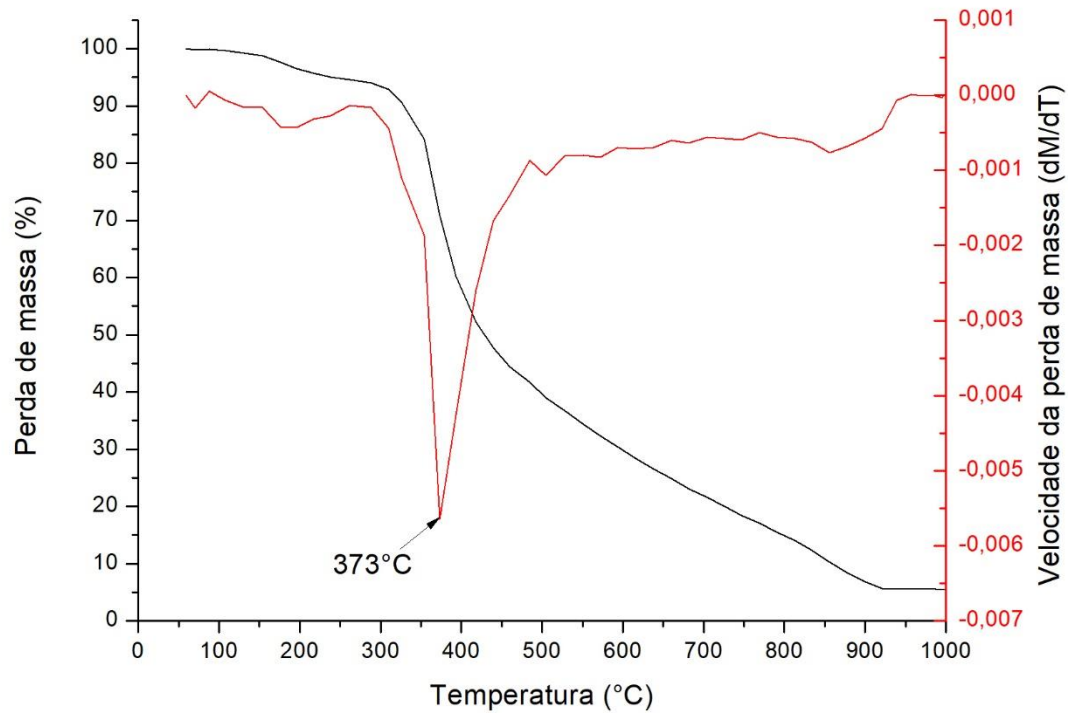
b)



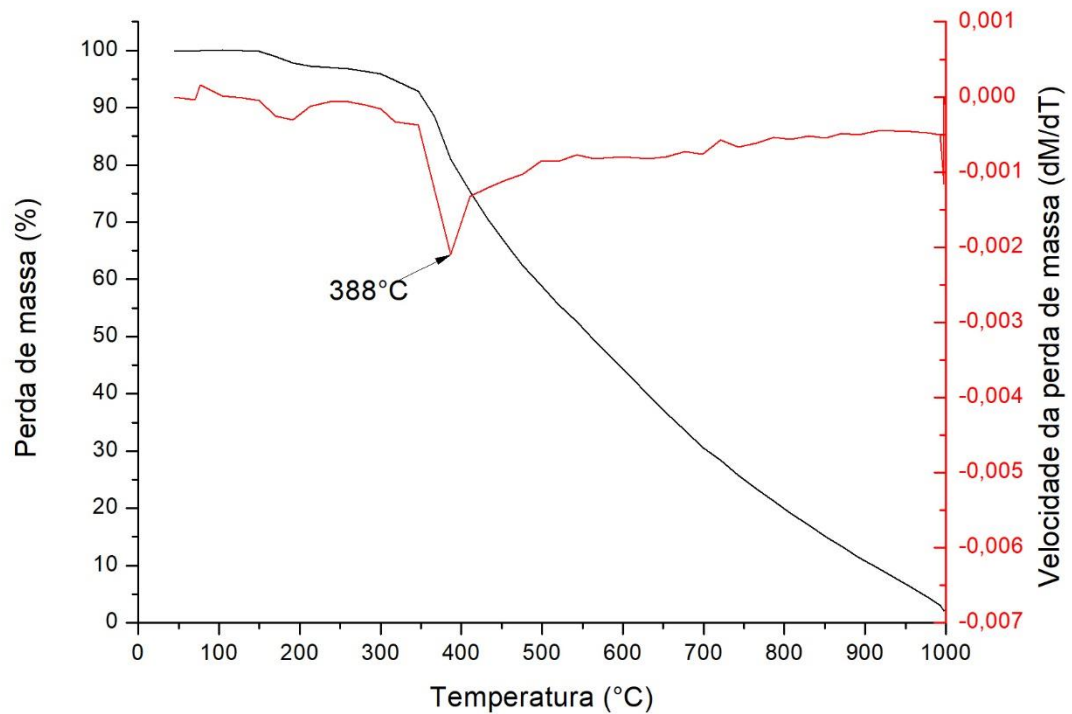
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 19. Análise termogravimétrica da biomassa in natura (a) e da lignina residual (b) da *M. oblongata*

a)



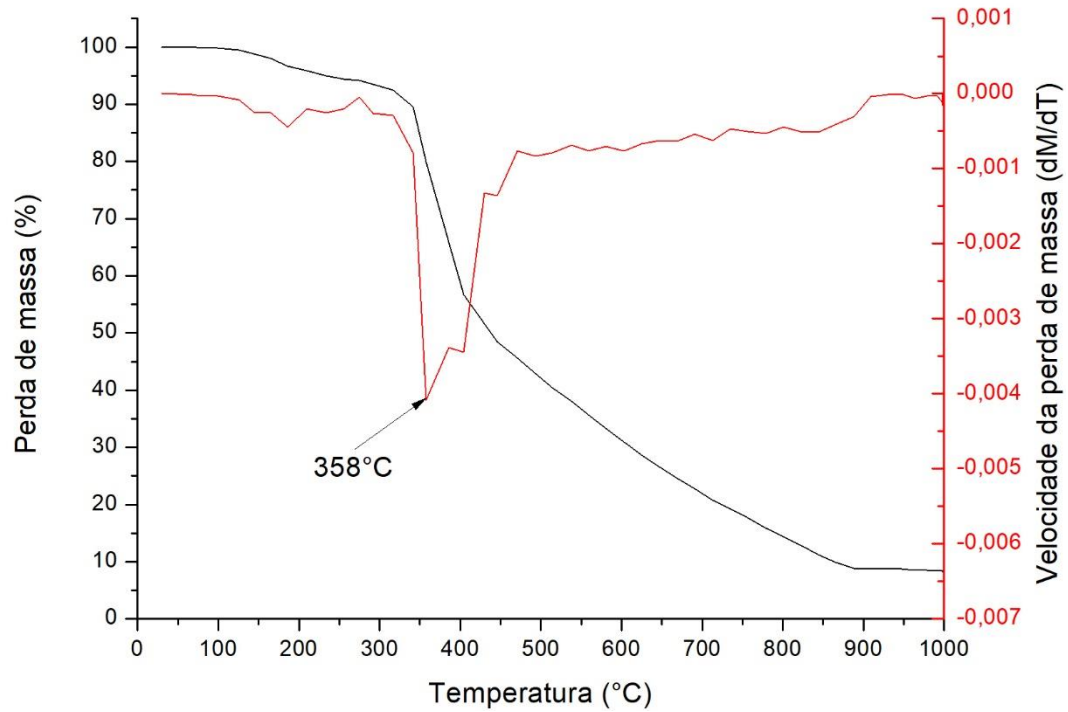
b)



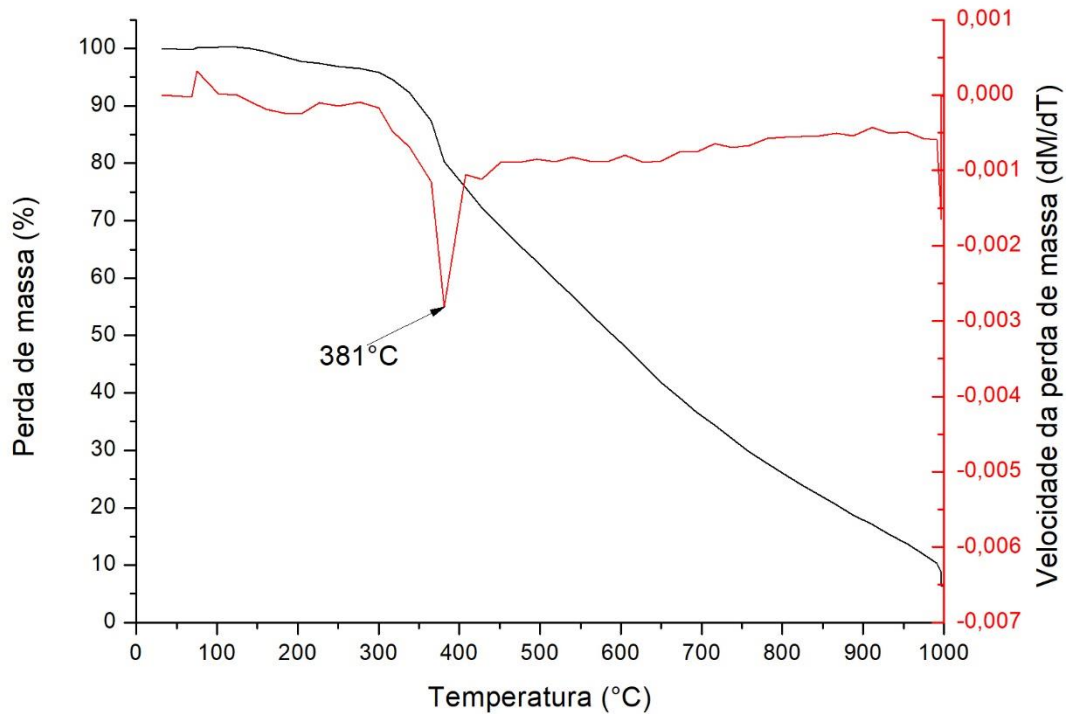
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 20. Análise termogravimétrica da biomassa in natura (a) e da lignina residual (b) do *P. aquilinum*

a)



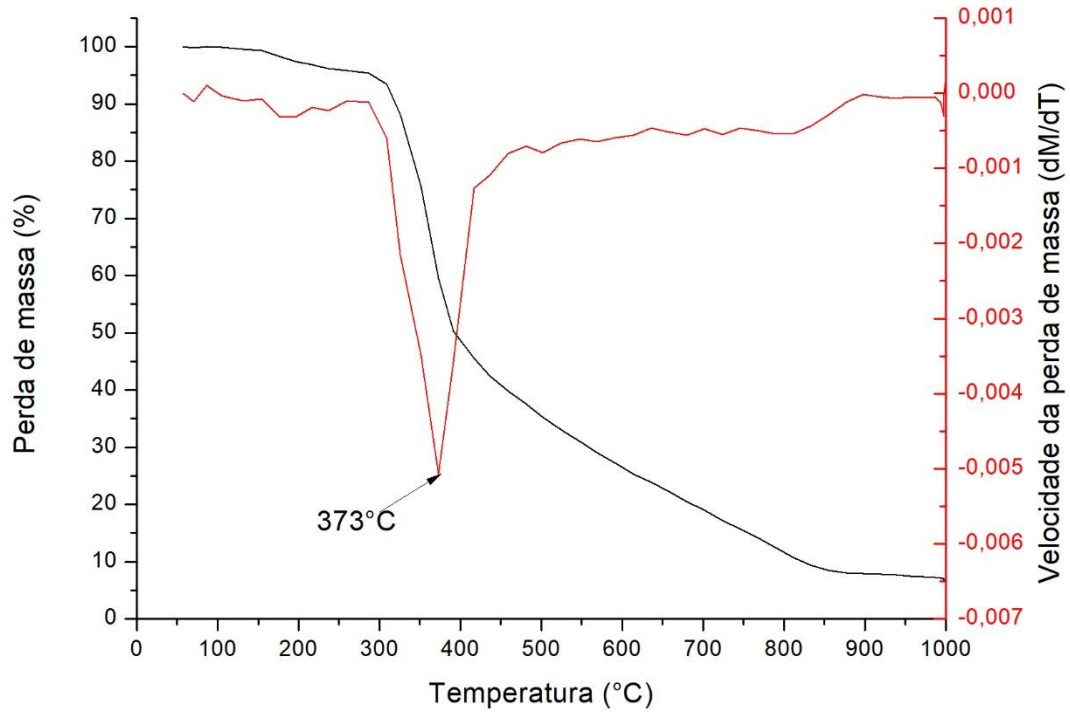
b)



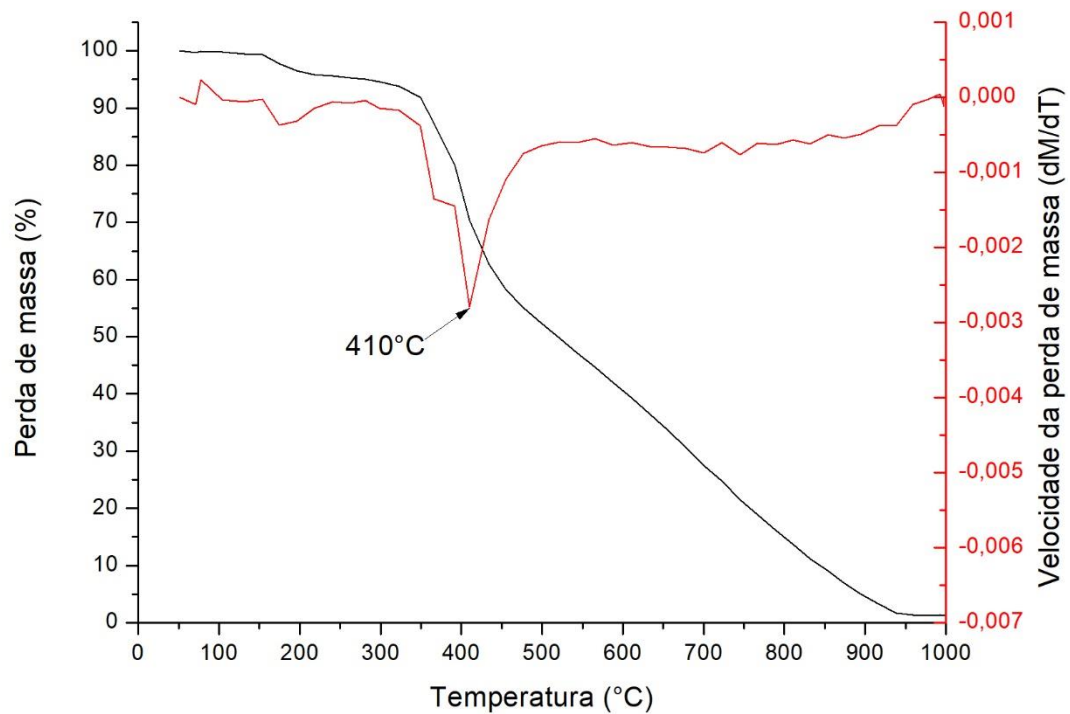
Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Figura 21. Análise termogravimétrica da biomassa in natura (a) e da lignina residual (b) do *S. brasiliensis*

a)



b)



Fonte: Elaborado pela autora, 2019.

Nyakuma et al. (2016) determinaram que as curvas da degradação térmica (TG) da biomassa podem ser divididas em três etapas principais: Estágio I (secagem), Estágio II (pirólise ativa) e Estágio III (pirólise passiva).

O Estágio I envolve a volatilização de compostos de baixa massa molecular e água adsorvida (RAMOS E PAULA et al., 2011). O Estágio II é onde ocorre a degradação das poliozes, celulose e lignina. No Estágio III, a perda de massa é atribuída ao restante da lignina do Estágio II. A degradação da lignina ocorre em uma taxa gradual mais lenta que os outros compostos (BRAND et al., 2018).

Nas espécies avaliadas, pode-se perceber que as temperaturas que iniciaram o Estágio II (Tabela 26) são superiores para lignina residual comparada com a biomassa *in natura*, com ressalva para a *M. oblongata* (biomassa *in natura*: 308°C e lignina residual 310°C) e o *P. aquilinum* (biomassa *in natura*: 317°C e lignina residual 317°C), ambos tiveram a mesma temperatura inicial de degradação ou um pouco inferior.

Tabela 26. Etapas de degradação termogravimétrica das espécies *in natura* e da lignina residual espécies herbáceas do campo de altitude

Espécies	Biomassa <i>in natura</i>			Lignina residual		
	Estágio I	Estágio II	Estágio III	Estágio I	Estágio II	Estágio III
<i>B. articulata</i>	44 a 300 °C	300 a 431 °C	431 a 849 °C	36 a 316 °C	316 a 563 °C	563 a 974 °C
<i>B. crista</i>	30 a 317 °C	292 a 430 °C	430 a 888 °C	41 a 344 °C	317 a 519 °C	587 a 997 °C
<i>S. angustifolium</i>	50 a 326 °C	306 a 388 °C	388 a 742 °C	48 a 348 °C	306 a 436 °C	434 a 916 °C
<i>E. horridum</i>	24 a 338 °C	310 a 423 °C	423 a 819 °C	54 a 350 °C	326 a 435 °C	435 a 994 °C
<i>A. lateralis</i>	24 a 336 °C	309 a 404 °C	404 a 752 °C	29 a 336 °C	317 a 448 °C	448 a 932 °C
<i>M. oblongata</i>	59 a 326 °C	308 a 440 °C	440 a 921 °C	45 a 347 °C	310 a 570 °C	565 a 998 °C
<i>P. aquilinum</i>	30 a 317 °C	317 a 430 °C	430 a 888 °C	32 a 317 °C	317 a 672 °C	672 a 997 °C
<i>S. brasiliensis</i>	55 a 309 °C	286 a 389 °C	389 a 879 °C	51 a 349 °C	299 a 500 °C	455 a 938 °C

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

De forma geral, para a biomassa *in natura*, em um menor intervalo de temperatura (Estágio II) (Tabela 26) houve a maior perda de massa (Tabela 27). Para a lignina, no estágio III, onde o intervalo de temperatura foi maior, a proporção de perda de massa também foi maior, comparativamente à biomassa *in natura* (Tabelas 26 e 27), comprovando a maior estabilidade da lignina na degradação térmica para as gramíneas.

Considerando os intervalos de temperatura de cada estágio de degradação térmica, a perda de massa acumulada (Tabela 27) mostra que para a biomassa *in natura*, a perda de massa foi ligeiramente maior no estágio II (*B. articulata*, *B. crista*, *E. horridum*, *M. oblongata* e *S. brasiliensis*) em relação ao estágio III. Para as demais espécies (*S. angustifolium*, *A. lateralis* e

P. aquilinum), as perdas de massa foram equivalentes nos dois estágios ou ligeiramente superiores no Estágio III.

Para a lignina, com exceção do *P. aquilinum*, todas as demais espécies tiveram a maior perda de massa no estágio III. A lignina é o composto da madeira com maior quantidade de carbono. Portanto, neste experimento a lignina se mostrou mais estável e foi degradada em temperaturas mais elevadas de forma mais lenta quando comparada a biomassa que contém, juntamente com a lignina os demais compostos estruturais e não estruturais (celulose e polioses) (Tabelas 26 e 27).

Tabela 27. Perda de massa acumulada (%) em cada estágio de degradação térmica das espécies de campo de altitude

Espécie	Biomassa <i>in natura</i>				Lignina residual				L (%)
	E I	E II	E III	TC	E I	E II	E III	TC	
<i>B. articulata</i>	6,82	57,75	94,16	4,76	6,27	52,13	98,25	1,09	25,00
<i>B. crispa</i>	9,52	57,74	93,82	4,74	8,05	46,74	96,90	3,19	25,66
<i>S. angustifolium</i>	7,18	47,49	91,37	7,98	7,22	28,00	86,56	13,09	21,74
<i>E. horridum</i>	9,00	55,91	90,97	8,68	7,80	32,31	97,65	2,14	19,99
<i>A. lateralis</i>	8,85	50,47	92,92	6,31	7,28	30,61	85,83	13,94	20,01
<i>M. oblongata</i>	9,32	52,33	94,33	5,47	7,16	50,65	97,87	2,11	37,20
<i>P. aquilinum</i>	7,53	48,36	91,12	8,35	5,40	60,75	93,63	6,37	41,71
<i>S. brasiliensis</i>	6,26	49,47	91,95	6,90	8,17	47,67	98,23	1,28	29,50

Onde: E I: Estágio I de degradação térmica; E II: Estágio II de degradação térmica; E III: Estágio III de degradação térmica; TC: teor de cinzas (Massa residual estabilizada e remanescente à 1000°C); L = teor de lignina médio da composição química estrutural da espécie. Fonte: : Elaborada pela autora, 2020.

No estágio II, a maior amplitude de temperatura da lignina residual (Tabela 26) foi observada pelo *P. aquilinum* (317 a 672 °C), seguida da *M. oblongata* (310 a 570 °C), ambas espécies apresentam maiores teores de lignina (Tabela 21), indicando que neste estágio é onde ocorre a maior parte da degradação da lignina. Já as espécies com menor amplitude de temperatura foi *E. horridum* (326 a 435 °C), *S. angustifolium* (306 a 436 °C), *A. lateralis* (317 a 448 °C), espécies que tiveram menor teores de lignina.

As temperaturas foram mais elevadas no ponto de maior velocidade de perda de massa para a lignina residual (Tabela 28), para todas as espécies estudadas, em comparação com a biomassa *in natura*.

Tabela 28. Temperaturas de maior velocidade de perda de massa e intervalo de temperatura da perda de massa da biomassa *in natura* e da lignina residual

Espécies	Temperatura da maior velocidade de perda de massa (<i>in natura</i>)	Temperatura da maior velocidade de perda de massa (lignina)	Intervalo de temperatura da perda de massa (<i>in natura</i>)	Intervalo de temperatura da perda de massa da biomassa (lignina)
<i>B. articulata</i>	341°C	383°C	300°C-849°C	316°C-974°C
<i>B. crisper</i>	363°C	384°C	292°C-888°C	317°C-997°C
<i>S. angustifolium</i>	388°C	410°C	306°C-742°C	306°C-916°C
<i>E. horridum</i>	378°C	411°C	310°C-819°C	326°C-994°C
<i>A. lateralis</i>	376°C	379°C	309°C-752°C	317°C-932°C
<i>M. oblongata</i>	373°C	388°C	308°C-921°C	310°C-998°C
<i>P. aquilinum</i>	358°C	381°C	317°C-888°C	317°C-997°C
<i>S. brasiliensis</i>	373°C	410°C	286°C-879°C	299°C-938°C

Fonte: Elaborado pela autora, 2020.

Além disso, as diferenças entre as curvas de perda de massa (TG) e velocidade de perda de massa (DTG) da biomassa *in natura* e da lignina residual reforçam que os demais componentes estruturais (celulose e polioses) e não estruturais (extrativos e cinzas) contribuíram de forma importante para o comportamento da degradação térmica da biomassa.

Os biocombustíveis derivados de misturas de alta diversidade de plantas perenes de pastagens nativas podem fornecer mais energia utilizável, maiores reduções de gases de efeito estufa e menos poluição agroquímica por hectare do que o etanol de milho ou o biodiesel de soja (Tilman et al., 2006).

3.4 CONCLUSÕES

- ✓ As roçadas realizadas após a queimada, sem roçada intermediária, produziram maior quantidade de biomassa por unidade de área.
- ✓ O elevado teor de umidade da biomassa herbácea reduziu de forma expressiva o potencial produtivo de biomassa por unidade de área.
- ✓ O *E. horridum*, *S. angustifolium* e *B. crisper* além de estarem presentes em toda a área de estudo, tiveram elevado número de indivíduos por hectare.
- ✓ O *P. aquilinum* e a *M. oblongata*, foram abundantes, porém com ocorrência limitada a apenas algumas parcelas, indicando sua ocorrência de forma concentrada.
- ✓ As espécies de maior importância na área foram: *S. angustifolium*, *E. horridum*, *B. crisper* e *P. aquilinum*;

- ✓ As espécies herbáceo-arbustivas tiveram alto TU, principalmente o *S. angustifolium* e o *E. horridum*, que tiveram elevado valor de importância na área de estudo.
- ✓ O PCS das espécies foi inferior ao que se observa para a madeira mas superior ao que se obtém para alguns resíduos agrícolas;
- ✓ O *P. aquilinum* na roçada 1 apresentou maiores teores de extrativos em água fria, por apresentar uma planta jovem, de coloração verde e folhagem abundante, ou contrário do que aconteceu na roçada 2, por apresentar na forma seca e coloração amarelada;
- ✓ O *P. aquilinum* e o *M. oblongata* foram as espécies que apresentaram maiores teores de lignina para ambas as roçadas;
- ✓ O *B. articulata* teve o maior teor de voláteis em ambas as roçadas, se igualando estatisticamente ao *S. brasiliensis* na segunda roçada.
- ✓ O *P. aquilinum* apresentou o menor valor de teor de voláteis em ambas as roçadas, indicando maior residência nos sistemas de queima e câmaras de combustão;
- ✓ A densidade básica das espécies teve um efeito mais forte e positivo sobre a densidade energética ($R^2 = 0,99$) comparada ao PCS;
- ✓ Os valores de H/C foi semelhante para todas as espécies, ele indica o grau energético do material;
- ✓ A maior faixa de amplitude de temperatura no Estágio II igualou com as espécies que apresentaram maior teores de lignina e o inverso também é verdadeiro.

De forma geral, o potencial produtivo da biomassa herbácea em campo de altitude em Floresta Ombrófila Mista foi reduzido por unidade de área. As espécies com maior produção de biomassa por unidade de área foram o *E. horridum* e *S. angustifolium*, seguidas do *B. crispa*. O alto teor de umidade reduziu o potencial produtivo da biomassa seca para energia. As espécies com maior frequência, densidade, abundância e importância na formação vegetal foram o *E. horridum* e *S. angustifolium*.

A composição química, energética e o comportamento da degradação térmica variou entre as espécies analisadas. Os compostos extrativos foram majoritários na composição química estrutural das herbáceas, tendo maior efeito sobre o potencial energético das espécies, assim como o teor de cinzas, porém de forma inversa. Os elementos inorgânicos presentes em maior porcentagem na composição das espécies foram o potássio, sílica e cálcio.

3.5 REFERÊNCIAS

ADEGAS, F. S., OLIVEIRA, M. F., VIEIRA, O. V., PRETE, C. E. C., GAZZIERO, D. L. P., & VOLL, E. Levantamento fitossociológico de plantas daninhas na cultura do girassol. *Planta Daninha*, 28(4), 705-716, 2010.

AFONSO MBANZE, A., DA SILVA, D. A., FRANÇA TETTO, A., FERNANDO PEREIRA, J., & CARLOS BATISTA, A. Potencial energético de combustíveis florestais em cultivos de *pinus elliottii* no sul do brasil. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 4, p. 1640-1650, 2018.

AMBROSINI, L. B., DE ANDRADE MIGUEL, L., & FILIPPI, E. E. Evolução e diferenciação dos sistemas agrários nos Campos de Cima da Serra: origem dos pecuaristas familiares produtores do Queijo Serrano. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 26, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, D 4239: Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion, West Conshohocken, PA, 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, D 5373: Standard Test Methods for Determination of Carbon, Hydrogen and Nitrogen in Analysis Samples of Coal and Carbon in Analysis Samples of Coal and Coke, West Conshohocken, PA, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, ASTM, D1762 e 84: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal, Atlanta, 2013.

ANDRADE, B. O., BOLDRINI, I. I., CADENAZZI, M., PILLAR, V. D., & OVERBECK, G. E. Grassland vegetation sampling-a practical guide for sampling and data analysis. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, n. 4, p. 786-795, 2019a.

ANDRADE, BO, BONILHA, CL, OVERBECK, GE, VÉLEZ-MARTIN, E., ROLIM, RG, BORDIGNON, SAL, ... & DOS SANTOS, ED. Classification of South Brazilian grasslands: Implications for conservation. **Applied Vegetation Science**, v. 22, n. 1, p. 168-184, 2019b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT NBR 14929: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. 2017a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11941: Madeira: Determinação da densidade básica, Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14577: Pasta celulósica e madeira: Determinação do material solúvel em água, Rio de Janeiro, 2017b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14660: Madeira - Amostragem e preparação para análise, Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7989: Pasta celulósica e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido, Rio de Janeiro, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7990: Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%, Rio de Janeiro, 2010b.

BARETTA D.; SANTOS J.C.P.; FIGUEIREDO S.R.; KLAUBERG-FILHO O. Efeito do monocultivo de *Pinus* e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no planalto sul catarinense, 2005.

BECIDAN, M., SKREIBERG, Ø., HUSTAD J.E., J. Anal. Appl. Pyrolysis, 78, p. 207, 2007.

BEHLING, H., JESKE-PIERUSCHKA, V., SCHÜLER, L., & PILLAR, V. D. P. Capítulo 1: Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário. In: PILLAR, V. D. P. et al. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade, p. 13 – 25 , 2009.

BOLDRINI, I. I. Capítulo 4: A flora dos Campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. D. P. et al. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade, p. 63 - 77, 2009.

BORBA, M.; TRINDADE, J. P. P. Capítulo 30: Desafios para conservação e a valorização da pecuária sustentável. In: PILLAR, V. D. P. et al. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade, p. 391 – 403, 2009.

BRAND, M. A. Potencial de uso da biomassa florestal da caatinga, sob manejo sustentável, para geração de energia. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 117-127, 2017.

BRAND, M. A., BARNASKY, R. R. D. S., CARVALHO, C. A., BUSS, R., WALTRICK, D. B., & JACINTO, R. C. Thermogravimetric analysis for characterization of the pellets produced with different forest and agricultural residues. **Ciência Rural**, v. 48, n. 11, 2018.

BRAND, M. A., STÄHELIN, T. S. F., FERREIRA, J. C., & NEVES, M. D. Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes idades. **Revista Árvore**, v. 38, n. 2, p. 353-360, 2014.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 246, seção 1, p. 1-4, 26 dez. 2006.

CHENG, F., BAYAT, H., JENA, U., & BREWER, C. E. Composition on Pyrolysis of Low-Cost, Protein-and Lignin-Rich Biomass: A Review. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, p. 104780, 2020.

CHERNEY J. H.; VERMA V. K. Grass pellet Quality Index: A tool to evaluate suitability of grass pellets for small scale combustion systems. **Applied energy**, v. 103, p. 679-684, 2013.

CONSUEGRA, A. D. S. A. Cinética da gaseificação do bagaço de laranja e serragem de madeira com CO₂. Florianópolis, SC: UFSC. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

DE PAULA PROTÁSIO, T., BUFALINO, L., TONOLI, G. H. D., COUTO, A. M., TRUGILHO, P. F., & JÚNIOR, M. G. Relação entre o poder calorífico superior e os

componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 66, p. 113, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, DIN, DIN 51900: 1e3, Testing of Solid and Liquid Fuels. Determining the Gross Calorific Value of Solid and Liquid Fuels Using the Bomb Calorimeter, and Calculation of Net Calorific Value e Part 1-3. Berlin, 2000.

DICK, D. P., MARTINAZZO, R., DALMOLIN, R. S. D., JACQUES, A. V. Á., MIELNICZUK, J., & ROSA, A. S. Impacto da queima nos atributos químicos e na composição química da matéria orgânica do solo e na vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 5, p. 633-640, 2008.

DOS REIS, A. A., DE PAULA PROTÁSIO, T., DE MELO, I. C. N. A., TRUGILHO, P. F., & CARNEIRO, A. D. C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 277, 2012.

ELOY, E., CARON, B. O., SILVA, D. A. D., SOUZA, V. Q. D., TREVISAN, R., BEHLING, A., & ELLI, E. F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1424-1431, 2015.

FIDELIS A., MÜLLER S., PILLAR V.D. & PFADENHAUER J. Efeito do fogo na biomassa aérea e subterrânea dos Campos Sulinos. In: Desafios e oportunidades do Bioma Campos frente à expansão e intensificação agrícola (ed. Campos XRG). EMBRAPA – Clima Temperado Pelotas. 2006.

FIDELIS, A., OVERBECK, G., PILLAR, V. D., & PFADENHAUER, J. Effects of disturbance on population biology of the rosette species *Eryngium horridum* Malme in grasslands in southern Brazil. **Plant ecology**, v. 195, n. 1, p. 55-67, 2008.

FLORES, R. A., CABALLERO, S. S. U., ALVES, B. J. R., COLLIER, L. S., ZANETTI, J. B., & PRADO, R. D. M. Nitrogênio e idade de corte na qualidade da biomassa de capim-elfante para fins agroenergéticos cultivado em Latossolo. 2013.

GUPTA, R. P. et al. Computer-controlled scanning electron microscopy of minerals in coal implications for ash deposition. *Progress in Energy and Combustion Science*, v. 24, n. 6, p. 523-543, 1998.

HENNE, R. A., BRAND, M. A., SCHEIN, V. A. S., PEREIRA, E. R., & SCHVEITZER, B. Characterization of ashes from forest biomass combustion in boilers: a systemic view of potential applications. **Floresta**, v. 50, n. 1, p. 1081-1090, 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa de Biomas do Brasil: Primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. 1 mapa, colorido. Escala 1:5.000.000. Disponível em:<ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/biomas_pdf.zip>. Acesso em: 02 fev. 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Nota explicativa do mapa da área de aplicação da Lei nº 11.428, de 2006: Lei da Mata Atlântica. Rio de Janeiro, 2008. Atualização em agosto de 2012. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapa_de_aplicao_da_lei_11428_mata_atlantica.pdf> Acesso em: 10 agosto 2019.

JEFFERSON, P.G., MCCAUGHEY, W.P., MAY K. , WOOSAREE, J., MCFARLANE L., CAN. *J. Plant Sci.*, 84, p. 1067, 2004.

JOHNSON, D., ADAM P., ASHLEY P., CHUM, H., DEUTCH S., FENNEL J., WISELOGEL, A. **Study of Compositional Changes in Biomass Feedstocks upon Storage (Results)** Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, 1994.

MACARI, P. A. T., SOUSA, R. R. D., CRESPO, M. L. L., MARTINS, P. D. A., VIEIRA, J. D. D., VELOSA, A. C. D., ... & GOMES, E. P. C. Comparação entre os metais presentes em *Croton floribundus* Spreng. e *Baccharis dracunculifolia* DC. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 12, p. 76-77, 2002.

MARAFON, A. C., CÂMARA, T. M. M., SANTIAGO, A. D., & RANGEL, J. D. A. Potencial de produção de biomassa de clones de capim-elefante com fins energéticos na região dos Tabuleiros Costeiros. In: **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: RENOENERGIA, 14., Maceió. Energias renováveis e transmissão energética: anais. Maceió, 2014., 2014.

MARAFON, A. C., SANTIAGO, A. D., MACHADO, J. C., DOS SANTOS GUIMARÃES, V., & PAIVA, H. L. (2017). Produção de Biomassa em Gramíneas Tropicais com Potencial Energético. Aracaju : Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2017. 22 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Anderson_Marafon/publication/324165423_Producao_d_e_biomassa_em_gramineas_tropicais_com_potencial_energetico/links/5ac2b517a6fdccda65f82ad/Producao-de-biomassa-em-gramineas-tropicais-com-potencial-energetico.pdf. Acesso em: 10 fevereiro 2020.

MASIÁ, A. A. T. et al. Characterising ash of biomass and waste. *Fuel Processing Technology*, v. 88, n. 11-12, p. 1071-1081, 2007.

MEDIAVILLA, I., BORJABAD, E., FERNÁNDEZ, M. J., RAMOS, R., PÉREZ, P., BADOS, R., ... & ESTEBAN, L. S. Biofuels from broom clearings: Production and combustion in commercial boilers. *Energy* 141 (2017) 1845e1856. 2017.

MELTS, I., HEINSOO, K., NURK, L., & PÄRN, L. Comparison of two different bioenergy production options from late harvested biomass of Estonian semi-natural grasslands. *Energy*, v. 61, p. 6-12, 2013.

NABINGER, C.; FERREIRA, E.T.; FREITAS, A. K.; CARVALHO, P. C. F.; SANT'ANNA, D. M. Capítulo 13: Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa In: PILLAR, V. D. P. et al. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade, p. 175 – 198 , 2009.

NYAKUMA, B. B. et al. Thermogravimetric and kinetic analyses of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) Pellets using the distributed activation energy model. *Journal of Physical Science*. v. 27, n. 3, p. 67–83, 2016.

OVERBECK, G. E. et al. Capítulo 02: Os campos sulinos, um bioma negligenciado . In: PILLAR, V. D. P. et al. Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade, p. 26 – 41, 2009.

OVERBECK, GE, SCASTA, JD, FURQUIM, FF, BOLDRINI, II E WEIR, JR. The South Brazilian grasslands—A South American tallgrass prairie? Parallels and implications of fire dependency. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 16, n. 1, p. 24-30, 2018.

PANNIRSELVAM, P. V., LIMA, F. A. M., DANTAS, B. S., SANTIAGO, B. H. S., & LADCHUMANANADASIVAM, F. M. Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia. **Revista Analytica**, v. 15, p. 56-62, 2005.

PRONOBIS M. Evaluation of the influence of biomass co-combustion on boiler furnace slagging by means of fusibility correlations. **Biomass and Bioenergy**, v. 28, n. 4, p. 375-383, 2005.

QUADROS, L.F.F. Dinâmica vegetacional em pastagem natural submetida a tratamento de queima e pastejo. Porto Alegre. RS: UFRGS. Tese de doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

RAMOS E PAULA, L. E. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**. v. 17, n. 2, p. 237–246, 2011.

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

SARAIVA, V. M.; KONIG, A. Produtividade do capim-elefante-roxo irrigado com efluente doméstico tratado no semiárido potiguar e suas utilidades. **Holos**, v. 1, p. 28-46, 2013.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.

SILVA, N. P., & FRANCISCO, A. C. Geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos: um estudo de caso em uma propriedade rural na região oeste do estado do Paraná. **Nucleus**, v. 7, n. 2, 2010.

SOARES, V. C., BIANCHI, M. L., TRUGILHO, P. F., PEREIRA, A. J., & HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, 38(3), 543-549, 2012.

TILMAN, D., HILL, J., & LEHMAN, C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. **Science**, v. 314, n. 5805, p. 1598-1600, 2006.

VASCONCELOS, V. V. Campos de altitude, campos rupestres e aplicação da lei da mata atlântica: estudo prospectivo para o estado de Minas Gerais. **Boletim de Geografia**, v. 32, n. 2, p. 110-133, 2014.

VIEIRA, A. C.; DE SOUZA, S. N. M.; BARICCATTI, R. A.; SIQUEIRA, J. A. C., & NOGUEIRA, C. E. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Varia Scientia Agrárias**, 3(1), 51-57, 2013.

WERTHER J. et al. Combustion of agricultural residues. Progress in energy and combustion **Science**, v. 26, n. 1, p. 1-27, 2000.