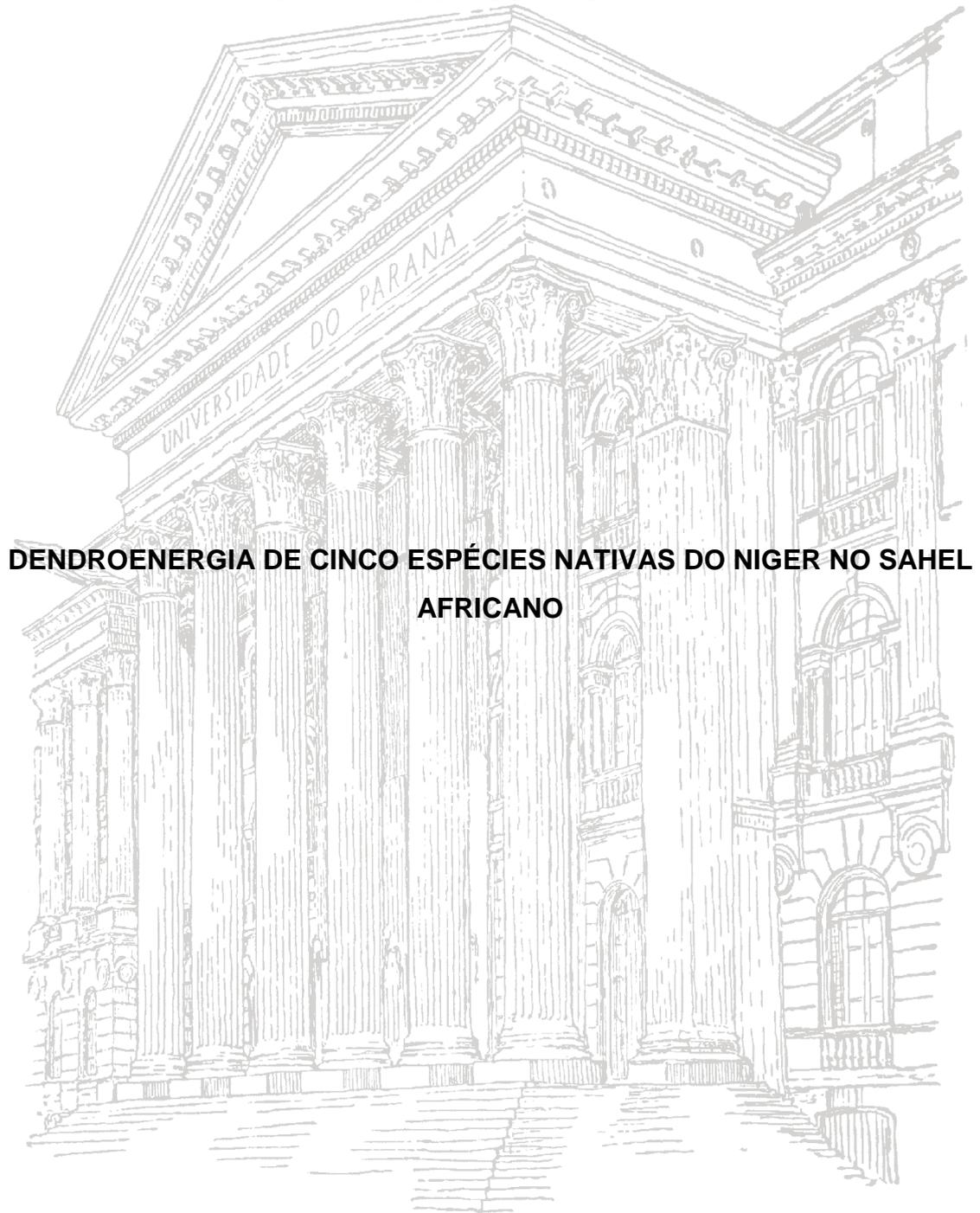


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SANDRA LUCIA SOARES MAYER



**DENDROENERGIA DE CINCO ESPÉCIES NATIVAS DO NIGER NO SAHEL
AFRICANO**

CURITIBA

2016

SANDRA LUCIA SOARES MAYER

**DENDROENERGIA DE CINCO ESPÉCIES NATIVAS DO NIGER NO SAHEL
AFRICANO**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva
Coorientador: Prof. Dr. Renato César G. Robert
Coorientador: Dr. John C. Weber
Coorientadora: Dra. Carmen Sotelo Montes

CURITIBA

2016

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Mayer, Sandra Lucia Soares

Dendroenergia de cinco espécies nativas do Niger no sahel africano / Sandra Lucia Soares Mayer. – Curitiba, 2016.

83 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

Coorientadores: Prof. Dr. Renato César G. Robert; Dr. John C. Weber; Dra. Carmen Sotelo Montes

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 25/02/2016.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Niger. 2. Biocombustíveis - Niger. 3. Teses. I. Silva, Dimas Agostinho da. II. Robert, Renato César Gonçalves. III. Weber, John C. IV. Montes, Carmen Sotelo. V. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. VI. Título.

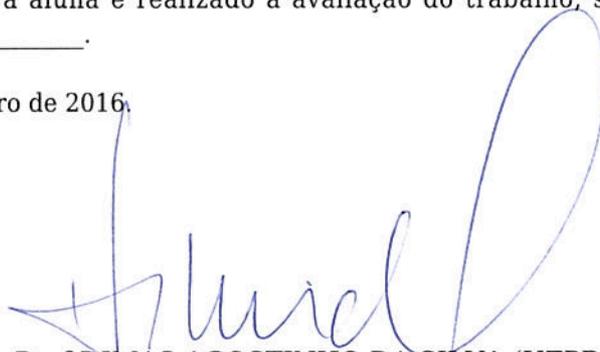
CDD – 662.65096626
CDU – 634.0.548(662)

TERMO DE APROVAÇÃO

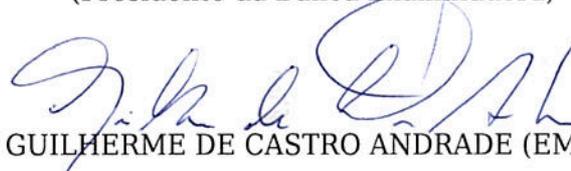
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **SANDRA LUCIA SOARES MAYER**, intitulada: "**DENDROENERGIA DE CINCO ESPÉCIES NATIVAS DO NIGER NO SAHEL AFRICANO**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua

aprovação.

Curitiba, 25 de Fevereiro de 2016.



Prof DIMAS AGOSTINHO DA SILVA (UFPR)
(Presidente da Banca Examinadora)



Prof GUILHERME DE CASTRO ANDRADE (EMBRAPA)



Prof MARINA MIEKO NISHIDATE KUMODE (PUC/PR)



Dedico este trabalho à minha mãe Zilda
Soares Mayer, por seu amor e apoio
incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por minha vida, por minha fé, por me manter no caminho certo, principalmente nos momentos difíceis durante a realização deste trabalho.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), por me proporcionar tantos momentos de aprendizagem, alegrias e felicidades e pelos amigos que fiz ao longo desta trajetória.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido, que viabilizou a realização deste trabalho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva pela oportunidade e pela confiança depositada para realização deste trabalho.

Aos meus coorientadores Prof. Dr Renato César Gonçalves Robert pelas sugestões para melhoria deste trabalho, ao Dr. John C. Weber e a Dra. Carmen Sotelo Montes por disponibilizar o material para a realização deste estudo e pela confiança.

Aos meus pais pelo esforço em assegurar condições para realização dos meus estudos, e pela compreensão das minhas escolhas e dos momentos em que me ausentei.

Ao Thiago pelo amor, pelo companheirismo, pela paciência e pelo apoio em todas as fases da elaboração deste trabalho e da minha vida.

Agradeço aos amigos do LEB (Laboratório de Energia de Biomassa) e agregados, pelos momentos de aprendizagem e descontração. Por toda ajuda e contribuição oferecida, e bem recebida, na concepção deste trabalho.

“Se quiser ir rápido, vá sozinho. Se quiser
ir longe, vá acompanhado.”

(Provérbio africano)

RESUMO

O presente trabalho é produto do convênio entre o *International Center for Research in Agroforestry* (ICRAF) e a Universidade Federal do Paraná (UFPR), como parte do projeto: *Dendro energy variation in natural populations of native tree species in West Africa: implications for adaptation to climate change*. O objetivo geral deste trabalho foi caracterizar as propriedades da madeira das espécies *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr, *Combretum micranthum* G.Don, *Guiera senegalensis* J.F.Gmel. e *Piliostigma reticulatum* (DC.) para uso como fonte primária de energia, em quatro regiões distintas do Níger na faixa do Sahel africano. Os objetivos específicos foram avaliar o efeito da espécie e da região na qualidade das propriedades das madeiras das cinco espécies para fins energéticos, determinar as correlações entre as variáveis das madeiras das cinco espécies para uso energético e interpretar o índice de valor combustível (FVI – *Fuel Value Index*) como parâmetro de qualidade energética. O estudo foi conduzido no sul do Níger na África Ocidental onde foram delimitadas quatro regiões denominadas: 1 – La Tapoa North; 2 – Gaya North, 3 – Birni N’Konni North e 4 – Aguié North. A amostragem no campo consistiu em coletar 20 árvores de cada espécie por região, seguindo uma linha latitudinal passando pelas quatro regiões delimitadas. Dois discos de cada árvore foram retirados e utilizados para determinação da densidade básica da madeira e estimativa da idade, respectivamente. A madeira em forma de serragem foi usada para as análises química imediata, poder calorífico superior e teor de carbono total; com esses valores foi possível o cálculo da densidade energética da madeira, estoque de carbono na madeira e do índice de valor combustível. O efeito da região não foi observado para as variáveis poder calorífico superior, índice de valor combustível e teor de cinza, porém todas as variáveis apresentaram influência do fator espécie e a densidade básica da madeira não foi afetada pelo efeito da interação entre os fatores espécie e região. A *G. senegalensis* apresentou os maiores valores médios para poder calorífico superior, teor de carbono total e índice de valor combustível e menor teor de cinza. A *C. micranthum* apresentou os maiores valores médios para densidade básica, estoque de carbono e densidade energética; *C. nigricans* apresentou maior teor de material volátil e menor teor de carbono fixo; *C. glutinosum* apresentou valores intermediários entre as espécies estudadas. A *P. reticulatum* apresentou maiores teores de carbono fixo e cinza e menor teor de material volátil, e menores valores médios para densidade básica e conseqüentemente para densidade energética, estoque de carbono e índice de valor combustível. As fortes correlações foram observadas entre as variáveis: densidade básica da madeira e densidade energética da madeira; densidade básica da madeira e estoque de carbono na madeira; densidade energética da madeira e estoque de carbono na madeira; teor de material volátil e teor de carbono fixo; índice de valor combustível e teor de cinza. Para a espécie *G. senegalensis*, a maior influência no cálculo do índice de valor combustível foi do teor de cinza e para as espécies *C. glutinosum*, *C. micranthum*, *C. nigricans* e *P. reticulatum* do teor de umidade. A partir dos resultados observados é possível sugerir que a espécie *G. senegalensis*, entre as cinco espécies estudadas, é a mais indicada para uso energético no Níger.

Palavras-chave: Energia. Poder calorífico superior. Índice de valor combustível.

ABSTRACT

This work is the product of the covenant between the International Center for Research in Agroforestry (ICRAF) and the Universidade Federal do Paraná (UFPR), as part of the project: Dendro energy variation in natural Populations of native tree species in West Africa: implications for adaptation to climate change. The objective of this study was to characterize the wood properties of the species *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr, *Combretum micranthum* G.Don, *Guiera senegalensis* J.F.Gmel. and *Piliostigma reticulatum* (DC.) for use as a primary source of energy in four different regions of Niger in the African Sahel. The specific objectives were to evaluate the effect of the species and region in the quality of the properties of the wood of the five species for energy purposes, to determine the correlations between the variables of the woods of the five species for energy use and interpret the fuel value index (FVI) as energy quality parameter. The study was conducted in southern Niger in West Africa in which have been defined four regions named: 1 - La Tapoa North; 2 - Gaya North, 3 - Birni N'Konni North and 4 - North Aguié Department. The sampling in the field consisted to collect 20 trees of each species per region, following a latitudinal line through the four defined regions. Two discs of each tree were removed and used to determine the basic wood density and an estimate of age, respectively. The wood in the form of sawdust was used for immediate chemical analysis, higher heating value and the total carbon content; with these values it was possible to calculate the energy density of wood, carbon storage in wood and fuel value index. The effect of the region was not observed for the variable of higher calorific value, fuel value index and ash content, although all variables presented influence of species factor and basic wood density was not affected by the effect of the interaction between the species factors and region. The *G. senegalensis* showed the highest average values for higher heating value, total carbon content and fuel index value and lower ash content. *C. micranthum* showed the highest average values for basic density, carbon storage and energy density; *C. nigricans* showed higher volatile material content and lower fixed carbon content; *C. glutinosum* showed intermediate values between the studied species. *P. reticulatum* showed higher fixed carbon and ash contents and lower contents of volatile material and minor basic average values for basic density and thus for energy density, carbon stocks and fuel index value. The strong correlations were observed between the variables: basic wood density and energy density of the wood; Basic wood density and carbon storage in wood; energy density of wood and carbon stock in wood; Volatile material content and fixed carbon content; fuel ratio value and ash content. For the species *G. senegalensis*, the greatest influence on the calculation of the fuel value index was the ash content and the species *C. glutinosum*, *C. micranthum*, *C. nigricans* and *P. reticulatum* of the humidity content. From the observed results it is possible to suggest that the species *G. senegalensis*, among the five species studied, is the most suitable for energy use in Niger.

Key-words: Energy. Higher heating value. Fuel value index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DO SAHEL NA ÁFRICA.....	5
FIGURA 2 - DIVISÃO NO NIGER EM SETE REGIÕES E UM DISTRITO (CAPITAL)..	6
FIGURA 3 - QUANTIDADE DE MADEIRA UTILIZADA COMO COMBUSTÍVEL TOTAL E <i>PER CAPITA</i> E PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL TOTAL E <i>PER CAPITA</i> NO NÍGER	8
FIGURA 4 - VARIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA VIVA NO NÍGER NO PERÍODO DE 2005 A 2013.....	9
FIGURA 5 – a. ÁRVORE DE <i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.; b. FOLHAS; c. INFLORESCÊNCIA; d. FRUTOS	11
FIGURA 6 – a. ÁRVORE DE <i>Combretum micranthum</i> G.Don.; b. NFLORESCÊNCIA; c. FRUTOS; d. GALHOS USADOS PARA VIGAMENTO DO TELHADO.	13
FIGURA 7 – a. ÁRVORE DE <i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. & Perr.; b. INFLORESCÊNCIA; c. FRUTOS; d. GOMA.	15
FIGURA 8 – a. ÁRVORE DE <i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel.; b. RAMOS PUBESCENTES; c. FOLHAS; d. INFLORESCÊNCIA.	16
FIGURA 9 – a. ÁRVORE DE <i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.; b. FOLHAS; c. FLORES; d. FRUTOS.	18
FIGURA 10 - ÁREA DE COLETA DAS ÁRVORES DAS CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS ESTUDADAS NO NIGER.	21
FIGURA 11 - ESQUEMA DE AMOSTRAGEM PARA CADA ÁRVORE.	24
FIGURA 12 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db) E DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) PARA AS CINCO ESPÉCIES.....	47
FIGURA 13 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) PARA AS CINCO ESPÉCIES.....	49
FIGURA 14 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) PARA AS CINCO ESPÉCIES.....	50

FIGURA 15 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS MATERIAL VOLÁTIL (MV) E CARBONO FIXO (CF) PARA AS CINCO ESPÉCIES.....	51
FIGURA 16 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS TEOR DE CINZA (CZ) E INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) PARA AS CINCO ESPÉCIES	52
FIGURA 17 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu) NO INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE <i>Combretum glutinosum</i>	55
FIGURA 18 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu) NO INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE <i>Combretum micranthum</i>	55
FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu) NO INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE <i>Combretum nigricans</i>	56
FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (DB), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (UBU) NO INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE <i>Guiera senegalensis</i>	56
FIGURA 21 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (DB), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (UBU) NO INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE <i>Piliostigma reticulatum</i>	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ÁREA DE COBERTURA FLORESTAL DO NIGER: ÁREA TOTAL, FLORESTAS PRIMÁRIAS, FLORESTAS PLANTADAS E FLORESTAS DE REGENERAÇÃO NATURAL.....	7
TABELA 2- QUANTIDADE DE ÁRVORES AMOSTRADAS EM CAMPO	24
TABELA 3 - QUANTIDADE DE AMOSTRAS UTILIZADAS PARA REALIZAR AS ANÁLISES DE LABORATÓRIO.....	25
TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM DOIS FATORES FIXOS PARA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Db), TEORES DE MATERIAL VOLÁTIL (MV), CARBONO FIXO (CF) E CINZA (CZ)	31
TABELA 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM DOIS FATORES FIXOS PARA PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) E ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI)	32
TABELA 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM DOIS FATORES FIXOS PARA TEOR DE CARBONO TOTAL (CT) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM).....	32
TABELA 7 - EFEITO DA ESPÉCIE E DA REGIÃO NA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Kg m ⁻³)	33
TABELA 8 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE MATERIAL VOLÁTIL (%).....	34
TABELA 9 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE CARBONO FIXO (%)	35
TABELA 10 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE CINZA RESULTANTE DA COMBUSTÃO DA MADEIRA (%)	36
TABELA 11 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE CARBONO TOTAL (%).....	37
TABELA 12 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Kcal kg ⁻¹)	38
TABELA 13 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NA DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (Kcal m ⁻³)	39
TABELA 14 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (Kg m ⁻³)	40

TABELA 15 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL	41
TABELA 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM UM FATOR FIXO PARA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Db), TEORES DE MATERIAL VOLÁTIL (MV), CARBONO FIXO (CF) E CINZA (CZ)	41
TABELA 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM UM FATOR FIXO PARA PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) E INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI).	42
TABELA 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM UM FATOR FIXO PARA TEOR DE CARBONO TOTAL (CT) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM).....	42
TABELA 19 - EFEITO DA ESPÉCIE NAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), MATERIAL VOLÁTIL (MV), CARBONO FIXO (CF), TEOR DE CINZA (CZ), CARBONO TOTAL (CT), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM), ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) E INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI).....	43
TABELA 20 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), MATERIAL VOLÁTIL, CARBONO FIXO (CF), TEOR DE CINZA, CARBONO TOTAL (CT), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM), ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) E INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI)	45
TABELA 21 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), MATERIAL VOLÁTIL, CARBONO FIXO (CF), TEOR DE CINZA, CARBONO TOTAL (CT), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM), ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) E INDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) PARA AS CINCO ESPÉCIES AMOSTRADAS NO NÍGER.....	46
TABELA 22 - DADOS MÍNIMOS, MÁXIMOS E MEDIANAS DOS PARAMETROS UTILIZADOS PARA SIMULAÇÃO DO FVI DE CADA ESPÉCIE	53

TABELA 23 - SIMULAÇÃO DO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL UTILIZANDO VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MEDIANAS PARA DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu)...	54
TABELA 24 – EFEITO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (UBU) NO CÁLCULO DO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL	54

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM – American Society for Testing and Materials
BIOFIX – Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa
CF – Carbono Fixo
CIA – Central Intelligence Agency
CT – Carbono Total
CZ – Cinza
Db – Densidade básica
DEM – Densidade Energética da Madeira
ECM – Estoque de Carbono na Madeira
FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
FRA – Forest Resource Assesment
FVI – Fuel Value Index
ICRAF – International Center for Research in Agroforestry
LEB – Laboratório de Energia de Biomassa
LSD – Least Significance Difference
MV – Material Volátil
NBR – Norma Brasileira
PCS – Poder Calorífico Superior
Ubu – Umidade base úmida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	OBJETIVOS	4
2	REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1	CARACTERÍSTICAS GERAIS DO NÍGER.....	5
2.2	ESPÉCIES ESTUDADAS.....	9
2.2.1	<i>Combretum glutinosum</i> Perr. ex DC.....	10
2.2.2	<i>Combretum micranthum</i> G.Don	12
2.2.3	<i>Combretum nigricans</i> Lepr. ex Guill. & Perr	13
2.2.4	<i>Guiera senegalensis</i> J.F.Gmel.....	15
2.2.5	<i>Piliostigma reticulatum</i> (DC.) Hochst.....	17
2.3	PROPRIEDADES DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM DE CAMPO.....	20
3.1.1	Regiões do Níger	20
3.1.2	Espécies utilizadas e amostragem.....	23
3.2	ANÁLISES DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS	24
3.2.1	Densidade básica da madeira e estimativa da idade.....	25
3.2.2	Teor de umidade	26
3.2.3	Poder calorífico superior e análise química da madeira.....	26
3.2.4	Teor de carbono total	27
3.2.5	Densidade energética e estoque de carbono na madeira.....	27
3.2.6	Índice de valor combustível.....	28
3.3	ANÁLISE DOS DADOS	29
3.3.1	Análise de covariância	29
3.3.2	Análise de variância	30
3.3.3	Análise de correlação de Pearson	30
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1	DIFERENÇAS NAS VARIÁVEIS ESTUDADAS ENTRE ESPÉCIE E REGIÃO	31

4.2	CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS ESTUDADAS	44
4.3	INTERPRETAÇÃO DO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI)	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS.....	61
	APÊNDICE A – ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS	68
	APÊNDICE B – GRÁFICOS DE DISPERSÃO PARA AS VARIÁVEIS ESTUDADAS POR ESPÉCIE.	72

1 INTRODUÇÃO

A madeira é utilizada como fonte de energia primária desde o início da civilização, sendo de grande importância para as comunidades como combustível para a cocção de alimentos, aquecimento e outros usos. Com a evolução da humanidade a lenha passou a fornecer energia também como fonte secundária.

Atualmente a madeira continua participando da matriz energética mundial dentro das energias renováveis, dependendo do país esta participação pode ser maior ou menor. A participação da madeira na matriz energética depende de fatores como o nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, questões ambientais, e sua competição econômica com outras fontes energéticas (BRITO, 2007).

O Níger é um país localizado no oeste africano, em 2014 seu IDH foi de 0,348 ocupando a 188^o posição no ranking mundial (DadosMacro, 2016), este valor caracteriza um país subdesenvolvido que enfrenta sérios problemas para alcançar o desenvolvimento: a falta de litoral, extensa área desértica, educação precária, falta de infraestrutura, extrema pobreza e degradação ambiental são fatores que combinam para este fato.

A vegetação natural do Níger está altamente degradada pela ação antrópica e pelas condições climáticas da região. Conforme a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2003), O país tem oito milhões de hectares de áreas florestais protegidas no *Air and Ténéré National Nature Reserve*, a região mais importante em termos de conservação das florestas é o Parque Nacional do Níger, onde 16% das florestas do país estão localizadas.

O Níger tem a maior taxa de desmatamento na África, estimada no ano 2000 em 3,7% ao ano. Ao longo dos anos, no entanto, os efeitos combinados da seca e do clima tem repercutido sobre todos os recursos naturais renováveis (FAO, 2003).

As comunidades locais se utilizam desta vegetação para sua subsistência, a madeira (troncos e galhos) é usada como lenha para a cocção de alimentos, aquecimento e iluminação de ambientes, a fumaça gerada pelo fogo é usada para espantar insetos indesejáveis das casas e dos animais domésticos e dos bovinos no campo. Diversas espécies são empregadas na medicina, pois as espécies desta região são ricas em fármacos e na construção das casas utilizam troncos e galhos para o vigamento.

Segundo Faye, Weber e Abasse (2011), as comunidades rurais do Oeste Africano na região do Sahel, utilizam mais de 90% das espécies arbóreas / arbustivas nativas para produtos de madeira, tais como combustível, vigas para construção, implementos agrícolas, instrumentos musicais e confecção de artesanatos.

As espécies *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr, *Combretum micranthum* G.Don, *Guiera senegalensis* J.F.Gmel. e *Piliostigma reticulatum* (DC.), foram selecionadas por serem valorizadas como madeira para combustível, madeira de construção e outros serviços ambientais na África Ocidental.

Todas as espécies lenhosas são utilizadas como combustível na forma de lenha, sendo consideradas como espécies comerciais. Esta realidade enfatiza a urgente necessidade de estudos que melhorem o uso da matéria prima por essa população.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as propriedades da madeira das espécies *Combretum glutinosum* Perr. ex DC., *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr, *Combretum micranthum* G.Don, *Guiera senegalensis* J.F.Gmel. e *Piliostigma reticulatum* (DC.) para uso como fonte primária de energia, em quatro regiões distintas do Níger na faixa do Sahel africano.

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o efeito da espécie e da região na qualidade das propriedades das madeiras das cinco espécies, para fins energéticos.
- Determinar as correlações lineares entre as variáveis das madeiras das cinco espécies, para uso energético.
- Interpretar o uso do índice de valor combustível (FVI – *Fuel Value Index*) como parâmetro de qualidade energética.

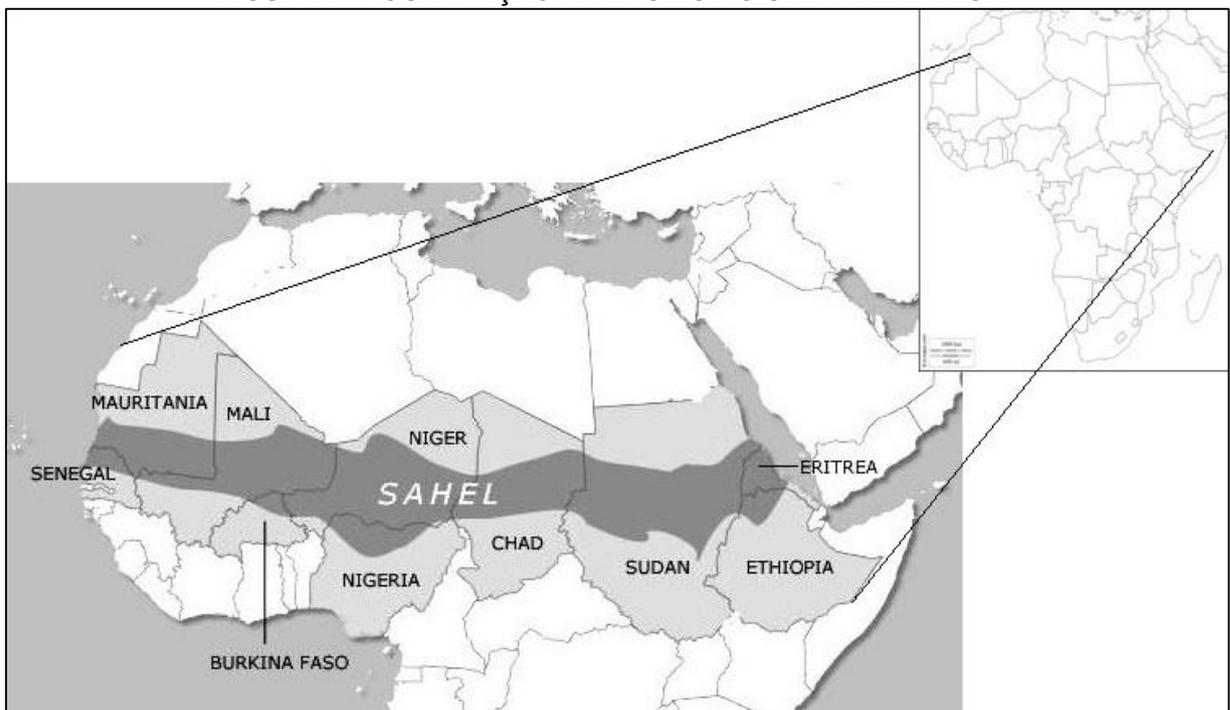
2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO NÍGER

A palavra Sahel é um termo árabe que significa fronteira, tem sido usada durante séculos para denotar a extremidade sul do deserto do Saara, a linha de costa do deserto. Tornou-se conhecida no mundo durante a dramática seca que ocorreu na região entre 1970-1973. O Sahel se estende por mais de 5.500 quilômetros, indo do Norte da África do Oceano Atlântico em direção ao Leste quase até o Mar Vermelho, em uma faixa de aproximadamente 450 quilômetros, abrangendo uma área com cerca de 2,5 milhões km² (HOUÉROU, 1980).

A região inclui a maior parte dos países da Mauritânia, Senegal, Mali, Níger, Chade, o Sudão e as margens do norte da Nigéria e Burkina Faso (FIGURA 1). O Sahel é uma zona ecológica de clima e vegetação que representa uma transição entre o deserto e a savana, tornando-se mais úmido para o sul (HIERNAUX; NOËL; HOUÉROU, 2006).

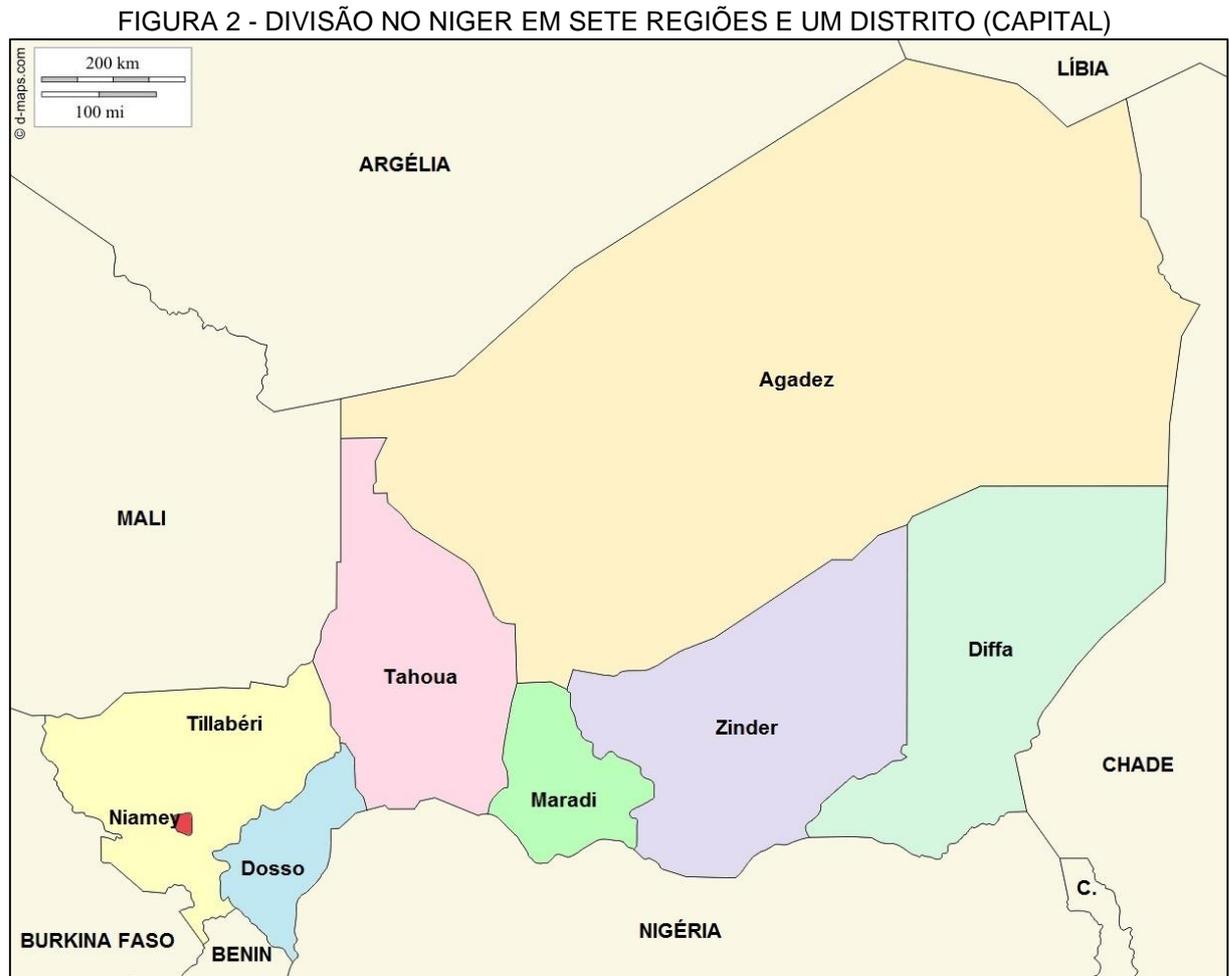
FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DO SAHEL NA ÁFRICA



FONTE: ADAPTADO DE GALITO (2013); D-MAPS (2016).

O Níger ou Republica do Níger está situado na África Ocidental e faz fronteira com Argélia, Benin, Burkina Faso, Chad, Líbia, Mali e Nigéria. A extensão territorial do

país é de 1.267 milhões de km², sendo 35,1% ocupado por agricultura (terra arável 12,3%; culturas permanentes 0,1%; pasto permanente 22,7%), 1% por florestas e 63,9% de outras ocupações. O Níger é dividido em sete regiões: Agadez, Diffa, Dosso, Maradi, Tahoua, Tillabéri e Zinder, e um distrito: Niamey que é a capital do país (FIGURA 2) (CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY (CIA), 2015).



FONTE: ADAPTADO DE D-MAPS (2016).

O Níger é um dos países mais quentes do mundo, particularmente na parte norte, onde o calor intenso muitas vezes causa a evaporação da chuva antes de atingir o solo. Em média as chuvas nas *Air Mountains* (ou *Air Massif*) são limitadas a 178 mm por ano, e a maior parte desta vem durante um único período com duração de dois meses. No sul, as médias de precipitação são cerca de 559 mm por ano, variando de 229 mm da região do Zinder para 762 mm em Niamey. A estação chuvosa é de junho a setembro, sendo em julho e agosto os meses com maior quantidade de chuvas. De novembro a fevereiro o clima é seco e mais frio, a temperatura oscila entre 29,4 ° C

durante a estação seca para 40,5 ° C durante a estação úmida (AFRICA GUIDE, 2015).

O Níger foi um dos países mais atingidos pela grande seca que ocorreu no período de 1967 a 1974, as florestas danificadas ou destruídas durante este evento podem não ter sido regeneradas (FAO, 2015). A TABELA 1 apresenta a área de cobertura florestal no país no período de 2005 a 2013 (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - STATISTICS DIVISION (FAO STAT), 2015).

TABELA 1 - ÁREA DE COBERTURA FLORESTAL DO NIGER: ÁREA TOTAL, FLORESTAS PRIMÁRIAS, FLORESTAS PLANTADAS E FLORESTAS DE REGENERAÇÃO NATURAL.

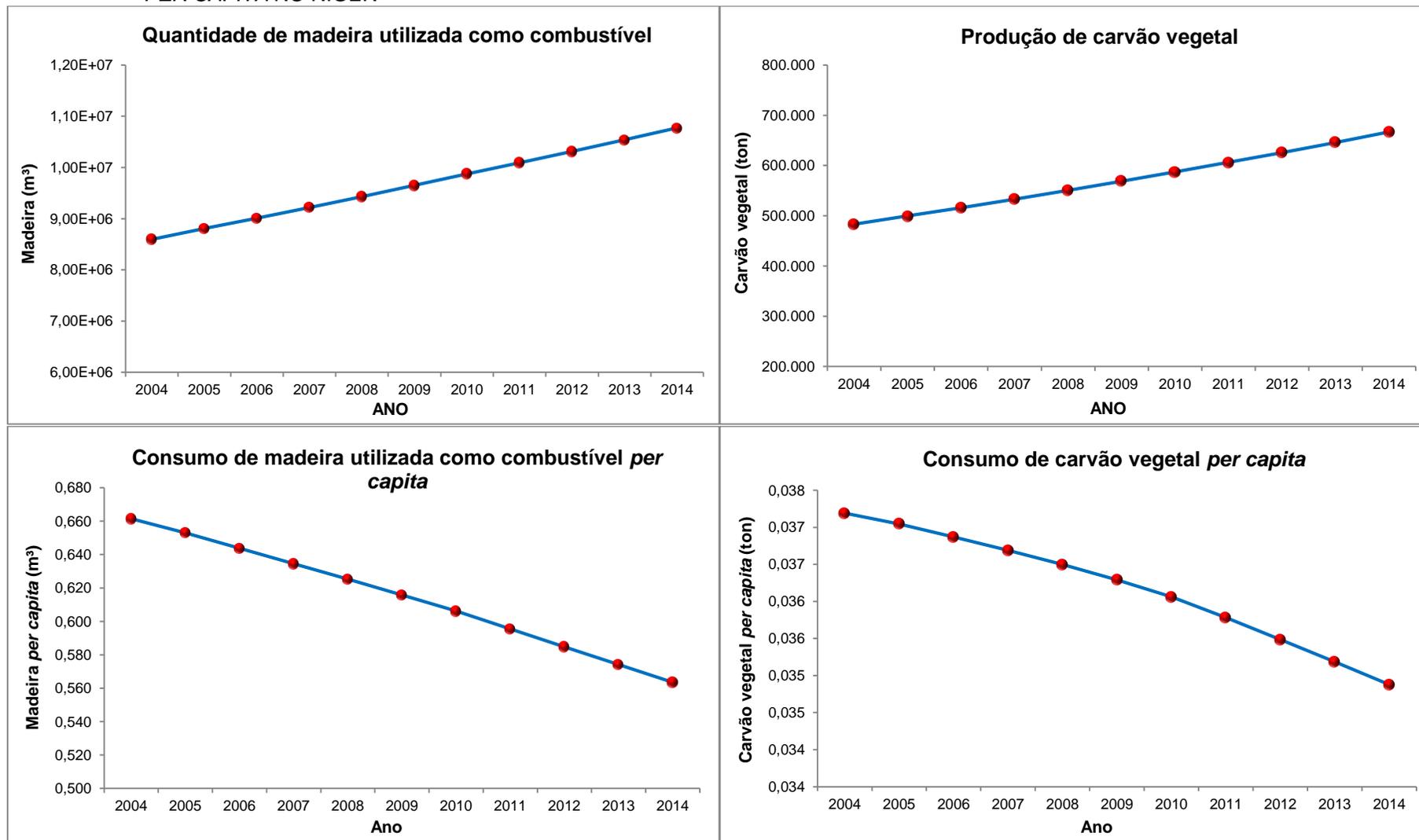
Categoria	Ano								
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Área total de florestas (ha)	1266,0	1253,6	1241,2	1228,8	1216,4	1204,0	1191,6	1179,2	1166,8
Área de florestas primárias (ha)	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0	220,0
Área de florestas plantadas (ha)	110,0	117,6	125,2	132,8	140,4	148,0	148,4	148,8	149,2
Área de regeneração natural (ha)	936,0	916,0	896,0	876,0	856,0	836,0	823,2	810,4	797,6

FONTE: FAO STAT, 2015.

Segundo a Forest Resource Assesment (FRA) (2010), as áreas de florestas primárias permanecem intactas porque correspondem aos remanescentes do Parque Nacional W, o qual possui um estatuto que permite sua proteção. As áreas de regeneração natural, principalmente as florestas de algaroba (*Prosopis* spp), variam em função do sistema de cheias do lago. Na ausência de dados suficientes para avaliar estas flutuações, considerou-se a área média fornecida pelo plano de gestão do Lago Chad.

A quantidade de madeira utilizada como lenha e a produção de carvão vegetal no Níger aumentou no período de 2004 a 2014, segundo a FAO (2014), a quantidade produzida é em sua totalidade consumida pela população. Com o aumento da população neste mesmo período, o consumo de madeira e de carvão vegetal *per capita* aumentou proporcionalmente, em contrapartida a oferta de madeira segue na direção contrária, neste período apresentou decréscimo (FIGURA 3).

FIGURA 3 - QUANTIDADE DE MADEIRA UTILIZADA COMO COMBUSTÍVEL TOTAL E *PER CAPITA* E PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL TOTAL E *PER CAPITA* NO NÍGER

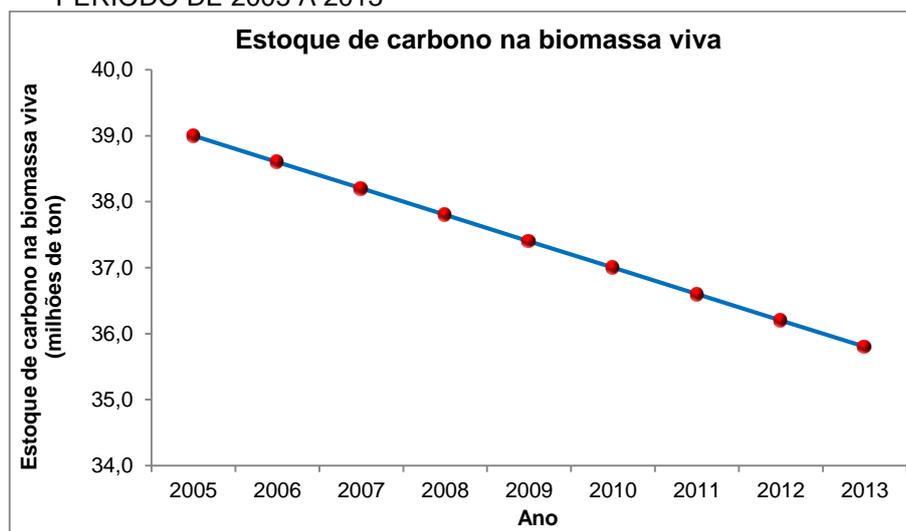


FONTE: ADAPTADA DE FAO (2015).

Na zona rural e urbana, a madeira é a principal fonte de energia utilizada para culinária e aquecimento. Com o rápido crescimento da população e simultaneamente o aumento da demanda de madeira, a parte fértil do país (região Sul) já não é mais suficientemente produtiva para suprir as necessidades das pessoas. Principalmente porque a maioria das florestas foi destruída e o deserto do Saara está avançando cada vez mais para dentro do Sahel, e os períodos de seca tornam-se cada vez mais frequentes (MIJITABA; JING, 2013).

A FIGURA 4 apresenta o estoque de carbono na biomassa viva no Níger, no período de 2005 a 2013. O estoque vem decrescendo ao longo dos anos devido à exploração das áreas com florestas.

FIGURA 4 - VARIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NA BIOMASSA VIVA NO NÍGER NO PERÍODO DE 2005 A 2013



FONTE: ADAPTADO DE FAO (2015).

2.2 ESPÉCIES ESTUDADAS

A família Combretacea tem ocorrência ao longo dos trópicos, é uma família pantropical com 14 gêneros e cerca de 500 espécies. Os dois maiores gêneros são *Combretum* e *Terminalia*, estes ocorrem em todos os continentes (*Combretum* não havia sido descoberto na Austrália até o ano de 1980). A maior diversidade genética do gênero *Combretum* está na África e do gênero *Terminalia* está no sudeste Asiático. Todas as espécies de desta família são lenhosas, variando de árvores a lianas (principalmente em florestas) e arbustos ou subarbustos (em savanas) (KUBITZKI, 2007).

Espécies do gênero *Combretum* são principalmente subarbustos, arbustos ou lianas, com poucas árvores (excepcionalmente, *C. leprosum* e *C. glaucocarpa* que podem atingir até 25 m de altura no Brasil). Possui cerca de 255 espécies e algumas estão localizadas nas savanas africanas e indianas (aproximadamente 20 espécies), são dependentes do fogo, após sua passagem na estação seca brotos aéreos anuais surgem no solo, a partir de caules subterrâneos (KUBITZKI, 2007).

Espécies do gênero *Guiera* são arbustos com folhas opostas ou sub opostas, possui apenas uma espécie: *Guiera senegalensis* JF Gmel e está limitada a África Tropical (KUBITZKI, 2007).

A subfamília Caesalpinioideae pertence à família Leguminosae, é composta por quatro tribos, 171 gêneros e 2250 espécies, destes 75 gêneros ocorrem na região Neotropical. Podem se apresentar como árvores, arbustos e cipós apresentam nódulos radiculares incomuns (presente em alguns *Chamaecrista* spp.) e muitas associações com fungos (KLITGARD; LEWIS, 2010).

O gênero *Piliostigma* possui aproximadamente cinco espécies, *P. thonningii* possui distribuição generalizada, que vai desde o Senegal até o Iêmen, *P. reticulatum* é encontrada em toda a África Ocidental e Central da Etiópia até o Sudão. *P. malabaricum* é difundido a partir do Paquistão, e de todo o sul da Ásia ao norte da Austrália, *P. foveolatum* é endêmico na Índia e *P. tortuosum* é endêmica em Mianmar (LEWIS et al., 2005).

2.2.1 *Combretum glutinosum* Perr. ex DC.

Família: Combretaceae;

Sinonímia: *Combretum cordofanum* Engl. & Diels, *C. passargei* Engl. & Diels, *C. leonense* Engl. & Diels.;

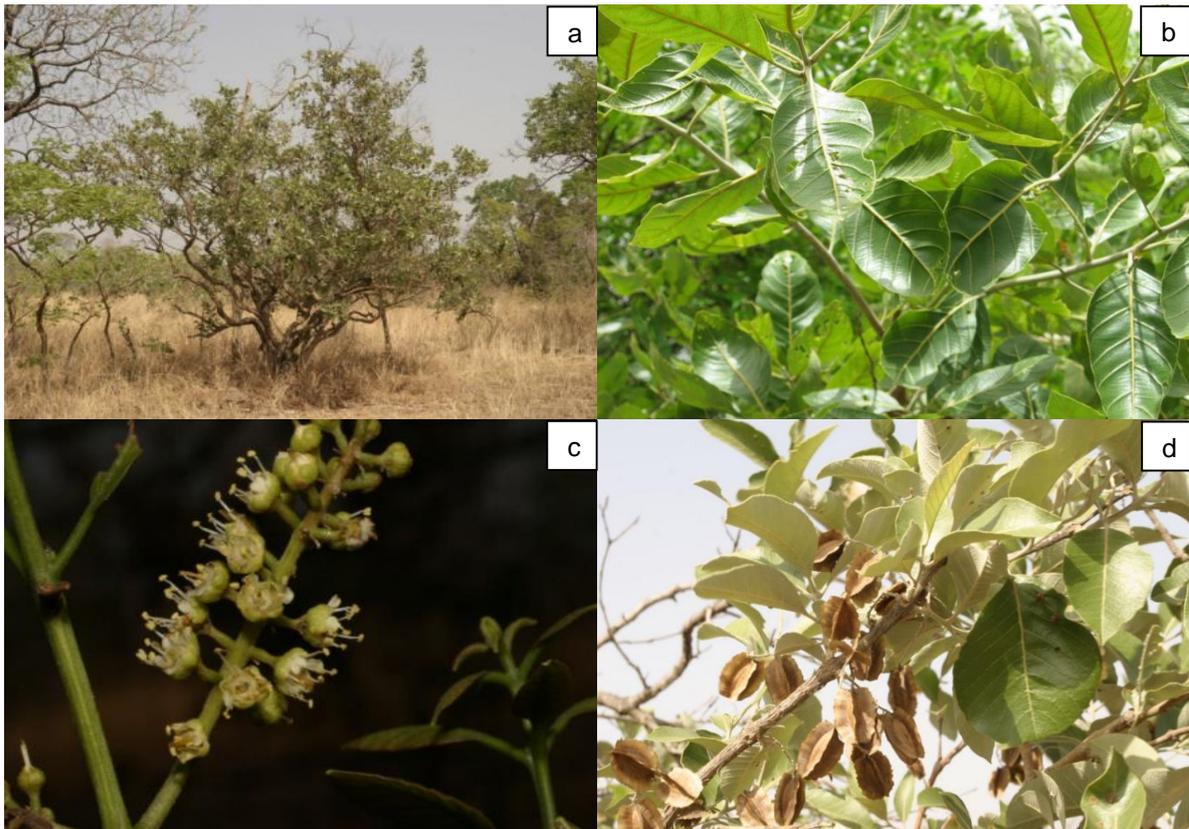
Nome vulgar: *Bois d'éléphant*.

A espécie é distribuída por toda a região do Sahel. Ela cresce em florestas do tipo savana arborizadas, se adapta em muitos tipos de solo, mas floresce melhor em solos arenosos e bem drenados. A espécie é resistente à seca, estando presente em áreas onde a precipitação média anual varia de 300 a 700 mm, possui rápido crescimento rápido e é amplamente distribuída (VAUTIER et al., 2007)

Nas savanas a *C. glutinosum* é perene, no Sahel é caducífolia, perde suas folhas por alguns meses durante a estação seca. Depois de estabelecida em uma

área facilmente forma adensados. As árvores podem atingir até 12 m de altura e 60 cm de diâmetro de tronco, muitas vezes tortuosos ou ramificados desde a base (FIGURA 5a). A casca é sulcada, áspera e de cor cinza, copa arredondada e aberta, ramos densos e folhas opostas ou às vezes alternas verticiladas (FIGURA 5b) (MARQUET; JANSEN, 2005).

FIGURA 5 – a. ÁRVORE DE *Combretum glutinosum* Perr. ex DC.; b. FOLHAS;c. INFLORESCÊNCIA; d. FRUTOS



FONTE: BRUNKEN et al., (2008).

O fogo pode ser um fator que desencadeia a brotação e o florescimento, evitando assim a destruição de flores ou folhas novas. A floração ocorre na estação seca, com o início das queimadas, quanto mais cedo ocorrerem mais cedo a floração acontece (FIGURA 5c). A frutificação começa em janeiro e pode continuar até novembro, embora muitas vezes pode ocorrer de março até maio, final da estação seca (FIGURA 5d) (VAUTIER et al., 2007).

A madeira possui coloração amarelada, é dura e possui alta durabilidade natural, é usada para construção de casas, na confecção de cabos para ferramentas, e como lenha. A cinza da madeira são empregadas no tingimento índigo (do Senegal até a Nigéria) para manter o pH alcalino (IRVINE, 1961). Na medicina tradicional tem

grande valor, a infusão das folhas, casca e frutos é usada para tratar problemas do trato urinário, fígado e rins, para problemas respiratórios, febre, problemas intestinais e para limpar ferimentos (MARQUET; JANSEN, 2005).

2.2.2 *Combretum micranthum* G.Don

Família: Combretaceae;

Sinonímia: *Combretum altum* Perr., *C. floribundum* Engl. & Diels, *C. raimbaultii* Heck;

Nome vulgar: *Kinkeliba*.

C. micranthum é nativa da África ocidental, se distribuí a partir do Senegal e Mauritânia até a Nigéria e Níger. É uma planta da savana encontrada em locais secos, são frequentemente encontradas em cupinzeiros, embora as raízes sejam muito susceptíveis ao ataque de térmitas. Pode ser utilizada como indicador de solos pobres com baixos teores de nutrientes. Cresce onde a precipitação anual varia de 300 a 1500 mm e em altitudes desde o nível do mar até 1000 m, comumente cresce em grupos e podem formar adensados e localmente é abundante (SACANDÉ; SANON; SCHMIDT, 2007a).

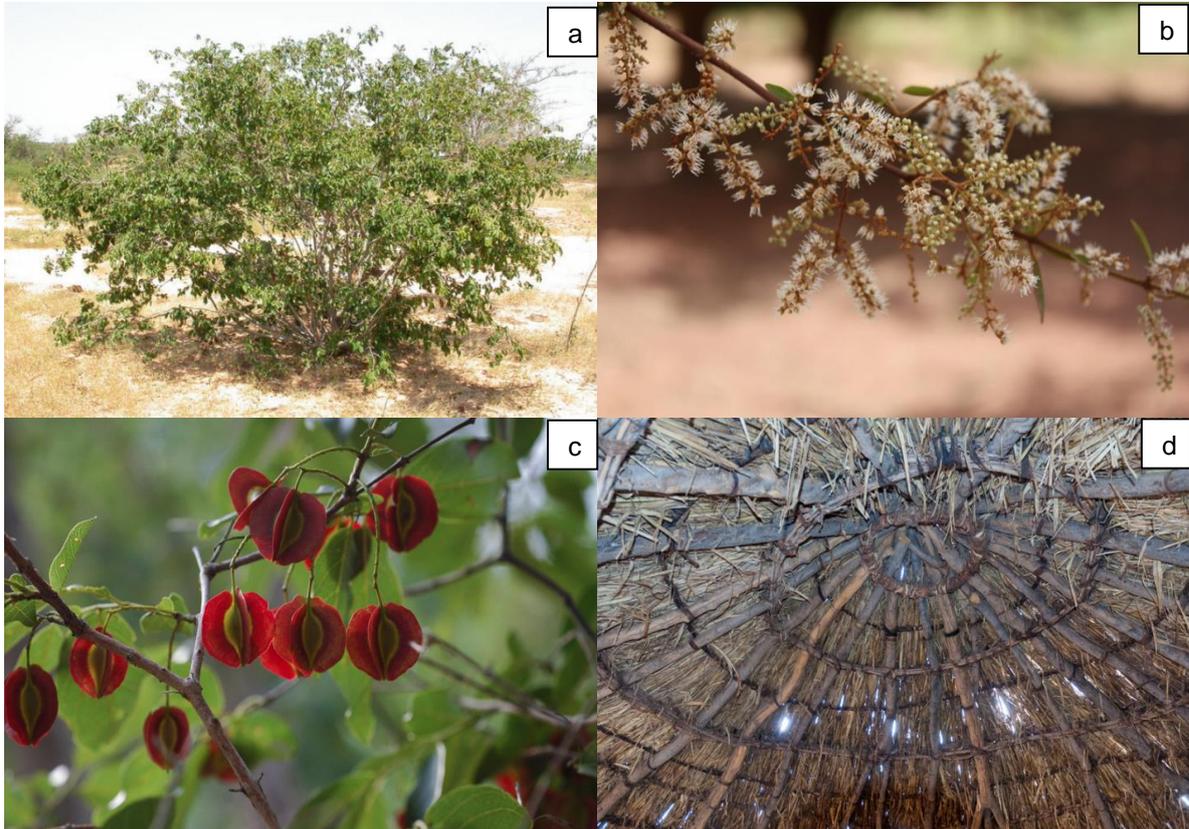
Árvore ou arbusto com 4 m de altura (podendo atingir 10 m sob condições favoráveis), ou como liana chegando a 20 m de comprimento enroscando-se em torno dos ramos de árvores próximas (FIGURA 6a) (BAUMER, 1983).

Partes da planta como inflorescência, flores, frutos, brotos novos e pecíolos são densamente cobertos com escamas vermelhas. As folhas são alternas verdes e brilhantes quando jovem, quando maduras adquirem coloração ferrugínea por causa da oxidação, durante a estação seca. A casca é cinza e fibrosa e os ramos são marrom avermelhado (BAUMER, 1983). A inflorescência é densamente escamosa e pubescente, as flores aparecem de março a maio (FIGURA 6b). Os frutos aparecem de abril a outubro são menores do que os frutos das outras espécies do gênero *Combretum*, são densamente escamosos vermelhos e brilhantes (FIGURA 6c) (IRVINE, 1961).

Os galhos jovens são usados em cestaria, os mais velhos são usados para vigamento de telhados de sapé (FIGURA 6d), na confecção de bengalas, cadeiras, camas, cabos de ferramentas e arcos (IRVINE, 1961). As fibras da casca são usadas para fabricação de cordas, a goma da casca é comercializada no Níger e a casca também é utilizada como combustível. As sementes têm gosto de amendoim e são

comumente consumidas por crianças e as flores são muito visitadas por abelhas. A madeira é muito dura e usada como lenha e para fazer carvão (SCHMELZER, 2012).

FIGURA 6 – a. ÁRVORE DE *Combretum micranthum* G.Don.; b. INFLORESCÊNCIA; c. FRUTOS; d. GALHOS USADOS PARA VIGAMENTO DO TELHADO



FONTE: BRUNKEN et al., (2008).

As folhas são utilizadas para fazer um chá refrescante comercializado como *kinkéliba* e como forragem para pequenos ruminantes. O extrato das folhas possui propriedades antivirais e anti-inflamatórias, é comumente usado por curandeiros nativos para o tratamento da malária. Folhas, raízes e cascas possuem muitos usos medicinais (antipirético, tônico, diurético, antidiarreico e colerético). É utilizado para o tratamento de feridas, febre, rigidez, sífilis, esterilidade, hematomas, entorses, icterícia, hepatite, hematúria, anorexia, cólicas, blenorria, resfriados e bronquite (SACANDÉ; SANON; SCHMIDT, 2007a).

2.2.3 *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr

Família: Combretaceae;

Sinonímia: *Combretum elliotii* Engl. & Diels, *C. lecananthum* Engl. & Diels;

Nome vulgar: *Fula-fulfulde*.

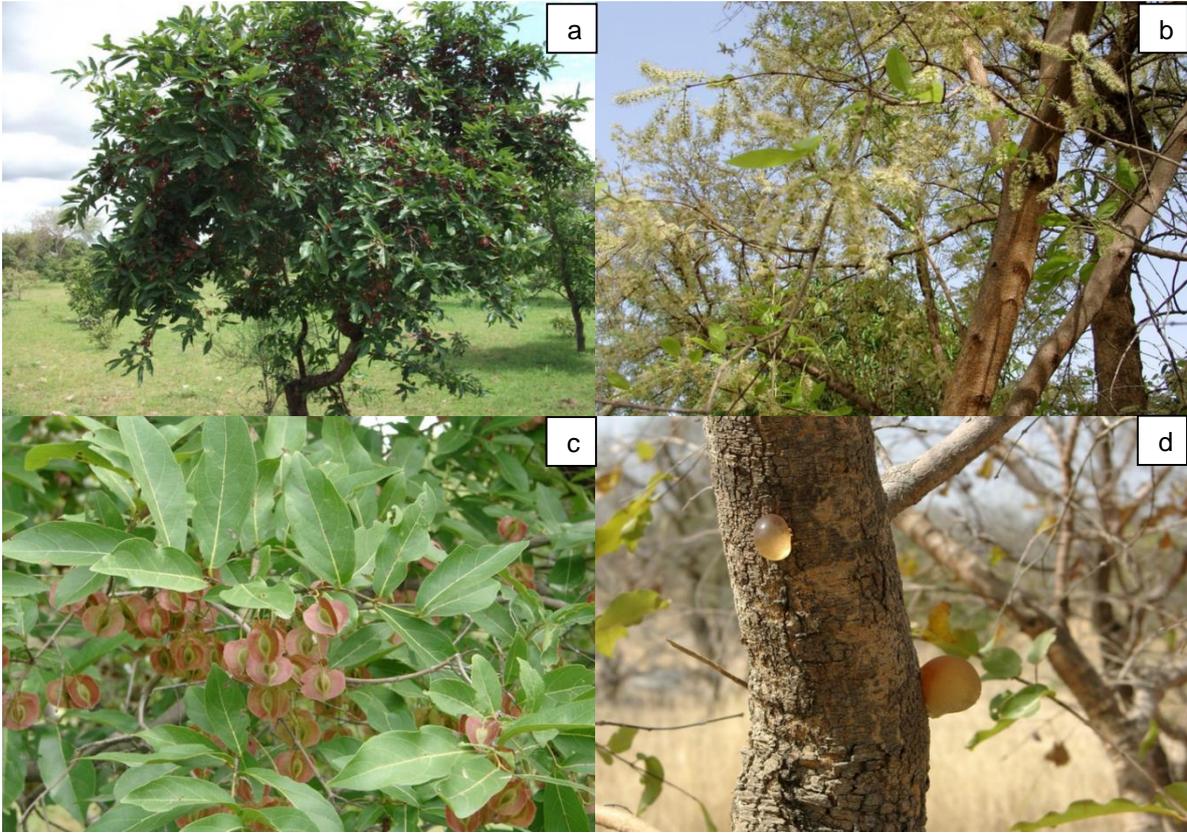
A espécie é amplamente distribuída na região do Sahel por toda África Ocidental tropical, do Senegal para Camarões e para o leste para o Sudão. *C. nigricans* é muito comum localmente, abundante e cresce em grupos, mas não forma densos aglomerados, particularmente no norte da Nigéria, Mali e Níger (SACANDÉ; SANON; SCHMIDT, 2007b).

São arbustos ou árvores que podem atingir de 10 a 15 m de altura, com ramos glabros ou curtamente pubescentes (CATARINO; MARTINS; DINIZ, 2000). Possui copa arredondada e densa (FIGURA 7a), o tronco é tortuoso e ramificado desde a base e pode chegar até 30 cm de diâmetro. A casca é rugosa ou finamente escamosa, em indivíduos mais velhos possui coloração róseo-castanho. A floração ocorre na estação seca, antes ou quando as primeiras folhas aparecem (FIGURA 7b), depende principalmente do fogo para que ocorra, quanto mais cedo as queimadas ocorrerem mais cedo as flores aparecem. Frutificação ocorre normalmente durante a estação úmida ou na estação seca quando ocorre cedo (FIGURA 7c) (SACANDÉ; SANON; SCHMIDT, 2007b).

A madeira é de cor amarela e relativamente durável, é utilizada para confecção de cabos de ferramentas, cercas, postes, telhados, pilões para argamassas, lenha de boa qualidade e carvão vegetal. O caule é tóxico para os peixes e crocodilos (ARBONNIER, 2002).

Esta é uma das espécies que possui maior rendimento em goma (FIGURA 7d), é altamente comercializada localmente e utilizada para o curtimento de couro, tintas, e amido para roupas. A árvore produz a goma livremente na estação quente, esta é também comestível (IRVINE, 1961).

FIGURA 7 – a. ÁRVORE DE *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr.; b. INFLORESCÊNCIA; c. FRUTOS; d. GOMA



FONTE: BRUNKEN et al., (2008).

2.2.4 *Guiera senegalensis* J.F.Gmel.

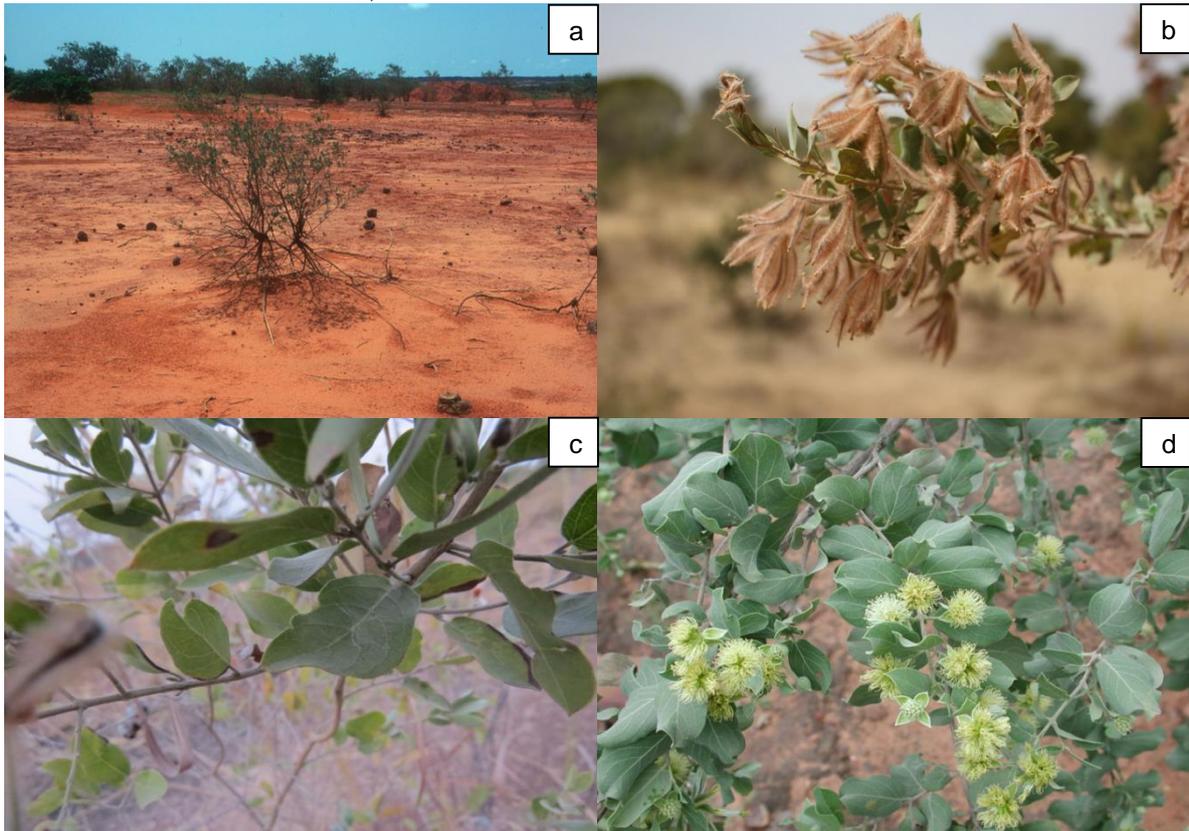
Família: Combretaceae;

Nome vulgar: *Guiera*.

G. senegalensis ocorre em florestas de savana, é abundante em áreas secas e arenosas ocorre também em solos pobres e em fazendas abandonadas (IRVINE, 1961). Cresce a partir do nível do mar até 1000 m de altitude e em áreas com 400 a 800 mm de precipitação anual. Ela é considerada um indicador de excesso de pastoreio e é muito resistente à seca (SANOGO, 2012).

Arbusto perene que atinge de 3 a 5 m de altura, com tronco fino e muito ramificado desde a base (FIGURA 8a), ramos jovens pubescentes em ambas as faces, folhas opostas, simples e inteiras (FIGURA 8b e c). A floração ocorre duas vezes por ano, uma no final da estação chuvosa e outra durante a estação seca, assim pode-se encontrar flores e frutos durante quase todo o ano (FIGURA 8d) (SANOGO, 2012).

FIGURA 8 – a. ÁRVORE DE *Guiera senegalensis* J.F.Gmel.; b. RAMOS PUBESCENTES;
c. FOLHAS; d. INFLORESCÊNCIA



FONTE: BRUNKEN et al., (2008).

As folhas são usadas em infusões na Guiné e em outros lugares como antipirético, para o reumatismo, ou aplicado como ducha nasal para a dor de cabeça. As folhas secas e galhos são queimados em torno dos animais domésticos, nos campos em torno do gado em estábulos em volta dos cavalos para fumiga-los contra moscas e outros insetos (IRVINE, 1961).

No Guidan Bakoye, o solo é arenoso e *G. senegalensis* é o arbusto dominante em terras cultivadas. Antes do início da estação das chuvas, ou seja, do final de abril a junho, os agricultores podam os ramos dos arbustos na superfície do solo, com exceção de um ou dois maiores que podem ser deixados. Parte do corte dos galhos são deixados no chão em torno da planta. A outra parte é usada para servir como forragem para os pequenos ruminantes mantidos em torno da propriedade. Depois de removidas as folhas por animais ou por senescência, os ramos são recolhidos nos campos e usados como lenha. No início da estação chuvosa, de junho a julho, o milho é semeado mais densamente e em torno da base do arbusto, brotos novos produzidos pelos tocos durante a estação chuvosa são removidos como ervas daninhas duas

vezes durante a época de colheita. Após a última capina, os brotos crescem durante a estação seca, e o arbusto é restituído (LAHMAR et al., 2012).

2.2.5 *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst.

Família: Leguminosae – subfamília: Caesalpinioideae;

Sinonímia: *Bauhinia reticulata* DC., *Bauhinia glabra* A. Chev., *Bauhinia glauca* A. Chev.;

Nome vulgar: *Abafe*, *Kalga*.

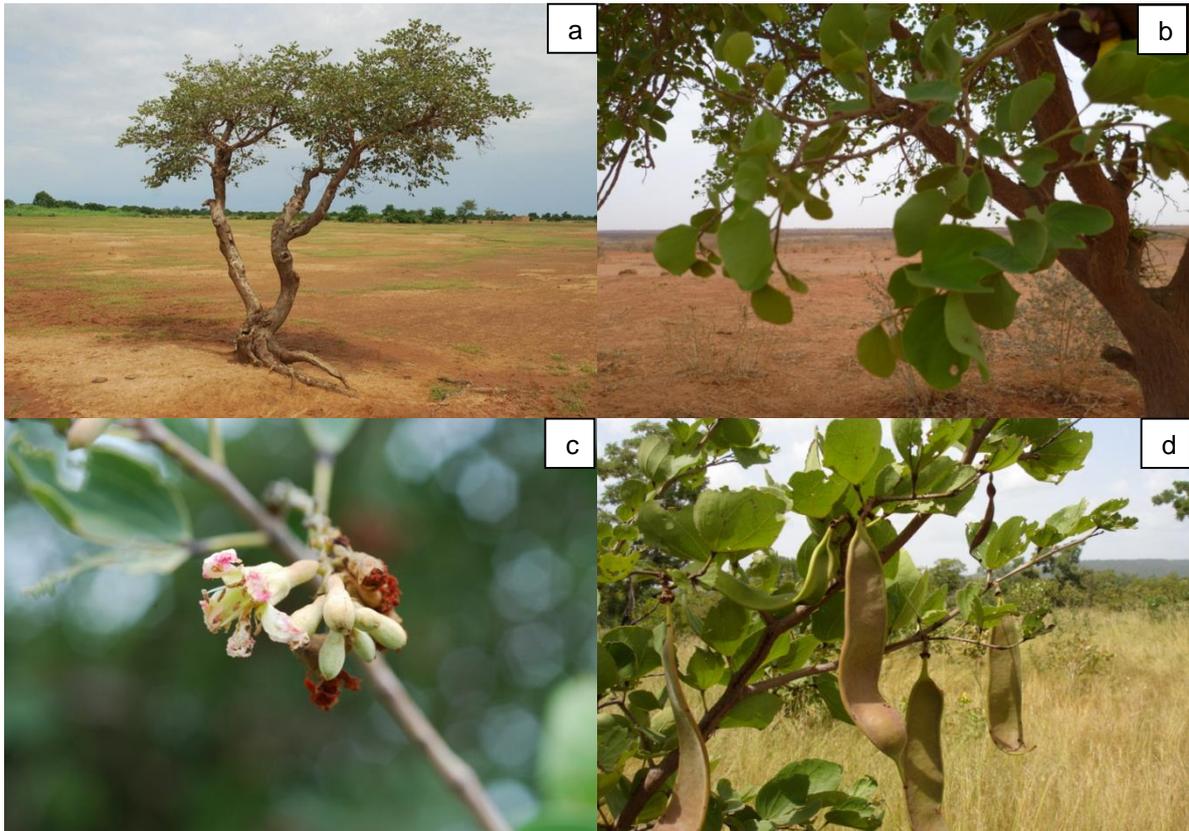
A espécie *P. reticulatum* tem ocorrência ao longo das ecozonas do Sahel-sudânico estendendo-se do Sudão para a África Oriental, cresce até 2.000 m de altitude. Árvore ou arbusto perene com tronco tortuoso podendo atingir até 9 m de altura com uma copa esférica e densa (FIGURA 9a). Casca fibrosa e cortícea, folhas largas, espessas, coriáceas, de coloração verde acinzentada, com 6 a 12 cm de comprimento e 4 a 8 cm de largura e bilobada (FIGURA 9b). Flores agrupadas ramos axilares (FIGURA 9c), frutos em forma de legumes indeiscentes podendo chegar até 25 cm de comprimento (FIGURA 9d) (HOUÉROU, [19--]).

A madeira utilizada por mulheres consiste principalmente de galhos, pois sua inflamabilidade é rápida e serve para acender o fogo. Este tipo de madeira é muito procurado na época das chuvas, em que os resíduos da colheita geralmente utilizados para esta finalidade são raros. As pequenas dimensões da madeira de *P. reticulatum* estão relacionadas com a alta pressão antropológica na espécie, que não permite que ele tenha sucesso nestes solos. No entanto, sua madeira é valorizada para cozinhar por causa de seu valor elevado de energia (ROUSSEL¹, 1996 apud YELEMOU et al., (2007).

Além da biomassa das folhas, a casca é uma das partes bastante utilizadas pelos agricultores, altamente resistente e de fácil acesso, é envolvido em muitas áreas de atividades na aldeia. Seus usos variam de aldeia em aldeia outro uso é a fabricação de corantes. Na dieta humana, as folhas de *P. reticulatum* são frequentemente utilizadas como acidulante na farinha para mingau (YELEMOU et al., 2007).

¹ ROUSSEL J. *Pépinières et plantations forestières en Afrique tropicale sèche*. Montpellier, France, 1996, Cirad, 199 p.

FIGURA 9 – a. ÁRVORE DE *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. b. FOLHAS; c. FLORES; d. FRUTOS.



FONTE: BRUNKEN et al., (2008).

2.3 PROPRIEDADES DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS

Em processos de uso da madeira em combustão direta, algumas características são importantes para a qualidade desta como combustível. Destaca-se a composição química (elementar e imediata), poder calorífico, teor de umidade e a densidade da madeira. Existe certa uniformidade entre as diferentes espécies quando refere-se a composição química elementar da madeira, podendo ser generalizada em: carbono (C) 50,2%, hidrogênio (H) 6,1%, oxigênio (O) 43,4% e nitrogênio (N) 0,2% (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Segundo Chave, Muller-Landau e Baker (2006); Jati, Fearnside e Barbosa (2014), é importante o conhecimento das variações da densidade da madeira em função da espécie e do ambiente para a transformação de dados de volume de madeira em biomassa. A madeira mais densa possui mais energia por unidade de volume e queima mais lentamente (FUWAPE; AKINDELE, 1997).

Segundo Gourlay (1995) e Sotelo Montes et al., (2012), os anéis de crescimento podem ser visualmente nítidos em espécies de árvores de folhas verdes

e caducas em zonas semiáridas, e utilizado para estimar a idade da árvore, se houver uma estação seca distinta para induzir a dormência cambial e provocar a formação de limites de crescimento. No Sul do Níger, há uma estação seca distinta, com duração aproximada de oito meses (HIERNAUX; NOËL; HOUÉROU, 2006).

O poder calorífico superior e inferior são quantidades de energia por unidade de massa, que são liberados a partir da combustão completa do material seco, de modo que é desejável valores de poder calorífico altos (KUMAR et al., 2011). Os teores de umidade e cinza contidos no material reduzem o poder calorífico, devido ao fato de se utilizar energia para evaporar a água, e a cinza é o resíduo mineral não combustível da madeira (SHANAVAS; KUMAR, 2003).

Os materiais voláteis são liberados como gases combustíveis e não combustíveis quando a madeira é queimada; o carbono fixo é a massa, excluindo teor de cinza e umidade, remanescente após a liberação do material volátil (McKENDRY, 2002). Madeiras com teor de material volátil superior inflamam mais rapidamente, e produzem mais calor durante a combustão, mas também podem produzir mais fumaça e madeiras com maiores teores de carbono fixo queimam mais lentamente (FUWAPE; AKINDELE, 1997; KATAKI; KONWER, 2002).

Somente o valor do poder calorífico superior não é tão importante, pois não existem diferenças significativas para esta variável entre a maior parte das espécies.

Além disso, o poder calorífico, eficaz, depende do teor de umidade. Quanto maior o teor de umidade, menos eficiente é a madeira como combustível, uma vez que o poder calorífico inferior para o aquecimento é reduzido. A umidade da madeira varia de acordo com as dimensões dos galhos, estação do ano e assim por diante, assim, o teor de água não pode ser considerado como parte intrínseca de uma espécie como combustível, uma vez que pode variar (BHATT; TODARIA, 1992).

Conforme Purohit e Nautiyal (1987), um material combustível (lenha) ideal deve possuir um alto calor de combustão, alta densidade da madeira, baixo teor de cinza e baixo teor de umidade. Para melhor comparação das características da lenha, um índice (FVI – *Fuel Value Index*) foi elaborado levando em conta o poder calorífico e a densidade da madeira como fatores positivos, e teores de cinza e de umidade como fatores negativos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO E AMOSTRAGEM DE CAMPO

A coleta do material e a amostragem no campo foram realizadas por pesquisadores do ICRAF, as análises das propriedades da madeira para fins energéticos foram realizadas na Universidade Federal do Paraná.

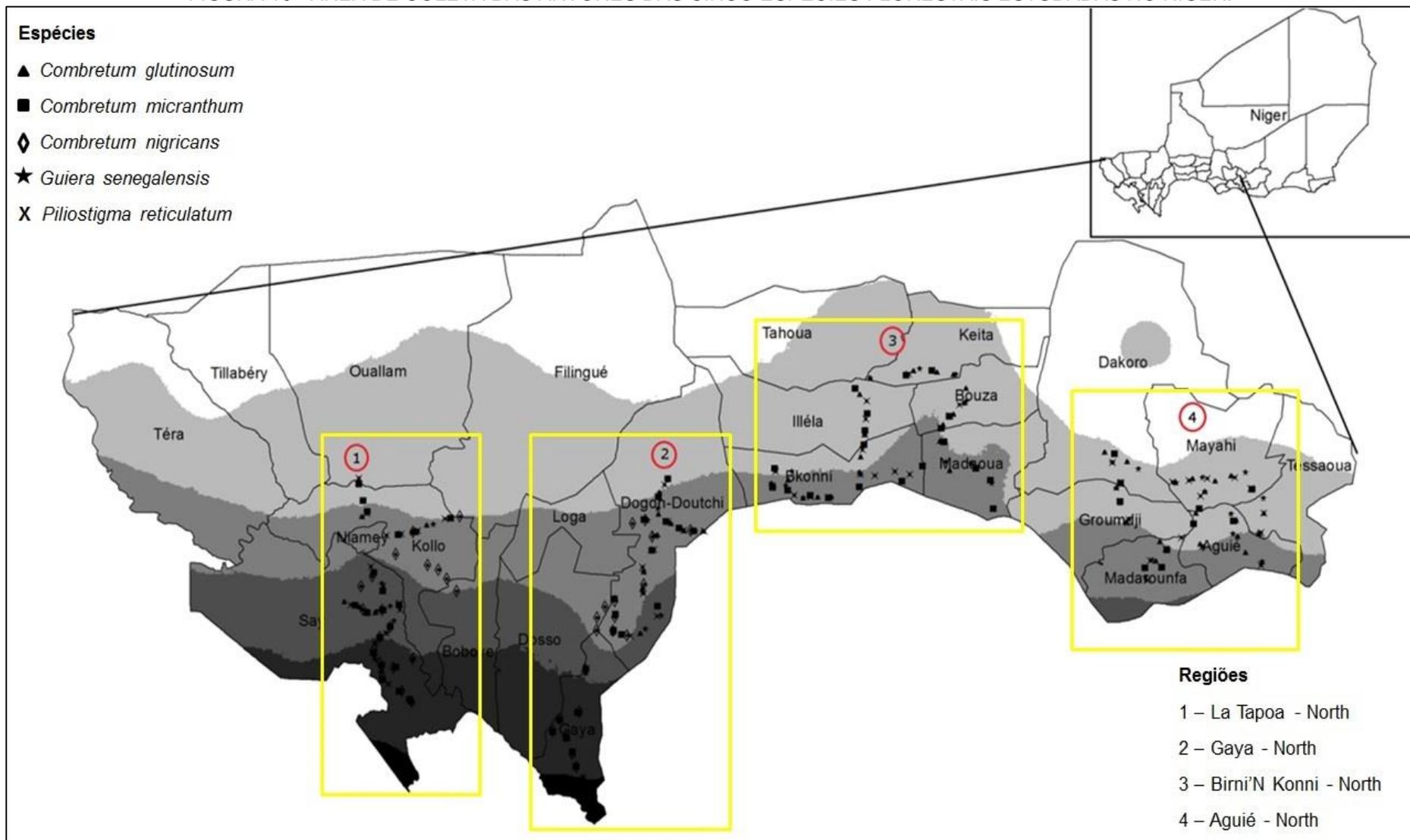
3.1.1 Regiões do Níger

O estudo foi conduzido no sul do Níger na África Ocidental onde foram delimitadas quatro regiões, estas são denominadas: 1 – La Tapoa North; 2 – Gaya North, 3 – Birni N’Konni North e 4 – Aguié North (FIGURA 10).

A região 1 - La Tapoa North está localizada no departamento de Tillabéri, sua extensão territorial é de 97.251 km² e faz fronteira com o Mali ao norte, Burkina Faso a oeste e Benin ao sul. A população de Tillabéri em 2012 era de 2.715.186 habitantes e densidade demográfica de 27,9 habitantes/km² (INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE, 2013a). As árvores foram coletadas da cidade de La Tapoa (227 m de altitude) até Ouallam (236 m de altitude) (FIGURA 10). Em La Tapoa predomina o clima de estepe local, com pouca pluviosidade ao longo do ano chegando a 198 mm no mês de agosto e com média anual de 650 mm. O clima é classificado como BSh segundo a classificação de Köppen, a temperatura média anual é de 28,7 °C, a temperatura mínima pode chegar a 16,7 °C no mês de janeiro e máxima de 40,1 °C no mês de abril. Ouallam apresenta um clima desértico, com pluviosidade anual de 368 mm, sendo os meses de julho e agosto os mais chuvosos com 101 e 133 mm respectivamente. Segundo a classificação de Köppen o clima é BWh, a temperatura média anual é de 29,4 °C, sendo a temperatura mínima observada em janeiro (16,1 °C) e temperatura máxima de 41,0 °C no mês de abril (CLIMATE-DATA.ORG, 2016).

A região 2 - Gaya North está localizada no departamento de Dosso que faz fronteira com Benin e com a Nigéria e possui área de 31.000 km², a população de Dosso em 2012 era de 2.040.699 habitantes e densidade demográfica de 65,8 habitantes/km² (INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE, 2013b). As árvores foram coletadas da cidade de Gaya (175 m de altitude) a Dogondoutchi (230 m de

FIGURA 10 - ÁREA DE COLETA DAS ÁRVORES DAS CINCO ESPÉCIES FLORESTAIS ESTUDADAS NO NIGER.



FONTE: MODIFICADA DE ICRAF (2015).

altitude) (FIGURA 10). O clima predominante é de estepe local com pouca pluviosidade ao longo do ano em ambas as cidades, a classificação de Köppen é BSh. Em Gaya a precipitação anual chega a 811 mm e em Dogondoutchi a 456 mm, o mês mais chuvoso é agosto com 232 mm (Gaya) e 156 mm (Dogondoutchi). A temperatura média anual em Gaya é de 29,0°C com mínima de 18,3°C em janeiro e máxima de 40,3°C em abril, em Dogondoutchi a temperatura média anual também é de 29,0°C, com mínima de 16,7°C em janeiro e máxima de 40,6 em abril (CLIMATE-DATA.ORG, 2016).

A região 3 – Birni N’Konni North está localizada no departamento de Tahoua e faz fronteira com Mali a oeste e com a Nigéria ao sul, possui área de 113.371 km², a população de Tahoua em 2012 era de 3.327.260 habitantes e densidade demográfica de 29,3 habitantes/km² (INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE, 2013c). As árvores foram coletadas da cidade de Birni N’Konni (270 m de altitude) a Keita (382 m de altitude) (FIGURA 10). O clima em Birni N’ Konni é predominante de estepe local com pouca pluviosidade ao longo do ano que chega a 485 mm, durante o mês de agosto a precipitação é de 163 mm, a classificação de Köppen é BSh. A temperatura média anual é de 28,7°C com mínima de 15,6°C em janeiro e máxima de 40,0°C em abril. Em Keita o clima é desértico, com precipitação anual de 397 mm e no mês mais chuvoso (agosto) é de 143 mm. A classificação de Köppen é BW h com temperatura média anual de 28,6°C, temperatura mínima de 14,8 em janeiro e 40,5°C em maio (CLIMATE-DATA.ORG, 2016).

A região 4 – Aguié North está localizada no departamento de Maradi e faz fronteira ao sul com a Nigéria, possui área de 41.796 km². A população de Maradi em 2012 era de 3.404.645 habitantes e densidade demográfica de 81,5 habitantes/km² (INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE, 2013d). As árvores foram coletadas da cidade de Aguié (424 m de altitude) a Dakoro (416 m de altitude) (FIGURA 10). Aguié apresenta clima de estepe local com pouca precipitação durante o ano que chega a 437 mm e durante o mês mais chuvoso (agosto) 170 mm, a classificação de Köppen é BSh. A temperatura média anual é de 27,1°C com mínima de 13,5°C em janeiro e máxima de 39,4°C em abril. Dakoro possui clima desértico com precipitação anual de 305 mm, no mês de agosto ocorre a maior quantidade de precipitação de 121 mm. A classificação de Köppen é BW h com temperatura média anual de 27,8°C, temperatura

mínima de 14,1°C em janeiro e 39,8°C nos meses de abril e maio (CLIMATE-DATA.ORG, 2016).

3.1.2 Espécies utilizadas e amostragem

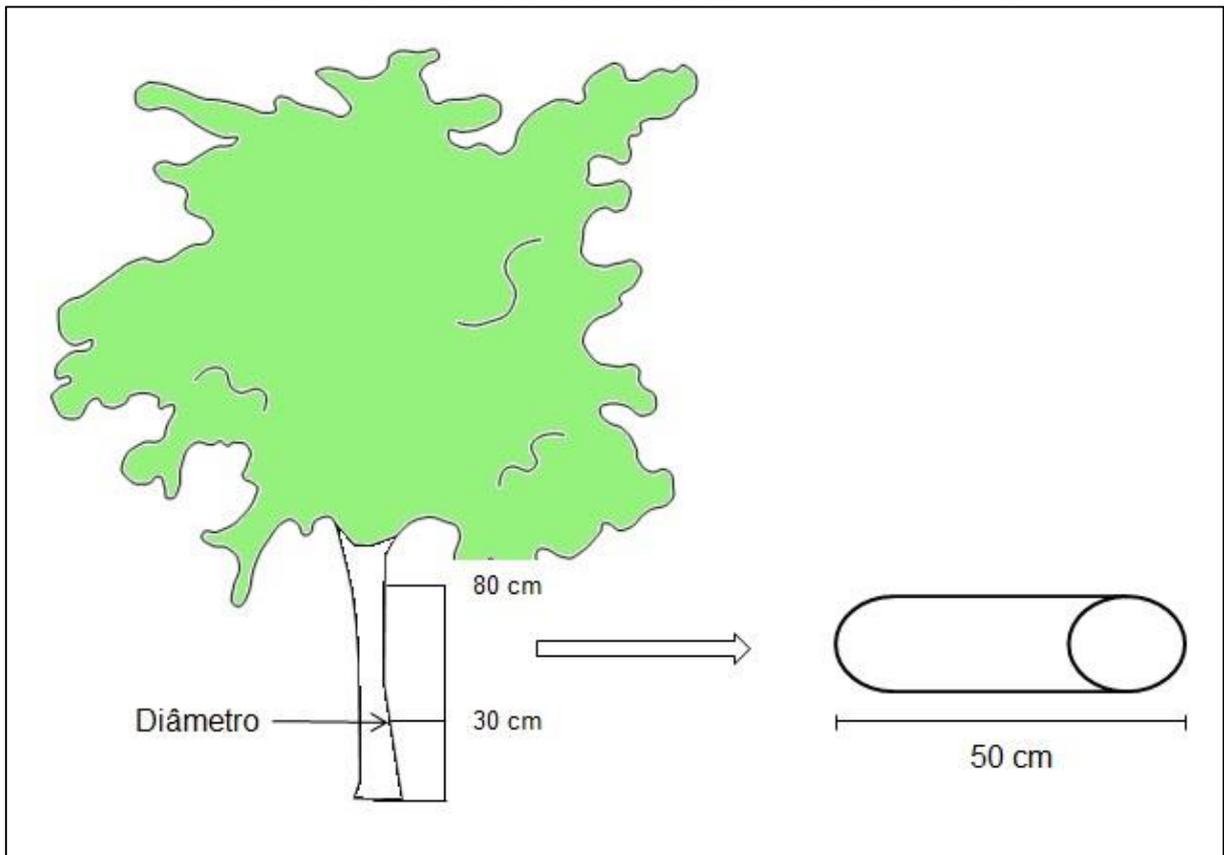
As espécies nativas foram escolhidas por serem valorizadas como combustível, como madeira para construção e para serviços ambientais na África Ocidental. As espécies utilizadas foram: *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. (Cg), *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr. (Cn), *Combretum micranthum* G.Don. (Cm), *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. (Pr) e *Guiera senegalensis* J.F.Gmel (Gs). As árvores foram coletadas no ano de 2011 ao final da estação seca, que ocorre entre os meses de novembro a maio. A amostragem de campo consistiu em coletar 20 árvores de cada espécie por região, seguindo uma linha latitudinal passando pelas quatro regiões delimitadas, para a escolha das árvores alguns critérios foram adotados:

- Distância mínima entre os indivíduos da mesma espécie de 10 km;
- Árvores de áreas de regeneração natural;
- Crescimento relativamente vertical sem ramos no tronco;
- Classe diamétrica predeterminada de 4 a 12 cm;

A classe de diâmetro utilizada foi definida de acordo com o uso da madeira, neste caso para lenha, o diâmetro foi mensurado a 30 cm de altura em relação ao solo. Uma seção do tronco de cada árvore foi cortada com 50 cm de comprimento, a partir de 30 cm de altura em relação ao solo até 80 cm de altura em relação ao solo (FIGURA 11). Outro fator importante nesta escolha foi o fato de que árvores com diâmetros maiores são relativamente raras.

A distribuição das espécies dentro dos pontos de amostragem não foi homogênea, portanto não foi possível amostrar todas as espécies dentro dos critérios de seleção. Árvores de *C. nigricans* eram raras nas regiões mais ao oriente (regiões 3 e 4), isto posto, não foi possível obter amostras suficientes para realizar as análises nestas regiões. Indivíduos de *C. micranthum* eram raros na região 4, por esta razão, foi possível amostrar apenas 10 árvores nesta região, a TABELA 2 apresenta a quantidade de árvores amostradas.

FIGURA 11 - ESQUEMA DE AMOSTRAGEM PARA CADA ÁRVORE



FONTE: O autor (2016).

TABELA 2 - QUANTIDADE DE ÁRVORES AMOSTRADAS EM CAMPO

Amostragem de campo	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Por região					
La Tapoa	20	20	20	20	20
Gaya	20	20	20	20	20
Birni'N Konni	20	20	-	20	20
Aguié	20	10	-	20	20
Total	80	70	40	80	80

3.2 ANÁLISES DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA PARA FINS ENERGÉTICOS

Amostras de tronco de algumas árvores de *C. glutinosum* e *P. reticulatum* foram severamente danificadas por besouros, não sendo possível obter amostras para realizar as análises para essas árvores. A TABELA 3 apresenta a quantidade de amostras utilizadas para a realização das análises em laboratório.

TABELA 3 - QUANTIDADE DE AMOSTRAS UTILIZADAS PARA REALIZAR AS ANÁLISES DE LABORATÓRIO

Amostragem de laboratório	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Por região					
La Tapoa	17	20	20	20	19
Gaya	18	20	20	20	20
Birni'N Konni	20	20	-	20	20
Aguié	20	10	-	20	20
Total	75	70	40	80	79

3.2.1 Densidade básica da madeira e estimativa da idade

As seções dos troncos das árvores coletadas foram encaminhadas para a unidade do ICRAF em Bamako, capital do Mali (África Ocidental), onde toda a casca foi removida, em seguida foram retirados dois discos sem nós ou outros defeitos da parte inferior (extremidade mais próxima da base) dos mesmos. Estes ficaram durante um mês secando ao ar livre até atingirem a umidade de equilíbrio com o ambiente. O primeiro disco com dois cm de espessura foi utilizado para determinar a densidade básica da madeira (Db) em Kg m^{-3} , que foi realizada pelo método de deslocamento de água, conforme a norma D2395-93 da American Society for Testing and Materials (ASTM) (1997).

O segundo disco com um cm de espessura foi utilizado para determinar o número e a largura dos anéis de crescimento, a superfície inferior dos discos foi lixada para que os anéis ficassem claramente visíveis, na superfície polida foram marcadas as quatro direções cardeais (norte, sul, leste e oeste). Uma imagem digital da superfície foi produzida com um scanner, uma grade milimétrica foi sobreposta à imagem e os anéis foram marcados ao longo das quatro direções cardeais. O número de anéis foi então contado e este procedimento usado para estimar a idade de cada árvore, que foi utilizada para eliminar sua possível influência na análise dos dados, por meio da análise de covariância.

3.2.2 Teor de umidade

O material em forma de serragem foi retirado da parte do tronco logo acima de onde os discos foram cortados. Estas amostras permaneceram armazenadas sob condições controladas (60% de umidade relativa do ar e 20°C de temperatura) durante um mês para atingir a umidade de equilíbrio com o ambiente.

As amostras de serragem de cada árvore foram pesadas, cerca de 10 gramas cada uma, e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados (espécie, região e número da árvore). Posteriormente as amostras foram transportadas para o Brasil. No Laboratório de Energia de Biomassa (LEB) da Universidade Federal do Paraná o teor de umidade do material foi determinado conforme a NBR 14929 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2003a)

Para o teor de umidade máxima do material (que não foi determinado no momento da coleta no campo, ou no laboratório em Bamako no Mali), o mesmo foi estimado pela equação (1), baseada na NBR 11491 (ABNT, 2003b).

(1)

$$Ubu_{máxima} = \left[\frac{1-Db}{(Db*0,346)+1} \right] * 100$$

Onde:

$Ubu_{máxima}$ = Umidade base úmida máxima (%);

Db = Densidade básica da madeira ($g\ cm^{-3}$).

3.2.3 Poder calorífico superior e análise química da madeira

No Laboratório de Energia de Biomassa (LEB) da Universidade Federal do Paraná foi realizada a análise para o poder calorífico superior ($Kcal\ Kg^{-1}$). O material foi seco em estufa com temperatura de 103°C +/- 3°C até peso constante. O poder calorífico superior foi determinado com o uso de bomba calorimétrica IKA WERKE C5000, de acordo com o que precede a NBR 8633 (ABNT, 1984).

A análise química imediata consiste em determinar os teores de material volátil e de carbono fixo presentes no material combustível e o teor de cinza resultantes do processo de combustão. A análise foi realizada neste mesmo

laboratório utilizando o procedimento da NBR 8112 (ABNT, 1986), feito em duplicata para cada amostra.

3.2.4 Teor de carbono total

A determinação do teor de carbono total foi realizada no Centro de Excelência em Pesquisas sobre Fixação de Carbono na Biomassa (BIOFIX) da Universidade Federal do Paraná. Cerca de um grama de serragem foi seco em estufa com temperatura aproximada de 70 C^o até peso constante, a análise foi realizada em analisador de carbono LECO® C-144 no qual o material seco sólido é levado à combustão total. Um sensor infravermelho acoplado detecta a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) gerado na combustão, que é relacionado automaticamente com a quantidade de carbono existente na amostra.

3.2.5 Densidade energética e estoque de carbono na madeira

A densidade energética da madeira (DEM) foi calculada por meio da equação (2).

$$DEM = \frac{PCS * Db}{10^6} \quad (2)$$

Onde:

DEM: Densidade energética da madeira (Gcal m⁻³);

PCS: Poder calorífico superior da madeira (Kcal kg⁻¹);

Db: Densidade básica da madeira (Kg m⁻³).

O estoque de carbono na madeira (ECM) foi obtido pela equação (3).

$$ECM = \frac{Db * CT}{100} \quad (3)$$

Onde:

ECM: Estoque de carbono na madeira (Kg m⁻³);

Db: Densidade básica da madeira (Kg m⁻³);
CT: Carbono total (%).

3.2.6 Índice de valor combustível

O índice de valor combustível da madeira (FVI – *Fuel Value Index*) foi calculado segundo a equação (4).

(4)

$$FVI = \frac{(Db * PCS)}{CZ * Ubu}$$

Onde:

FVI: Índice de valor combustível na madeira;

Db: Densidade básica da madeira (g cm⁻³);

PCS: Poder calorífico superior (Kj g⁻¹);

CZ: Teor de cinza na madeira (g/g);

Ubu: Teor de umidade - determinado conforme a NBR 14929 (ABNT, 2003a)

- na base úmida (g/g).

O FVI foi determinado para todas as árvores utilizando o teor de umidade na base úmida com os valores determinados no LEB por meio da NBR 14929 (ABNT, 2003a), estes índices calculados foram utilizados para as análises estatísticas.

Posteriormente foi determinado o FVI para todas as árvores utilizando o teor de umidade máximo na base úmida. Foi então elaborada uma matriz, por espécie, utilizando combinações entre as variáveis da Equação (4), com valores de mediana para o poder calorífico superior, valores mínimos e máximos para densidade básica da madeira, teor de cinza e teor de umidade na base úmida (considerando valores mínimos os teores de umidade determinados em laboratório e valores máximos os teores de umidade máximos estimados pela equação (1)), para obter a amplitude de variação do FVI nas condições do Níger.

Com os índices da matriz foi possível calcular o efeito de cada variável no FVI, por meio do cálculo de contraste.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

O pacote estatístico SPSS Statistics 17.0 foi utilizado para todas as análises, e o nível de significância foi $p \leq 0,05$ para todos os testes.

3.3.1 Análise de covariância

Os valores para as variáveis poder calorífico superior, carbono total, teores de material volátil, carbono fixo e cinza e densidade básica da madeira foram ajustados por diferenças de idade de cada árvore. Em uma análise preliminar de covariância (procedimento UNIVARIATE com COVARIATE), os efeitos da região, idade como covariável e a interação região*idade foram testados para cada variável de cada espécie. O efeito da interação idade*região foi significativo para as variáveis teores de material volátil e carbono fixo, apenas para a espécie *C. glutinosum*, por isso não foi necessário ajustar os dados separadamente para cada região em cada espécie. Repetiu-se a análise de covariância para cada variável de cada espécie com apenas a idade como covariável no modelo, os dados foram ajustados utilizando a equação (5).

(5)

$$Z_{i(jk)} = [Y_{i(jk)} - \beta_{i(k)}] * [X_{j(k)} - X_k]$$

Onde:

$Z_{i(jk)}$: Valor da variável_(i) ajustada da árvore_(j) da espécie_(k);

$Y_{i(jk)}$: Valor não ajustado da variável_(i) da árvore_(j) da espécie_(k);

$\beta_{i(k)}$: Efeito da idade na variável_(i) da espécie_(k);

$X_{j(k)}$: Idade da árvore_(j) na espécie_(k);

X_k : Idade média da espécie_(k).

Embora todas as variáveis tenham sido ajustadas, o efeito da idade foi significativo ($p \leq 0,05$) em apenas um caso: efeito positivo sobre o poder calorífico superior da madeira de *G. senegalensis*.

3.3.2 Análise de variância

A análise de variância (ANOVA, procedimento UNIVARIATE) foi utilizado para avaliar se as variáveis poder calorífico superior, carbono total, teor de material volátil, teor de carbono fixo, teor de cinza, densidade básica, densidade energética da madeira, estoque de carbono na madeira e índice de valor combustível diferiram significativamente entre as espécies e as regiões. Dois modelos ANOVA foram utilizados, o primeiro inclui espécie e região como fatores fixos bem como sua interação, o segundo modelo inclui apenas a espécie como fator fixo. Apresentando diferença, as médias foram comparadas estatisticamente pelo teste *Least-significance Difference* (LSD).

3.3.3 Análise de correlação de Pearson

Os coeficientes de correlação de Pearson (procedimento CORRELATE - BIVARIATE) foram utilizados para investigar as relações lineares entre as variáveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DIFERENÇAS NAS VARIÁVEIS ESTUDADAS ENTRE ESPÉCIE E REGIÃO

As TABELAS 4, 5 e 6 apresentam os valores do quadrado médio, R^2 e coeficiente de variação da análise de variância com dois fatores fixos (espécie e região), para as variáveis estudadas. Neste modelo da ANOVA as variáveis poder calorífico superior, índice de valor combustível e teor de cinza não apresentaram diferenças estatísticas para o fator região.

A densidade básica foi a única variável que não apresentou diferença estatística na interação, no entanto todas as variáveis apresentaram diferenças significativas para o fator espécie.

As variáveis teor de carbono total e estoque de carbono na madeira possuem grau de liberdade do erro menor em relação as demais variáveis, isto ocorreu porque algumas amostras foram perdidas na análise de determinação do teor de carbono total.

TABELA 4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM DOIS FATORES FIXOS PARA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Db), TEORES DE MATERIAL VOLÁTIL (MV), CARBONO FIXO (CF) E CINZA (CZ)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		Db	MV	CF	CZ
Espécie	4	0,342*	87,809*	53,952*	16,182*
Região	3	0,009*	4,549*	2,605*	0,377 ^{ns}
Espécie*Região	10	0,002 ^{ns}	4,65*	3,845*	0,389*
Erro	326	0,001	0,930	0,672	0,155
R^2		0,76	0,59	0,57	0,58
CV%		2,48	1,85	6,38	50,02

*Nível de significância $p \leq 0,05$; ^{ns} não significativo.

TABELA 5 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM DOIS FATORES FIXOS PARA PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) E ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		PCS	DEM	FVI
Espécie	4	457991,43*	6,988*	6,155E+09*
Região	3	6343,48 ^{ns}	0,195*	1,093E+08 ^{ns}
Espécie*Região	10	19035,94*	0,45*	1,120E+08*
Erro	326	8331,27	0,35	5,44E+07
R ²		0,44	0,73	0,60
CV%		2,62	11,18	60,33

*Significância a $p \leq 0,05$; ^{ns} não significativo.

TABELA 6 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM DOIS FATORES FIXOS PARA TEOR DE CARBONO TOTAL (CT) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		CT	ECM
Espécie	4	50,477*	69104,92*
Região	3	0,860*	2065,32*
Espécie*Região	10	4,413*	493,81*
Erro	323	0,314	265,611
R ²		0,72	0,78
CV%		10,97	11,77

*Significância a $p \leq 0,05$ de probabilidade; ^{ns} não significativo.

O teste de LSD foi aplicado, quando houve diferença, para verificar quais médias são diferentes entre os fatores. A densidade básica da madeira que não apresentou diferenças na interação, o teste foi aplicado separadamente para cada fator, para as demais variáveis o teste foi aplicado para a interação.

A TABELA 7 apresenta o teste de comparação de médias para a variável densidade básica da madeira. A espécie *P. reticulatum* apresentou média inferior às demais espécies para densidade básica, *C. micranthum* e *C. nigricans* apresentaram médias superiores às demais espécies. A região de Aguié apresentou média inferior diferindo das demais regiões, que não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Em estudos realizados em outros países nas ecozonas sudanesas e sahelianas, foram observados valores de densidade básica próximos aos encontrados neste trabalho. Nygard e Elfving (2000) observaram em estudo realizado em Burkina Faso valores de 686 kg m⁻³ para *C. glutinosum*, 681 kg m⁻³ para *G. senegalensis*, 641 kg m⁻³ para *P. reticulatum*, 736 kg m⁻³ para *C. micranthum* e 751 kg m⁻³ para *C.*

nigricans. Picard et al., (2006) observaram em estudo realizado no Mali médias de 694 Kg m⁻³ para *C. glutinosum*, 658 Kg m⁻³ para *G. senegalensis*, 647 Kg m⁻³ para *P. reticulatum*, 760 Kg m⁻³ para *C. micranthum* e 752 Kg m⁻³ para *C. nigricans*.

TABELA 7 - EFEITO DA ESPÉCIE E DA REGIÃO NA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Kg m⁻³)

Fator	Média	Fator	Média		
Espécie	<i>C. glutinosum</i>	0,694 ^B	La Tapoa	0,694 ^A	
	<i>C. micranthum</i>	0,759 ^A	Região	Gaya	0,692 ^A
	<i>C. nigricans</i>	0,752 ^A		Birni'N Konni	0,696 ^A
	<i>G. senegalensis</i>	0,689 ^B		Aguié	0,659 ^B
	<i>P. reticulatum</i>	0,580 ^C			
	CV(%)		CV(%)		
Espécie	<i>C. glutinosum</i>	6,01	La Tapoa	9,93	
	<i>C. micranthum</i>	5,76	Região	Gaya	11,34
	<i>C. nigricans</i>	5,53		Birni'N Konni	11,16
	<i>G. senegalensis</i>	5,92		Aguié	10,89
	<i>P. reticulatum</i>	4,42			

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Sotelo Montes et al., (2012) em estudo realizado também no Mali encontraram valores de 666 kg m⁻³ para *C. glutinosum*, 673 kg m⁻³ para *G. senegalensis* e 530 kg m⁻³ para *P. reticulatum*. Esta mesma espécie apresentou médias superiores no estudo de Nygard e Elfving (2000) e Picard et al., (2006) à encontrada neste trabalho.

As espécies pertencentes à mesma família botânica apresentaram as maiores médias para densidade básica da madeira, esta pode ser uma característica relacionada à família Combretaceae – especialmente para o gênero *Combretum* -, já que este mesmo padrão pode ser observado também nos resultados encontrados em outros estudos, Chave et al., (2006) encontraram relações fitogenéticas com valores de densidade básica da madeira entre indivíduos de mesma família para espécies da América Central e do Sul.

A TABELA 8 apresenta as médias para teor de material volátil, onde pode ser observado que a espécie *P. reticulatum* apresentou valores inferiores às demais espécies, a região não apresentou influência no teor de material volátil para esta mesma espécie. Na região de Aguié apenas a *P. reticulatum* apresentou diferenças entre as espécies e a interação *C. nigricans* x Gaya apresentou média superior às demais.

TABELA 8 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE MATERIAL VOLÁTIL (%)

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	80,70 ^{AB a}	80,98 ^{A a}	80,65 ^{B a}	79,67 ^{B b}	78,08 ^{A c}
Gaya	81,04 ^{A a}	80,16 ^{B b}	81,57 ^{A a}	79,81 ^{AB b}	78,05 ^{A c}
Birni'N Konni	80,22 ^{BC a}	79,38 ^{C b}	-	80,04 ^{AB a}	78,01 ^{A c}
Aguié	79,76 ^{C a}	79,88 ^{BC a}	-	80,27 ^{A a}	77,59 ^{Ab}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	1,18	0,93	0,85	1,29	1,66
Gaya	1,20	1,04	1,54	0,96	1,15
Birni'N Konni	1,24	1,37	-	0,94	1,65
Aguié	1,21	0,73	-	1,12	1,07

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Segundo Nogueira e Lora (2003) o teor de material volátil desempenha papel importante no início da combustão e durante a ignição da biomassa, pois é a fração em massa de combustível que volatiliza durante o aquecimento, e representa cerca de $\frac{3}{4}$ do peso da biomassa, como pode ser observado na TABELA 8.

Em estudo realizado no Mali Sotelo Montes et al., (2012) encontraram valores de 79,95% para *C. glutinosum*, 79,90% para *G. senegalensis* e 78,45% para *P. reticulatum*, esta espécie apresentou média inferior às demais, assim como demonstrado nesse trabalho.

Na TABELA 9 pode ser observado o teste de comparação de médias para teor de carbono fixo, o efeito da região não foi significativo para a espécie *P. reticulatum* que possui média superior às outras espécies, *C. glutinosum* e *C. nigricans* possuem valores inferiores às demais.

TABELA 9 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE CARBONO FIXO (%)

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	17,96 ^{Cc}	18,06 ^{Cc}	17,88 ^{Ac}	19,73 ^{Ab}	20,29 ^{Aa}
Gaya	18,05 ^{BCc}	18,71 ^{Bb}	17,28 ^{Bd}	19,64 ^{ABa}	20,14 ^{Aa}
Birni'N Konni	18,53 ^{ABc}	19,52 ^{Ab}	-	19,34 ^{ABb}	20,08 ^{Aa}
Aguié	19,04 ^{Ab}	19,15 ^{ABb}	-	19,14 ^{Bb}	20,39 ^{Aa}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	4,01	3,69	3,11	4,92	4,30
Gaya	4,94	3,61	5,10	3,79	3,69
Birni'N Konni	4,48	5,38	-	2,59	5,75
Aguié	4,71	3,34	-	4,59	3,34

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

A biomassa é composta em sua maior parte de carbono e hidrogênio, variando muito pouco entre um tipo de lenha e outro (NOGUEIRA; LORA, 2003). A espécie *P. reticulatum* que apresentou média superior para carbono fixo, também apresentou média inferior para teor de material volátil, enfatizando que uma variável é inversamente proporcional à outra, Sotelo Montes et al., (2012) também encontraram valores superiores para esta espécie (19,63%).

A TABELA 10 apresenta as médias para teor de cinza, pode-se observar que o efeito da região não teve influência para as espécies *C. micranthum* e *G. senegalensis*, esta espécie apresentou médias inferiores e *P. reticulatum* valores superiores às demais espécies. A *C. glutinosum* mostrou-se diferente apenas na região de Gaya.

Os coeficientes de variação para o teor de cinza foram altos, isto sugere que esta variável é mais afetada do que as outras propriedades estudadas pela espécie e pela região. Dentre as variáveis analisadas o teor de cinza apresenta o menor valor percentual, sendo mais comum encontrar coeficientes de variação maiores, uma possível solução para minimizar este efeito é o uso de balança analítica com maior precisão.

TABELA 10 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE CINZA RESULTANTE DA COMBUSTÃO DA MADEIRA (%)

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	1,34 ^{Ab}	0,96 ^{Ac}	1,47 ^{Ab}	0,60 ^{Ad}	1,63 ^{ba}
Gaya	0,91 ^{Bb}	1,13 ^{Ab}	1,15 ^{Bb}	0,55 ^{Ac}	1,80 ^{ABa}
Birnin Konni	1,25 ^{Ab}	1,10 ^{Ab}	-	0,63 ^{Ac}	1,91 ^{Aa}
Aguié	1,20 ^{Ab}	0,97 ^{Ab}	-	0,59 ^{Ac}	2,02 ^{Aa}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	35,61	36,75	31,92	32,77	41,04
Gaya	27,09	27,77	46,12	29,23	22,03
Birnin Konni	30,83	27,56	-	74,73	25,42
Aguié	25,34	31,76	-	28,07	21,78

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Os valores para teor de cinza podem estar entre 0,2 e 0,5% para madeiras de zonas temperadas, porém para madeiras tropicais este valor pode ser muito maior, sendo os principais componentes o potássio, o cálcio e o magnésio (FENGEL e WEGENER, 1989). É esperado teores mais elevados destes nutrientes em tecidos de plantas que crescem em solos com maiores disponibilidades de cálcio, potássio e magnésio (SOTELO MONTES et al., 2012).

Segundo Wezel, Rajot e Herbrig (2000), a disponibilidade de cálcio, potássio e magnésio são afetados por diversos fatores: tipo de rocha, tipo de solo, teor de matéria orgânica e pH do solo, a intensidade das chuvas e lixiviação, histórico de uso da terra (número de anos de cultivo e pousio; espécies cultivadas) e práticas de melhoria do solo por agricultores (corte e queima de arbustos, aplicação de adubo antes do semeio das culturas). O micro habitat específico criado pelas árvores e a quantidade de poeira rica em potássio e cálcio, transportada do deserto do Saara pelos ventos *Harmattan*, é depositada sobre o solo e as folhas das árvores durante a estação seca, contribuindo para a maior ou menor disponibilidade dos nutrientes.

As espécies *C. glutinosum* e *C. nigricans* apresentaram menores valores no teor de cinza na região de Gaya, isto sugere que esta região possui áreas com solos menos férteis que as demais regiões. Sotelo Montes et al., (2012) encontraram valores

de 1,22% para *C. glutinosum*, 0,64% para *G. senegalensis* e 1,93% para *P. reticulatum*, valores próximo ao encontrado neste trabalho.

A TABELA 11 apresenta as médias do teor de carbono total na madeira, apenas a espécie *C. glutinosum* não apresentou influência da região na variável. Os valores superiores foram observados para *G. senegalensis* e *C. micranthum*, e os valores inferiores para *C. nigricans*. A interação *C. nigricans* x Gaya apresentou média inferior às demais para esta variável. Os valores médios observados para as cinco espécies neste estudo estão dentro da faixa de valores descritos para outras espécies nas zonas tropicais (THOMAS; MARTIN, 2012).

TABELA 11 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO TEOR DE CARBONO TOTAL (%)

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	41,11 ^{A c}	41,54 ^{C b}	41,15 ^{A c}	42,24 ^{B a}	41,03 ^{a c}
Gaya	40,99 ^{A b}	42,85 ^{A a}	39,80 ^{B d}	42,80 ^{A a}	40,63 ^{b c}
Birni'N Konni	41,07 ^{A b}	42,74 ^{A a}	-	42,70 ^{A a}	40,95 ^{AB b}
Aguié	41,26 ^{A b}	42,26 ^{B a}	-	42,26 ^{B a}	40,89 ^{AB c}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	1,39	0,66	3,12	1,09	1,33
Gaya	1,19	0,83	1,98	1,15	0,9
Birni'N Konni	1,12	0,96	-	1,39	1,23
Aguié	0,87	0,51	-	1,29	0,73

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

A TABELA 12 apresenta o teste de comparação de médias para a variável poder calorífico superior, para as espécies *G. senegalensis* e *C. micranthum* o fator região não apresentou diferenças estatísticas. A interação *C. nigricans* x La Tapoa apresentou o média inferior às demais para esta variável, na região Birni N'Konni a espécie *G. senegalensis* foi a única que apresentou média diferente das demais. Esta mesma espécie foi a que apresentou média superior nas quatro regiões e entre as cinco espécies.

TABELA 12 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO PODER CALORÍFICO SUPERIOR (Kcal kg⁻¹)

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	4475 ^{AB b}	4524 ^{a b}	4384 ^{B c}	4651 ^{A a}	4523 ^{AB b}
Gaya	4533 ^{a b}	4527 ^{A bc}	4476 ^{A bc}	4644 ^{A a}	4473 ^{B c}
Birni'N Konni	4492 ^{AB b}	4501 ^{A b}	-	4666 ^{A a}	4534 ^{A b}
Aguié	4454 ^{B c}	4529 ^{A b}	-	4674 ^{A a}	4511 ^{AB b}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	2,00	3,35	2,07	1,24	1,56
Gaya	2,47	1,81	2,91	1,79	1,45
Birni'N Konni	1,75	2,69	-	1,35	1,88
Aguié	2,21	0,78	-	1,47	1,37

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Os fatores que influenciam o poder calorífico superior são a composição química, o tipo de biomassa, o teor de umidade e o teor de cinza. Considerando que o tipo de biomassa é o mesmo (lenha), o teor de umidade é zero podemos considerar a composição química e o teor de cinza como influenciadores no poder calorífico superior.

A espécie *G. senegalensis* apresentou valores superiores às demais espécies para poder calorífico superior e teor de carbono total, bem como valores inferiores às demais espécies para teor de cinza. A espécie *P. reticulatum* apresentou valores superiores para teor de cinza e para de carbono fixo, apresentando poder calorífico superior inferior ao da *G. senegalensis* e superior ao da *C. nigricans*, que apresentou média inferior para esta variável. Esta espécie possui médias inferiores para teor de carbono total e teor de carbono fixo e alto teor de cinza.

Sotelo Montes et al., (2012), encontraram valores para poder calorífico superior de 4557 Kcal kg⁻¹ para *C. glutinosum*, 4760 Kcal kg⁻¹ para *G. senegalensis* e 4545 Kcal kg⁻¹ para *P. reticulatum*.

A TABELA 13 apresenta o teste de médias para densidade energética da madeira. Os resultados encontrados para esta variável são similares aos observados para a densidade básica, ou seja, a espécie *C. micranthum* apresentou médias superiores e a espécie *P. reticulatum* apresentou médias inferiores às demais

espécies. A densidade básica teve maior influência no cálculo da densidade energética da madeira, devido a esta propriedade possuir maior variação do que o poder calorífico superior, isto é observado nos valores dos coeficientes de variação de ambas as propriedades (Db e PCS). O fator região não teve influência nesta variável para as espécies *C. glutinosum* e *P. reticulatum*.

TABELA 13 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NA DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (Kcal m⁻³)

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	3,112 ^{aC}	3,386 ^{bA}	3,249 ^{bB}	3,240 ^{aB}	2,632 ^{aD}
Gaya	3,094 ^{aB}	3,402 ^{abA}	3,413 ^{aA}	3,193 ^{abB}	2,573 ^{aC}
Birni'N Konni	3,177 ^{aC}	3,508 ^{aA}	-	3,305 ^{aB}	2,672 ^{aD}
Aguié	3,085 ^{aB}	3,402 ^{abA}	-	3,110 ^{bB}	2,593 ^{aC}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	6,14	5,57	5,17	5,05	4,26
Gaya	8,09	7,30	4,86	5,97	4,70
Birni'N Konni	6,41	5,53	-	4,92	5,90
Aguié	6,91	4,56	-	8,30	4,53

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Na TABELA 14 pode ser observado o teste de comparação de médias para a variável estoque de carbono na madeira. As espécies *C. micranthum* e *C. nigricans* apresentaram médias superiores e *P. reticulatum* apresentou média inferior às demais espécies, estas apresentaram as maiores e a menor média para densidade básica, respectivamente.

No cálculo do estoque de carbono na madeira pode-se observar o mesmo comportamento da variável densidade energética da madeira, onde a densidade básica possui maior influência no cálculo do que o teor de carbono total, que pode ser comprovado por meio dos coeficientes de variação de ambas as variáveis (Db e CT).

O fator região não teve influência na variável para as espécies *P. reticulatum* e *C. nigricans*. A média de estoque de carbono na madeira foi diferente para a espécie *G. senegalensis* apenas na região Aguié.

TABELA 14 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (Kg m⁻³)

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	286 ^{AB b}	311 ^{Ca}	305 ^{Aa}	294 ^{Ab}	239 ^{Ac}
Gaya	280 ^{Bc}	322 ^{Ba}	303 ^{Ab}	293 ^{Ab}	234 ^{Ad}
Birni'N Konni	290 ^{Ac}	333 ^{Aa}	-	302 ^{Ab}	241 ^{Ad}
Aguié	286 ^{AB b}	318 ^{BC a}	-	281 ^{Bb}	235 ^{Ac}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	5,81	5,26	6,24	5,11	3,97
Gaya	6,96	6,63	4,97	5,82	4,38
Birni'N Konni	5,91	4,85	-	4,96	4,89
Aguié	6,30	5,07	-	7,82	4,15

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

A diferença entre as médias para o índice de valor combustível pode ser observada na TABELA 15. A espécie *G. senegalensis* apresentou médias superiores às demais espécies, em contrapartida a espécie *P. reticulatum* apresentou médias inferiores às demais. Tendo em vista que os teores de umidade médios foram de 8,05% e 7,80% (APÊNDICE A), respectivamente para as espécies supracitadas, a maior influência no cálculo do índice de valor combustível foi do teor de cinza para todas as espécies.

O fator região não teve efeito no índice para as espécies *C. glutinosum* e *P. reticulatum*. A maior média calculada foi para a interação *G. senegalensis* x Birni N'Konni, a região que apresentou a maior média para densidade básica e a espécie que apresentou as menores médias para teor de cinza. A menor média foi observada para a interação *P. reticulatum* x Aguié, sendo a espécie e a região que apresentaram as menores médias para a variável densidade básica e a espécie que possui os maiores valores médios para teor de cinza.

O coeficiente de variação alto para o índice de valor combustível reflete o fato de que ele foi derivado de quatro variáveis (densidade básica, poder calorífico superior, umidade na base úmida e teor de cinza), sugerindo a variação combinada entre essas variáveis. Sotelo Montes et al., (2012) encontraram valores do índice de valor combustível seguindo a mesma tendência dos valores encontrados neste

trabalho, *G. senegalensis* (2081) e *P. reticulatum* (477), porém os autores utilizaram o poder calorífico inferior para o cálculo, além das outras variáveis em unidades diferentes das utilizadas neste trabalho.

TABELA 15 - EFEITO DA ESPÉCIE E REGIÃO NO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL

Região	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Média					
La Tapoa	13453 ^{A c}	24563 ^{a b}	13453 ^{B c}	32379 ^{AB a}	10811 ^{A c}
Gaya	17665 ^{A b}	20270 ^{AB b}	18852 ^{A b}	32488 ^{AB a}	8487 ^{A c}
Birni'N Konni	14134 ^{A b}	18223 ^{b b}	-	35074 ^{A a}	7824 ^{A c}
Aguié	13250 ^{A c}	20834 ^{AB b}	-	28613 ^{B a}	7114 ^{A d}
Coefficiente de variação (%)					
La Tapoa	47,43	36,55	29,12	31,64	46,97
Gaya	30,7	33,77	43,37	32,34	21,76
Birni'N Konni	28,90	32,5	-	50,07	34,65
Aguié	24,54	27,67	-	34,91	21,68

Letras minúsculas iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de significância.

Algumas espécies não apresentaram influência da região para as variáveis estudadas. Devido a isto, foi realizada a ANOVA com um fator fixo (espécie). As TABELAS 16, 17 e 18 apresentam os valores do quadrado médio, R^2 e coeficiente de variação da análise de variância, neste modelo da ANOVA todas as variáveis apresentaram diferenças significativas para o fator espécie.

TABELA 16 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM UM FATOR FIXO PARA DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Db), TEORES DE MATERIAL VOLÁTIL (Mv), CARBONO FIXO (CF) E CINZA (CZ)

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio			
		Db	Mv	CF	CZ
Espécie	4	1,436*	380,70*	242,16*	64,44*
Erro	339	0,511	363,140	264,69	55,66
R^2		0,74	0,51	0,48	0,54
CV%		2,48	1,85	6,38	50,02

*Significância a $p \leq 0,05$ de probabilidade; ^{ns} não significativo.

TABELA 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM UM FATOR FIXO PARA PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) E ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio		
		PCS	DEM	FVI
Espécie	4	1895973,13*	29,02*	2,451E+10*
Erro	339	2925257,23	12,38	1,92E+10
R ²		0,39	0,70	0,56
CV%		2,62	11,18	60,33

*Significância a $p \leq 0,05$ de probabilidade; ^{ns} não significativo.

TABELA 18 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA COM UM FATOR FIXO PARA TEOR DE CARBONO TOTAL (CT) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM).

Fonte de variação	GL	Quadrado Médio	
		CT	ECM
Espécie	4	213,58*	287893,78*
Erro	336	148,09	97086,72
R ²		0,59	0,75
CV%		10,97	11,77

*Significância a $p \leq 0,05$ de probabilidade; ^{ns} não significativo.

O teste LSD foi aplicado para verificar quais médias são diferentes entre as espécies e podem ser observadas na TABELA 19. A espécie que mostrou mais diferenças entre as cinco estudadas foi a *P. reticulatum*, esta espécie é diferente das demais para as seguintes variáveis: densidade básica, material volátil, carbono fixo, teor de cinza, carbono total, densidade energética da madeira, estoque de carbono na madeira e índice de valor combustível, apresentando igualdade para poder calorífico superior com a *C. glutinosum* e a *C. micranthum*.

A espécie *P. reticulatum* apresentou médias superiores às demais para carbono fixo e teor de cinza e médias inferiores para densidade básica, material volátil, densidade energética da madeira, índice de valor combustível, e estoque de carbono na madeira. A *G. senegalensis* apresentou médias superiores às demais para poder calorífico superior, índice de valor combustível, e carbono total, esta última variável em igualdade com a *C. micranthum*, e médias inferiores para teor de cinza.

A espécie *C. micranthum* apresentou médias inferiores às demais espécies para densidade básica da madeira (em igualdade com a *C. nigricans*), densidade energética da madeira, carbono total e estoque de carbono na madeira. As médias

superiores para material volátil foram da *C. nigricans*, que apresentou médias inferiores para carbono fixo, poder calorífico superior e carbono total.

TABELA 19 - EFEITO DA ESPÉCIE NAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), MATERIAL VOLÁTIL (MV), CARBONO FIXO (CF), TEOR DE CINZA (CZ), CARBONO TOTAL (CT), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM), ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) E ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI)

Variável	Espécie				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
	Média				
Db (kg m ⁻³)	694 B	759 A	752 A	689 B	580 C
MV (%)	80,40 B	80,13 BC	81,11 A	79,94 C	77,93 D
CF (%)	18,42 D	18,82 C	17,58 E	19,46 B	20,22 A
CZ (%)	1,17 BC	1,05 C	1,31 B	0,59 D	1,84 A
CT (%)	41,11 B	42,36 A	40,48 D	42,50 A	40,87 C
PCS (Kcal kg ⁻¹)	4488 C	4519 B	4430 D	4659 A	4510 BC
DEM (Gcal m ⁻³)	3,117 D	3,428 A	3,331 B	3,212 C	2,617 E
ECM (Kg m ⁻³)	286 D	321 A	304 B	293 C	237 E
FVI	14592 C	20992 B	16153 C	32138 A	8530 D
	Coeficiente de variação (%)				
Db (kg m ⁻³)	6,01	5,76	5,53	5,93	4,42
MV (%)	1,33	1,31	1,36	1,10	1,40
CF (%)	5,05	5,13	4,49	4,18	4,32
CZ (%)	33,03	30,84	39,75	46,56	28,04
CT (%)	1,15	1,52	3,10	1,35	1,12
PCS (Kcal kg ⁻¹)	2,18	2,47	2,71	1,47	1,63
DEM (Gcal m ⁻³)	6,85	6,04	5,53	6,43	5,02
ECM (Kg m ⁻³)	6,27	6,04	5,58	6,42	4,47
FVI	34,80	35,42	42,81	36,44	39,02

* Letras iguais nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste LSD a $p \leq 0,05$ de probabilidade.

Em trabalho realizado na região nordeste do Brasil com espécies da caatinga Santos et al., (2013), encontraram valores para material volátil de 84%, 79,6% e 83% respectivamente para *Caesalpinia pyramidalis* Tul. var. *pyramidalis* e *Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud. da subfamília Caesalpinioideae e *Combretum leprosum* Mart. da família Combretaceae, valores maiores do que os encontrado neste trabalho para as espécies pertencentes às mesmas famílias. Para teor de carbono fixo e cinza os autores encontraram valores de aproximadamente 14% e 1,64% para *C.*

pyramidalis 18,7% e 1,68% para *B. cheilantha* e 15% e 1,10% para *C. leprosum*, valores inferiores aos encontrados neste trabalho para carbono fixo. As espécies da subfamília Cesalpinioideae apresentou valores altos para teor de cinza, assim como para *P. reticulatum*.

Quando se utiliza a madeira como fonte de energia por meio da combustão direta a análise química imediata é importante, altos teores de material volátil incidem na maior velocidade de queima do material na fase gasosa. Os teores de carbono fixo representam a queima do material na fase sólida, quanto maior o percentual de carbono fixo, mais lenta se dá a queima, os teores de cinza resultantes da combustão representam o material mineral, ou seja, que não é queimado. Isto posto, quanto menor o teor de cinza de um material, maior será a energia desprendida do mesmo.

Santos et al., (2013) encontraram valores para o poder calorífico superior de 4442 Kcal kg⁻¹ para *C. pyramidalis*, 4600 Kcal kg⁻¹ (aproximadamente) para *B. cheilantha* e para *C. leprosum*, valores diferentes dos encontrados neste trabalho. Esta variável é influenciada por vários fatores, como a composição química imediata principalmente pelos teores de carbono fixo e cinza.

Observando os resultados da TABELA 19 é possível afirmar que a espécie *Guiera senegalensis* apresenta as melhores características para uso energético, dentre as cinco espécies estudadas para o Níger. A espécie possui alto poder calorífico superior e baixo teor de cinza, o que é desejável para esta finalidade, e apresenta o melhor índice de valor combustível.

4.2 CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS VARIÁVEIS ESTUDADAS

Foi realizada uma análise preliminar de correlação de Pearson entre as variáveis das cinco espécies TABELA 20, de acordo com os resultados obtidos optou-se por realizar uma nova análise de correlação de Pearson por espécie estudada. Conforme Dancey e Reidy (2006), a intensidade do relacionamento dos coeficientes de correlação positivos e negativos são classificados da seguinte forma: 0 sem correlação; 0,10 a 0,30 (fraco); 0,40 a 0,60 (moderado); 0,70 a 0,90 (forte); 1 correlação perfeita.

TABELA 20 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), MATERIAL VOLÁTIL, CARBONO FIXO (CF), TEOR DE CINZA, CARBONO TOTAL (CT), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM), ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) E ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI)

	Db	MV	CF	CZ	CT	PCS	DEM	ECM	FVI
Db	1								
MV	0,57**	1							
CF	-0,48**	-0,92**	1						
CZ	ns	-0,60**	0,24**	1					
CT	0,27**	ns	0,21**	-0,48)**	1				
PCS	ns	ns	0,26**	-0,44**	0,44**	1			
DEM	0,97**	0,55**	-0,41**	-0,53**	0,37**	0,22**	1		
ECM	0,98**	0,52**	-0,40**	-0,49**	0,47**	ns	0,97**	1	
FVI	0,40**	0,45**	-0,14**	-0,82**	0,52**	0,51**	0,51**	0,47**	1

*A correlação é significativa ao nível de $p \leq 0,05$.

**A correlação é significativa ao nível de $p \leq 0,01$.

A TABELA 21 apresenta os coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis para as cinco espécies. Com base nesta classificação de intensidade e interpretando os dados gerais das TABELAS 20 e 21, observa-se que para a maioria das variáveis estudadas não ocorreram correlações lineares de forte intensidade. Estas correlações foram observadas quando se considera a densidade básica em relação a densidade energética e o estoque de carbono e também a densidade energética em relação ao estoque de carbono, e o teor de material volátil em relação ao teor de carbono fixo; isto quando se analisa o conjunto das espécies.

As cinco espécies apresentaram forte correlação positiva entre as variáveis densidade básica e densidade energética da madeira (FIGURA 12a; 12b; 12c; 12d; 12e). A densidade energética é a quantidade de energia contida por unidade de volume, tendo a densidade básica participação direta no cálculo para determinação desta variável. Lima, Silva e Lavoranti, (2010) em trabalho realizado com *Eucalyptus Benthamii* também encontraram correlação positiva para estas variáveis (0,56), porém as correlações encontradas para as espécies estudadas neste trabalho foram superiores, possivelmente devido ao maior valor para densidade básica das espécies do Niger. A espécie *C. nigricans* não apresentou correlação entre poder calorífico superior e densidade energética da madeira, provavelmente por possuir menor média de poder calorífico superior, porém para as outras quatro espécies as correlações foram de intensidade moderada.

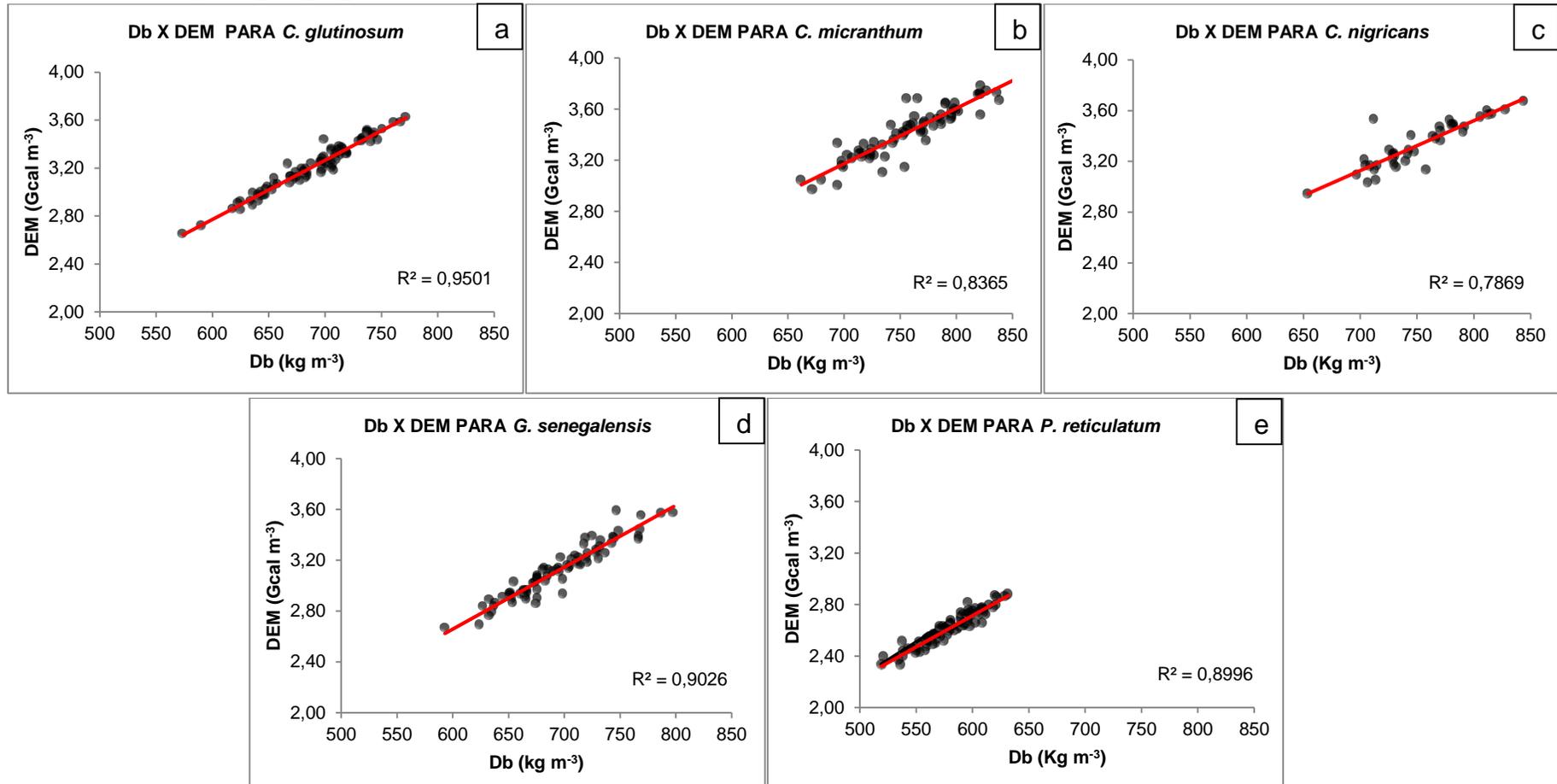
TABELA 21 - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), MATERIAL VOLÁTIL, CARBONO FIXO (CF), TEOR DE CINZA, CARBONO TOTAL (CT), PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS), DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM), ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) E ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) PARA AS CINCO ESPÉCIES AMOSTRADAS NO NÍGER

Espécie	Variável	Db	MV	CF	CZ	CT	PCS	DEM	ECM	FVI
<i>Combretum glutinosum</i>	Db	1								
	MV	ns	1							
	CF	ns	-0,93**	1						
	CZ	ns	-0,52**	ns	1					
	CT	ns	ns	0,25*	-0,34**	1				
	PCS	0,23*	ns	ns	ns	0,37**	1			
	DEM	0,95**	ns	ns	ns	0,25*	0,52**	1		
	ECM	0,98**	ns	ns	ns	0,33**	0,29*	0,95**	1	
	FVI	0,34**	0,55**	-0,27*	-0,86**	0,34**	0,30**	0,39**	0,38**	1
	<i>Combretum micranthum</i>	Db	1							
MV		ns	1							
CF		ns	-0,95**	1						
CZ		ns	-0,40**	ns	1					
CT		ns	ns	ns	ns	1				
PCS		ns	ns	ns	ns	ns	1			
DEM		0,92**	ns	ns	ns	ns	0,31**	1		
ECM		0,97**	ns	ns	ns	0,29*	ns	0,89**	1	
FVI		ns	0,52**	-0,27*	-0,90**	ns	ns	ns	ns	1
<i>Combretum nigricans</i>		Db	1							
	MV	ns	1							
	CF	ns	-0,90**	1						
	CZ	ns	-0,76**	0,41**	1					
	CT	ns	ns	ns	ns	1				
	PCS	ns	ns	ns	-0,38*	ns	1			
	DEM	0,89**	0,38*	-0,36*	ns	-0,32*	ns	1		
	ECM	0,84**	ns	ns	ns	ns	ns	0,70**	1	
	FVI	ns	0,76**	-0,50**	-0,86**	ns	0,45**	ns	ns	1
	<i>Guiera senegalensis</i>	Db	1							
MV		ns	1							
CF		ns	-0,95**	1						
CZ		ns	-0,39**	ns	1					
CT		0,28*	ns	ns	-0,39**	1				
PCS		0,24*	ns	0,23*	ns	0,31**	1			
DEM		0,98**	ns	ns	ns	0,33**	0,45**	1		
ECM		0,98**	ns	ns	ns	0,47**	0,28*	0,97**	1	
FVI		0,40**	0,31**	ns	-0,70**	0,34**	0,26*	0,43**	0,42**	1
<i>Piliostigma reticulatum</i>		Db	1							
	MV	ns	1							
	CF	ns	-0,89**	1						
	CZ	ns	-,62**	ns	1					
	CT	ns	ns	0,28*	ns	1				
	PCS	ns	ns	0,26*	-0,31**	0,38**	1			
	DEM	0,95**	ns	ns	-0,26*	ns	0,51**	1		
	ECM	0,97**	ns	ns	ns	ns	0,26*	0,95**	1	
	FVI	0,34**	0,62**	-0,26*	-0,88**	ns	ns	0,37**	0,34**	1

*A correlação é significativa ao nível de $p \leq 0,05$.

**A correlação é significativa ao nível de $p \leq 0,01$.

FIGURA 12 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db) E DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) PARA AS CINCO ESPÉCIES



A densidade básica apresentou alta correlação positiva com estoque de carbono na madeira para as cinco espécies estudadas (FIGURA 13a; 13b; 13c; 13d; 13e). A correlação entre carbono total e estoque de carbono na madeira foi significativa apenas para as espécies *C. glutinosum*, *G. senegalensis* e *C. micranthum* (TABELA 21 E APÊNDICE B), foi possível observar que a densidade básica tem maior influência na determinação desta variável do que o teor de carbono, porque este é o percentual em relação ao peso seco do material. Ao correlacionar as variáveis sem distinguir espécie, foi observado o mesmo comportamento para densidade básica e densidade energética da madeira; densidade básica e estoque de carbono na madeira (TABELA 20).

A densidade energética da madeira apresentou forte correlação positiva com o estoque de carbono na madeira nas cinco espécies do Níger (FIGURA 14a; 14b; 14c; 14d; 14e), possivelmente por ambas as variáveis derivarem da densidade básica da madeira e possuírem forte correlação positiva com esta propriedade. Na TABELA 20, é possível observar esta mesma tendência para estas variáveis sem separar por espécie.

As variáveis material volátil e carbono fixo apresentaram forte correlação negativa em todas as espécies (FIGURA 15a; 15b; 15c; 15d; 15e) e seguiu o mesmo padrão na correlação sem distinguir as mesmas (TABELA 20). Este comportamento pode ser explicado devido ao fato das variáveis serem dependentes e inversamente proporcionais, Santos (2010) estudando clones de híbridos do gênero *Eucalyptus* também encontrou fortes correlações negativas entre material volátil e carbono fixo para os quatro clones avaliados.

O índice de valor combustível apresentou correlação positiva com o teor de material volátil em todas as espécies (APÊNDICE B), e apresentou correlação negativa com teor de cinza (FIGURA 16a; 16b; 16c; 16d; 16e).

FIGURA 13 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) PARA AS CINCO ESPÉCIES

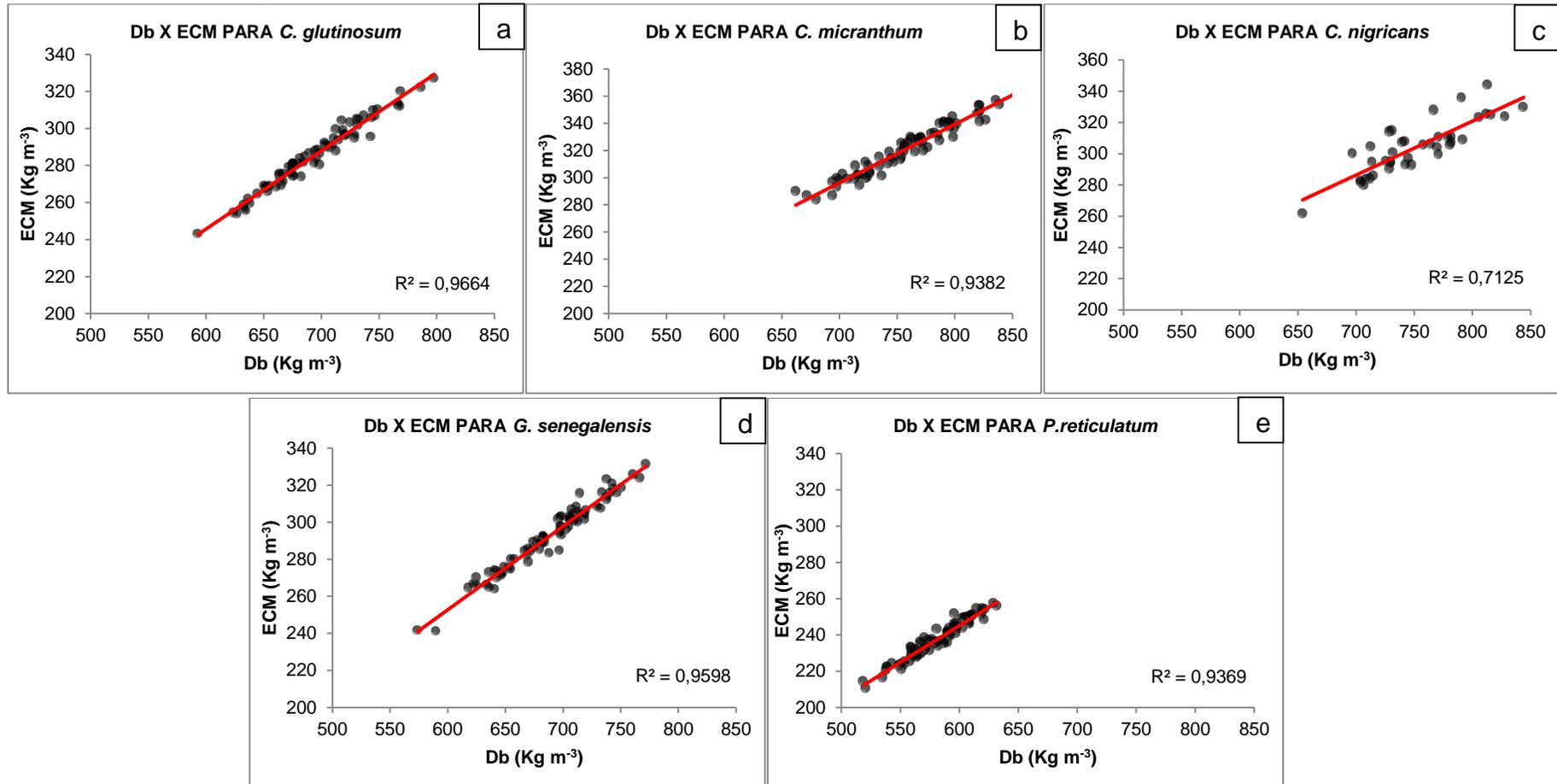


FIGURA 14 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA (DEM) E ESTOQUE DE CARBONO NA MADEIRA (ECM) PARA AS CINCO ESPÉCIES

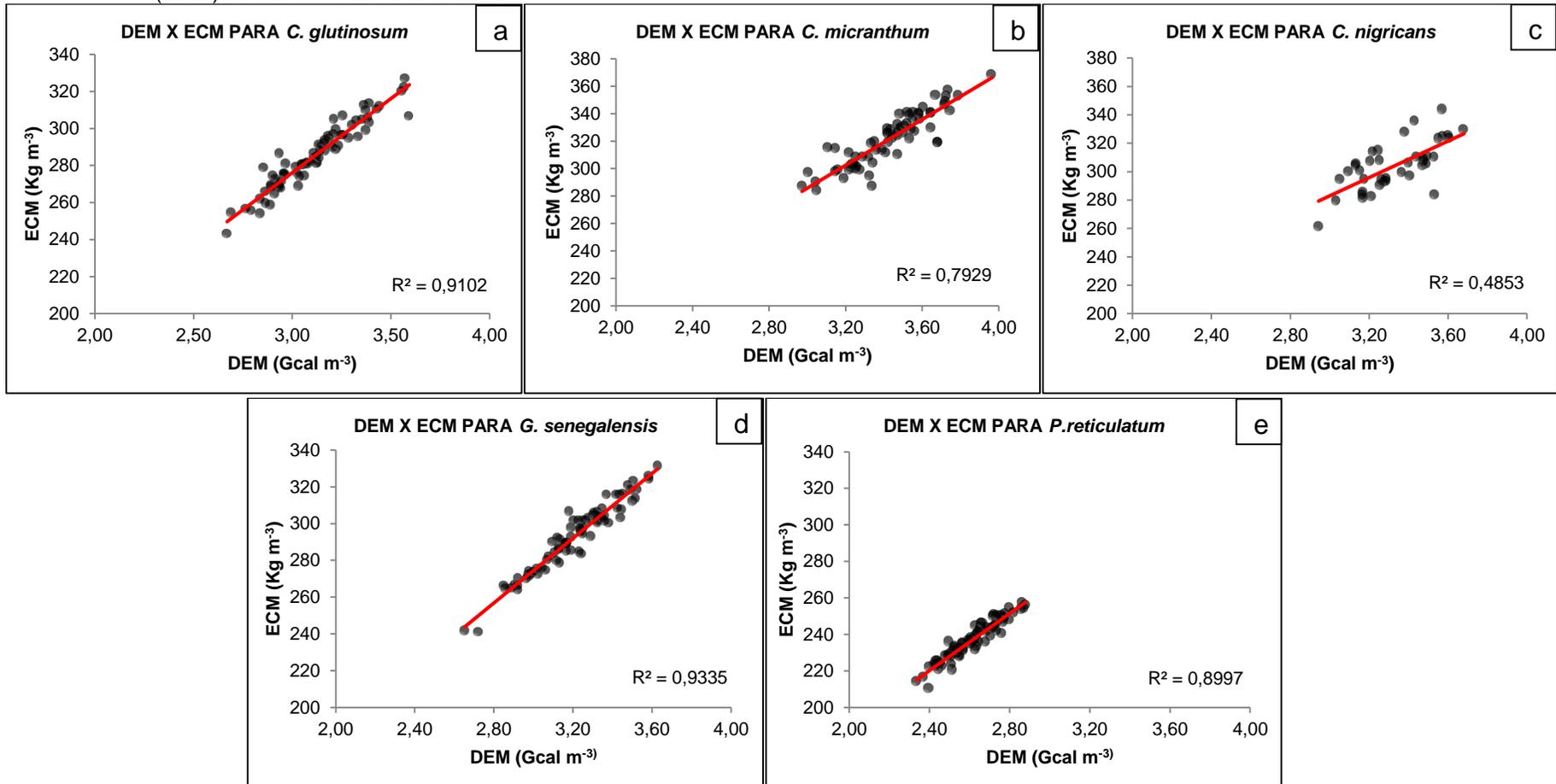


FIGURA 15 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS MATERIAL VOLÁTIL (MV) E CARBONO FIXO (CF) PARA AS CINCO ESPÉCIES

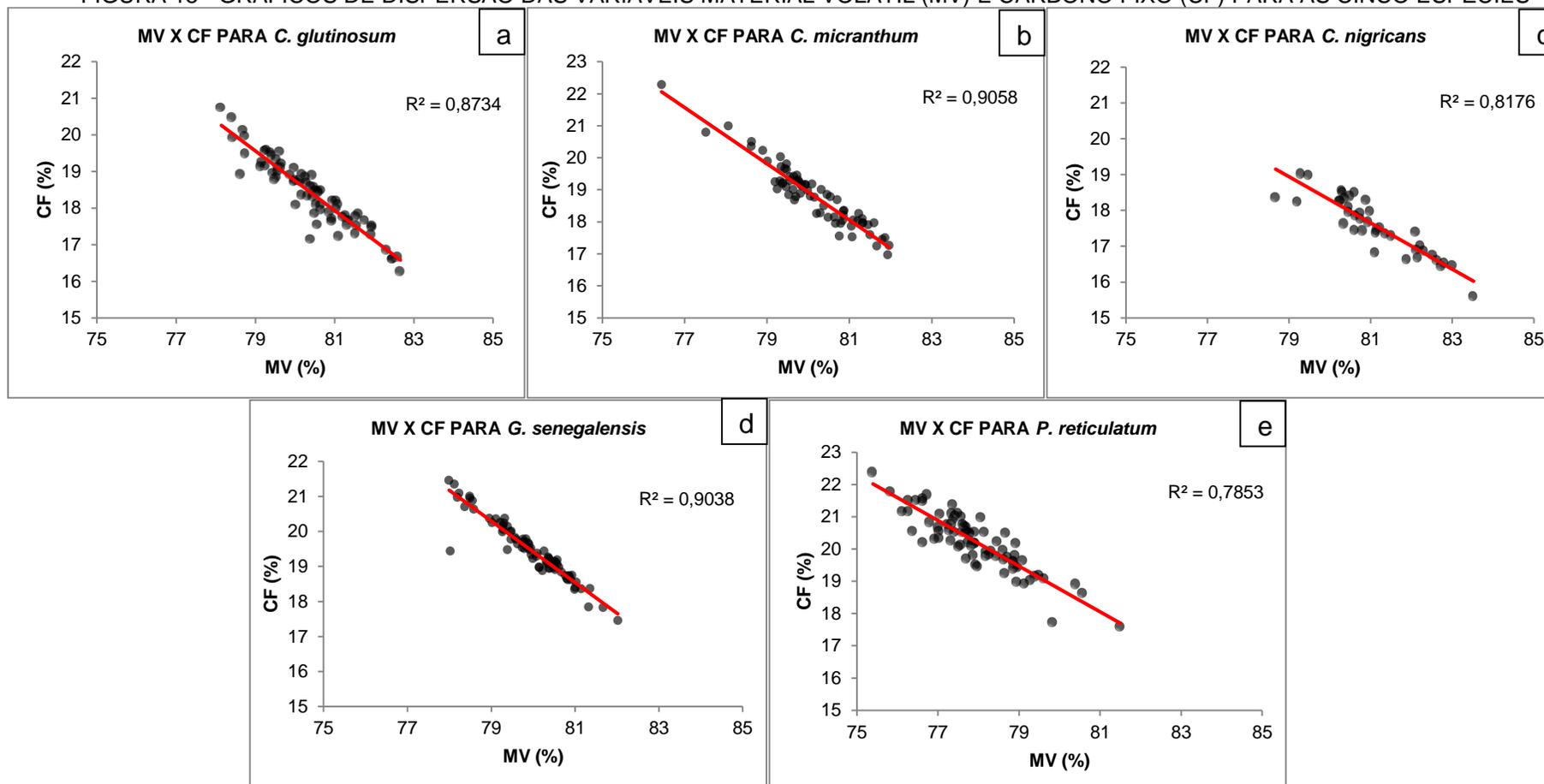
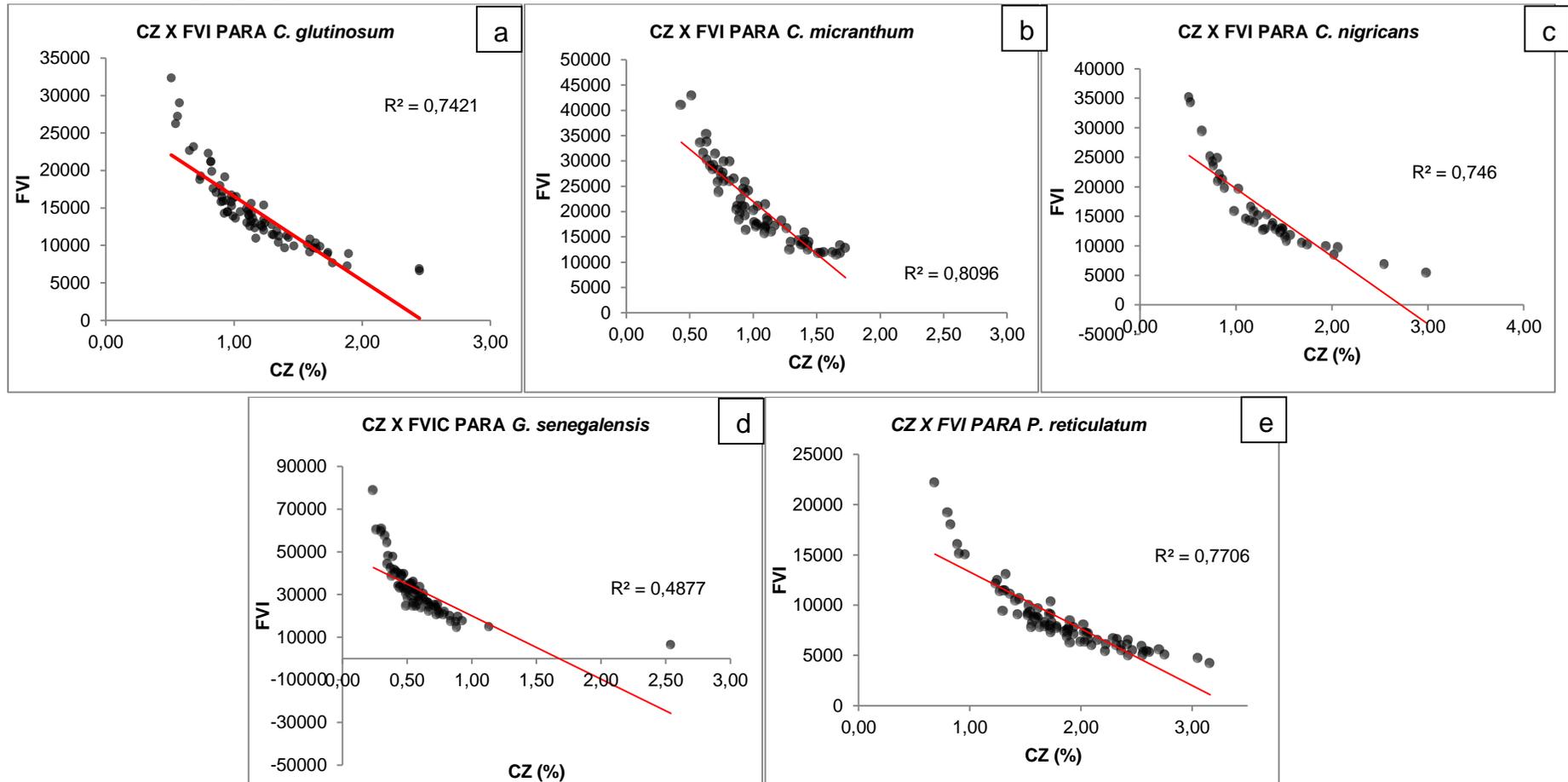


FIGURA 16 - GRÁFICOS DE DISPERSÃO DAS VARIÁVEIS TEOR DE CINZA (CZ) E ÍNDICE DE VALOR DE COMBUSTÍVEL (FVI) PARA AS CINCO ESPÉCIES



4.3 INTERPRETAÇÃO DO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI)

A TABELA 22 apresenta, por espécie, os valores determinados de mediana, mínimo e máximo das variáveis poder calorífico superior, densidade básica, teor de cinza e teor de umidade.

TABELA 22 - DADOS MÍNIMOS, MÁXIMOS E MEDIANAS DOS PARÂMETROS UTILIZADOS PARA SIMULAÇÃO DO FVI DE CADA ESPÉCIE

Variáveis		Espécies				
		C. <i>glutinosum</i>	C. <i>micranthum</i>	C. <i>nigricans</i>	G. <i>senegalensis</i>	P. <i>reticulatum</i>
PCS (Kj g ⁻¹)	Mínimo	17,58	17,48	17,31	18,82	18,25
	Mediana	18,80	18,94	18,54	19,54	18,92
	Máximo	20,14	20,39	20,77	20,62	19,81
Db (g cm ⁻³)	Mínimo	0,593	0,662	0,654	0,574	0,519
	Mediana	0,694	0,759	0,744	0,698	0,581
	Máximo	0,798	0,855	0,844	0,772	0,632
Cz (g/g)	Mínimo	0,0051	0,0043	0,0051	0,0024	0,0069
	Mediana	0,0112	0,0101	0,0130	0,0055	0,0178
	Máximo	0,0245	0,0173	0,0299	0,0254	0,0316
Ubu (g/g)	Mínimo	0,0722	0,0555	0,0728	0,0686	0,0614
	Mediana	0,2901	0,2585	0,2698	0,2949	0,3107
	Máximo	0,5080	0,4614	0,4667	0,5211	0,5600

¹Teor de umidade medido em laboratório quando as amostras chegaram ao Brasil.

²Teor de umidade máximo estimado pela equação 4.

Os dados da TABELA 22 foram combinados e por meio da equação (4) foram calculados os índices de valor combustível apresentados na TABELA 23, destacando-se os maiores e os menores valores encontrados para as cinco espécies.

Para o poder calorífico superior foi utilizado, nos cálculos, somente o valor da mediana para cada espécie, pois esta representa a localização do centro da distribuição destes dados, uma vez que foi observado baixos valores de coeficiente de variação, já apresentados na TABELA 19, e de variância (APÊNDICE A).

TABELA 23 - SIMULAÇÃO DO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL UTILIZANDO VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E MEDIANAS PARA DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu)

Combinações	Espécies				
	C. <i>glutinosum</i>	C. <i>micranthum</i>	C. <i>nigricans</i>	G. <i>senegalensis</i>	P. <i>reticulatum</i>
PcDmCmUm	30281	52541	32664	68109	23173
PcDmCmUM	4304	6320	5095	8966	2541
PcDMCmUm	40749	67859	42153	91603	28218
PcDMCmUM	5792	8163	6575	12059	3094
PcDmCMUm	6303	13059	5571	6435	5060
PcDmCMUM	896	1571	869	847	555
PcDMCMUm	8483	16867	7190	8655	6162
PcDMCMUM	1206	2029	1122	1139	676

P = Poder calorífico superior; D = Densidade básica da madeira; C = Teor de cinza; U = Teor de umidade; c = Valor central (mediana); m = Valor mínimo; M = Valor máximo.

Os efeitos das variáveis densidade básica da madeira, teor de cinza e teor de umidade no índice de valor combustível, podem ser observados na TABELA 24 e nas FIGURAS 17, 18, 19, 20 e 21.

TABELA 24 – EFEITO DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (UBU) NO CÁLCULO DO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL

Variáveis	Espécie				
	C. <i>glutinosum</i>	C. <i>micranthum</i>	C. <i>nigricans</i>	G. <i>senegalensis</i>	P. <i>reticulatum</i>
Efeito das variáveis					
Db (g cm ⁻³)	3.611	5.356	3.210	7.275	1.705
CZ (g/g)	-16.060	-25.339	-17.934	-40.915	-11.143
Ubu (g/g)	-18.405	-33.061	-18.479	-37.948	-13.937

O índice de valor combustível foi mais afetado pela variação do teor de umidade nas espécies *C. glutinosum*, *C. micranthum*, *C. nigricans* e *P. reticulatum*, enquanto na espécie *G. senegalensis* a influência maior foi da variação do teor de cinza (TABELA 24).

A TABELA 23 apresenta, para todas as espécies, que os melhores valores de FVI, considerando poder calorífico superior constante, são verificados em uma combinação de maior densidade básica da madeira e menores teores de cinza e umidade.

FIGURA 17- REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu) NO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE *Combretum glutinosum*

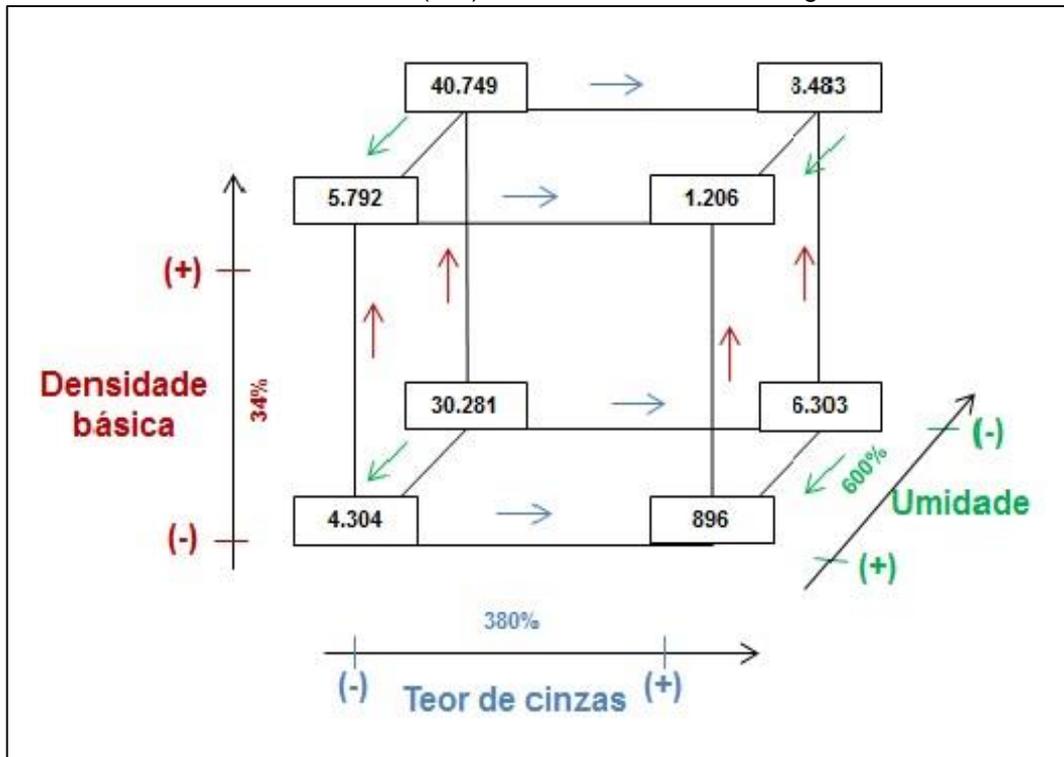


FIGURA 18 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu) NO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE *Combretum micranthum*

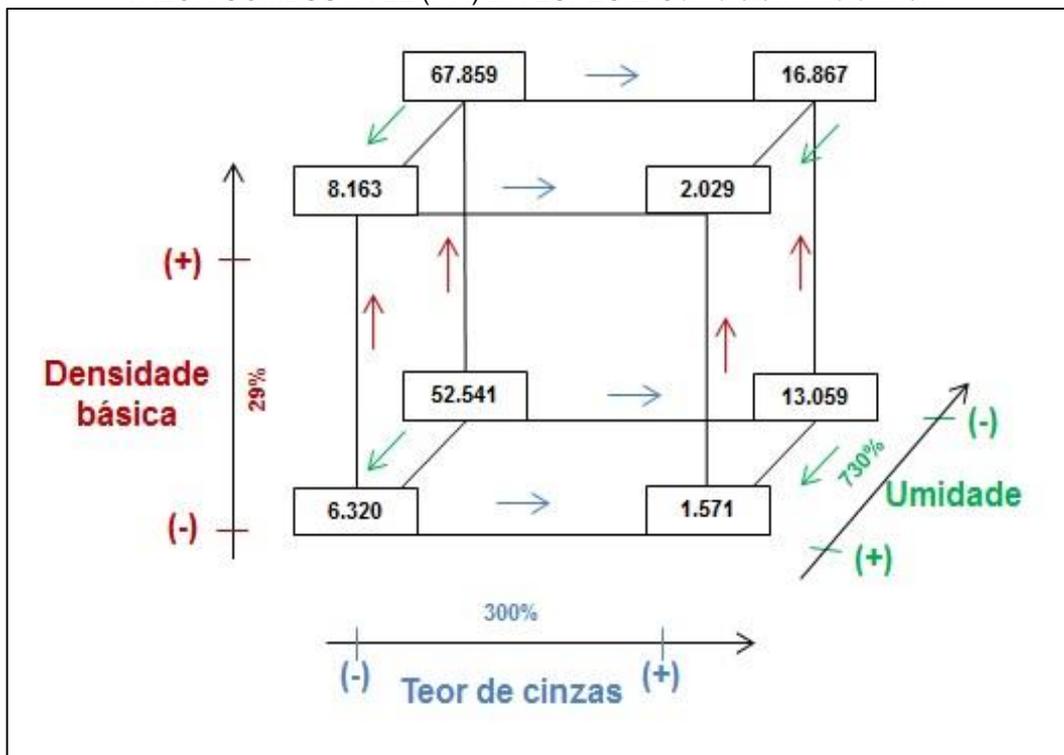


FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (Db), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (Ubu) NO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE *Combretum nigricans*

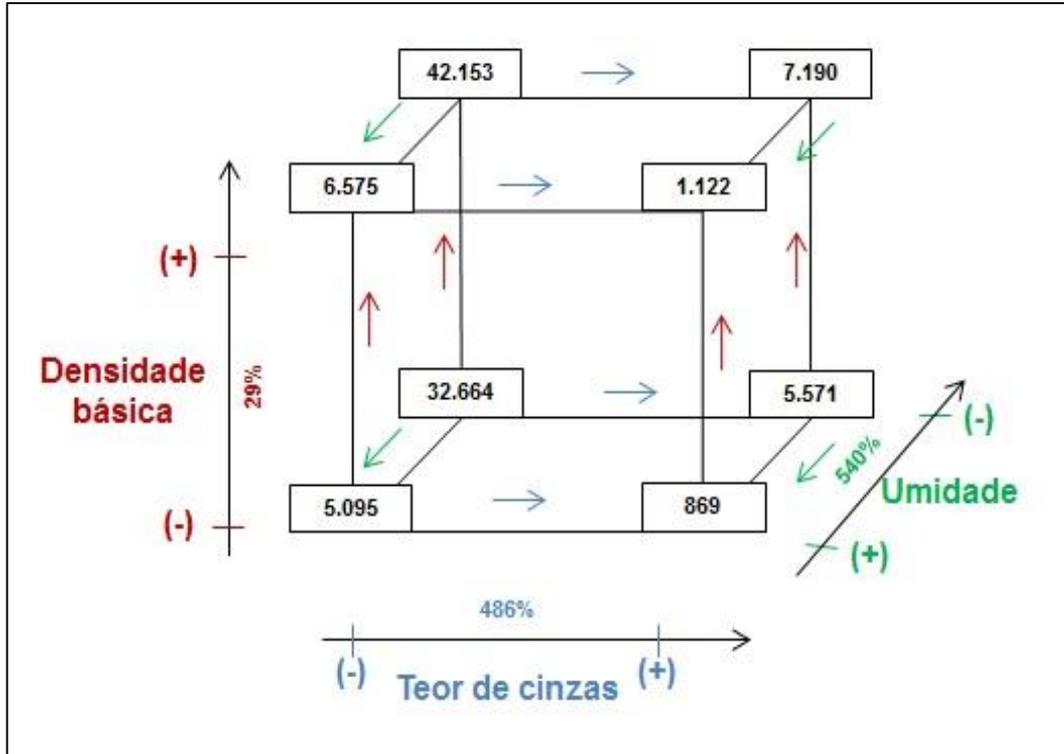


FIGURA 20 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (DB), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (UBU) NO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE *Guiera senegalensis*

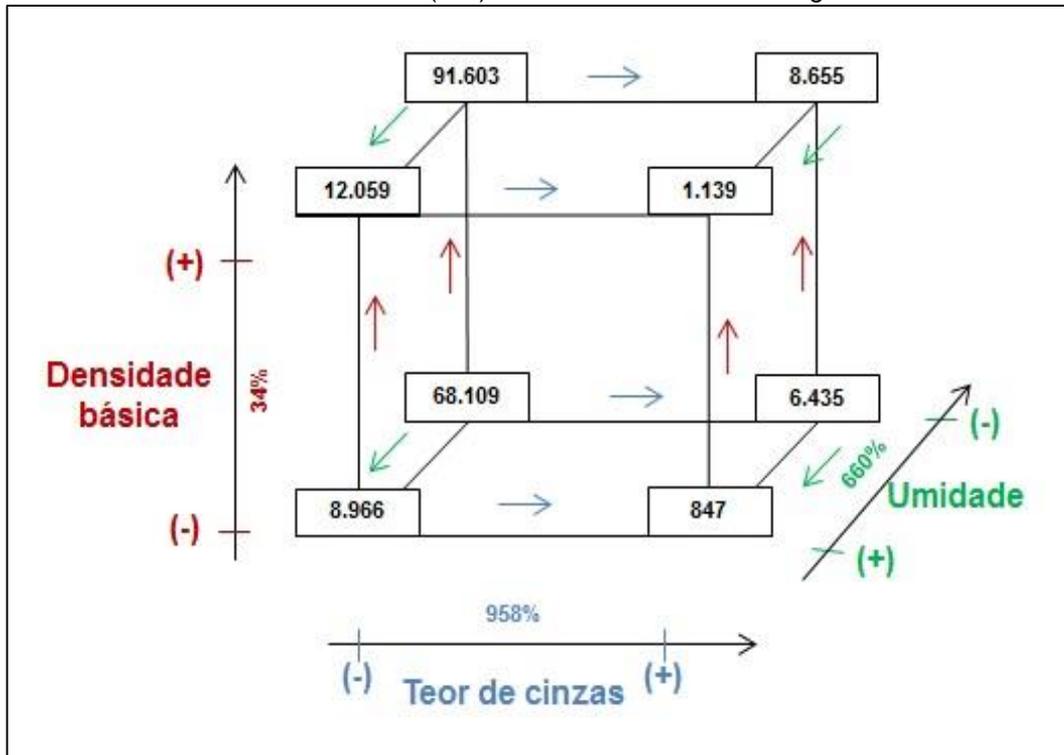
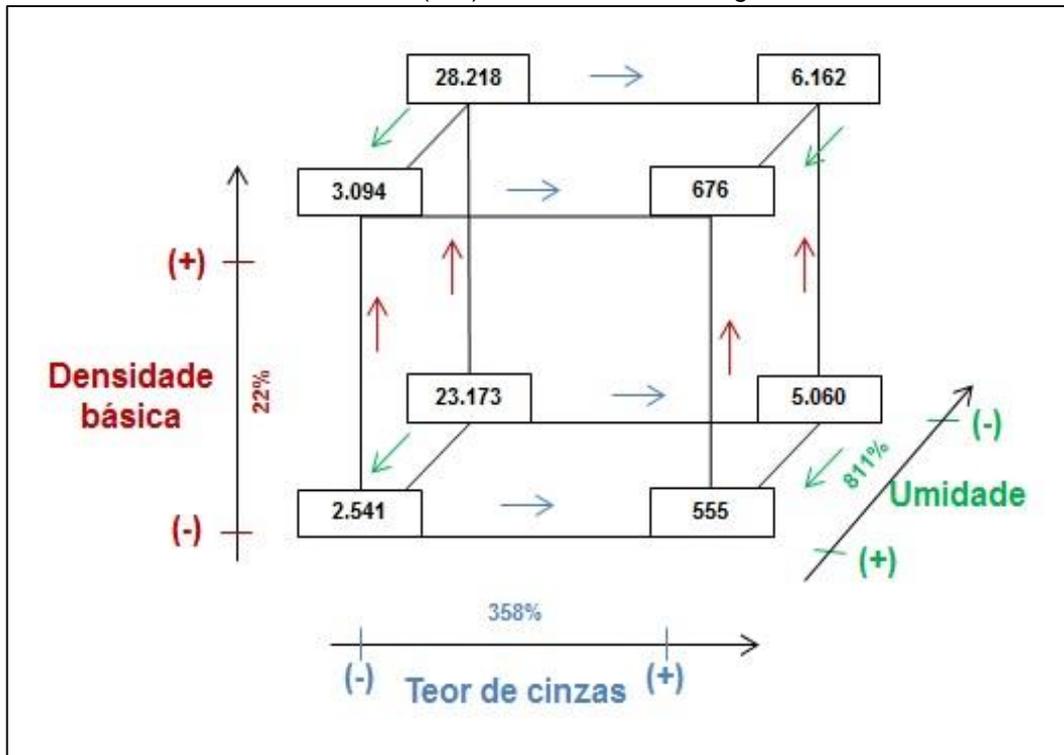


FIGURA 21 - REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA DOS EFEITOS DAS VARIÁVEIS DENSIDADE BÁSICA (DB), TEOR DE CINZA (CZ) E TEOR DE UMIDADE (UBU) NO ÍNDICE DE VALOR COMBUSTÍVEL (FVI) DA ESPÉCIE *Piliostigma reticulatum*



A densidade básica, quando considera os valores mínimos e máximos encontrados para as espécies, e para valores fixos dos teores de cinza e umidade, pode-se observar uma variação no FVI de 34% para as espécies *C. glutinosum* e *G. senegalensis*; 29% para *C. micranthum* e *C. nigricans*; e 22% para *P. reticulatum*. Estes valores refletem a variação da densidade básica da madeira entre as espécies, como já apresentado na TABELA 19.

Para valores fixos de densidade básica da madeira e de teor de umidade a variação do FVI, influenciada pelo teor de cinza, quando se usa valores mínimos e máximos, foi de 300%, 358%, 380%, 486% e 958%, respectivamente para *C. micranthum*, *P. reticulatum*, *C. glutinosum*, *C. nigricans* e *G. senegalensis*. Este comportamento se explica pela variação do teor de cinza dentro das espécies (TABELA 22).

O efeito do teor de umidade no FVI, para valores constantes de densidade básica da madeira e teor de cinza, foi de 540%, 600%, 660%, 730% e 811%, respectivamente para *C. nigricans*, *C. glutinosum*, *G. senegalensis*, *C. micranthum* e *P. reticulatum*.

O FVI está sujeito a muitas variações, pois sofre influência de todas as variáveis que compõe seu cálculo. O poder calorífico superior, a densidade básica da madeira e o teor de cinza são intrínsecos às espécies e não podem ser manipulados, o teor de umidade é a única variável que pode ser controlada, quanto mais seco estiver o material, melhor será o valor do índice de valor combustível.

O poder calorífico superior médio de madeiras tropicais da África é de 4720 Kcal kg⁻¹, mas o efeito da umidade e da densidade são os principais interferentes para se fazer um ranqueamento energético do potencial das espécies florestais (DAVIS; EBERHARD, 1991; EBERHARD, 1990). Outros autores como Purohit e Nautiyal (1987) e Jain e Singh (1999) atribuem que o valor energético de uma biomassa lenhosa está relacionado com a variação da umidade, do teor de cinza, da densidade, do poder calorífico e da relação biomassa/cinza. Assim, justificam o FVI como um índice de qualidade para ranqueamento do valor da biomassa para energia, pois contempla as variáveis, em princípio, positivas como o poder calorífico e a densidade e as negativas como os teores de umidade e de cinza.

Assim, o comportamento dos resultados encontrados para o FVI na TABELA 23 e nas FIGURAS 17, 18, 19, 20 e 21, ilustram a importância de agregar um parâmetro mais completo para abordar a qualidade da madeira para energia. A amplitude de variação dos dados ocorreram de forma similar à autores como Rai, Chettri e Sharma (2002) e Sahoo, Lalremruata e Lalramnghinglova (2014) aplicando o FVI em trabalhos com espécies florestais na Índia e Purohit e Nautiyal (1987) que realizaram um estudo mais detalhado, comparando quarenta e quatro espécies de zona tropical e temperada da Índia; resultados semelhantes, e destacando o FVI, foram encontrados por Abbot e Lowore (1999) em estudo de potencial energético de espécies florestais do Malawi na África e Abbot et al., (1997), em trabalho que procurou definições sobre a qualidade de madeiras para energia na região de savana da África. Ojelel, Otiti e Mugisha (2015) aplicaram o FVI para selecionar espécies florestais para uso energético em regiões do Uganda, e destacaram os aspectos e características positivas como poder calorífico e densidade e os negativos como teor de cinza e de umidade relacionados ao índice.

O Níger é um dos países de temperatura mais elevada na África (AFRICA GUIDE, 2015), e tem sido atingindo por grandes períodos de seca FAO (2015), nos últimos dez anos registrou-se queda na área de cobertura florestal – especialmente de florestas de regeneração natural - e, por outro lado, a área de florestas plantadas

é pequena (113 ha em 2013) e com pequeno incremento (TABELA1) (FAO STAT, 2015). A consequência devido ao aumento no consumo de madeira, de carvão vegetal e da população é a redução do estoque de carbono em floresta viva (FAO, 2015).

Esta realidade exige decisão para incrementar a eficiência que tem sido muito baixa, do uso tradicional no país de espécies florestais para energia. Com base no estudo das cinco espécies usadas para energia no Níger, considerando o poder calorífico, a espécie mais recomendada é a *Guiera senegalensis* enquanto a menos recomendada é a *Combretum nigricans* (TABELA 19). Ao utilizar um índice mais representativo de qualidade energética (FVI), que somente o poder calorífico superior, há alteração no ranque ou classificação das espécies. Assim, a espécie mais recomendada para uso energético no Níger continuaria sendo a *Guiera senegalensis*, seguida da *Combretum micranthum*; as de qualidade intermediárias seriam *Combretum Nigricans* e *Combretum glutinosum* e a menos recomendada é a *Piliostigma reticulatum*.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espécie teve efeito sobre todas as variáveis analisadas, a região não teve efeito no poder calorífico superior, no índice de valor combustível e no teor de cinza para as cinco espécies, porém algumas espécies não apresentaram o efeito das regiões nas demais variáveis.

A densidade básica não apresentou interação entre espécie e região, sendo que as espécies *C. micranthum* e *C. nigricans* apresentaram médias superiores, e a espécie *P. reticulatum* apresentou média inferior. A região de Aguié – North apresentou média superior à demais regiões.

A espécie *P. reticulatum* apresentou média superior para teor de carbono fixo e cinza, e média inferior para teor de material volátil, não apresentando influência da região para teores de material volátil e carbono fixo. A espécie *G. senegalensis* apresentou média inferior para teor de cinza, entre as cinco espécies.

As espécies *C. glutinosum* e *G. senegalensis* apresentaram médias superiores para teor de carbono total, sendo que a primeira não teve influência das regiões estudadas no Níger.

A espécie *G. senegalensis* apresentou média superior as demais espécies para poder calorífico superior, não apresentando influência da região, assim como a espécie *C. micranthum*.

A espécie *C. micranthum* apresentou médias superiores para densidade energética da madeira e estoque de carbono na madeira. A espécie *P. reticulatum* não apresentou influência da região para ambas as variáveis, as espécies *C. glutinosum* e *C. nigricans* não apresentaram influência da região para as variáveis densidade energética da madeira e estoque de carbono na madeira respectivamente.

A espécie *G. senegalensis* apresentou média superior para o índice de valor combustível, e as espécies *C. glutinosum* e *P. reticulatum* não apresentaram influência da região.

As correlações fortes e positivas foram entre densidade básica e densidade energética da madeira; densidade básica e estoque de carbono; densidade energética da madeira e estoque de carbono na madeira, para todas as espécies. As correlações fortes negativas foram entre teores de material volátil e carbono fixo; índice de valor combustível e teor de cinza para todas as espécies.

O índice de valor combustível é um parâmetro de qualidade energética, que apresentou muitas variações para as espécies estudadas, indicando que a espécie *G. senegalensis* é a mais recomendada para uso energético na região do Níger, e a espécie *P. reticulatum* a menos recomendada para esta finalidade.

O índice determinado para a região do Níger foi mais afetado pelo teor de umidade nas espécies *C. glutinosum*, *C. micranthum*, *C. nigricans* e *P. reticulatum*, enquanto que o teor de cinza influenciou mais na espécie *G. senegalensis*.

O índice de valor combustível da madeira mostrou-se adequado para proceder o ranqueamento de qualidade energética de espécies florestais, contudo, por não ter sido usado com mais frequência e por mais tempo, precisa de estudos mais aprofundados para uso corrente.

Recomenda-se estudos comportamentais de crescimento destas espécies na região do Níger, para complementar este estudo e prever quais são as espécies mais indicadas para finalidade energética.

REFERÊNCIAS

ABBOT, P. G.; LOWORE, J. D. Characteristics and management potential of some indigenous firewood species in Malawi. **Forest Ecology and Management**, v. 119, p. 111–121, 1999. DOI. 10.1016/S0378-1127(98)00516-7. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0378112798005167/1-s2.0-S0378112798005167-main.pdf?_tid=4b47da3c-068b-11e6-818e-00000aacb360&acdnat=1461110781_459301785f660210a3bec43e167e9a0c>. Acesso em: 17 fev. 2016.

ABBOT, P.; LOWORE, J.; KHOFI, C.; WERREN, M. Defining firewood quality: A comparison of quantitative and rapid appraisal techniques to evaluate firewood species from a Southern African Savanna. **Biomass and Bioenergy**, v. 12, n. 6, p. 429–437, 1997. DOI. 10.1016/S0961-9534(96)00084-0. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0961953496000840/1-s2.0-S0961953496000840-main.pdf?_tid=fa0e9628-068b-11e6-afe4-00000aab0f02&acdnat=1461111074_506a0d4e93b8695ff1e83d63a81c359f>. Acesso em: 17 fev. 2016.

AFRICA GUIDE. **Niger Visitor Information**. Disponível em: <<http://www.africaguide.com/country/niger/info.htm>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D2395-93(1997)**: Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. West Conshohocken, 1997.

ARBONNIER, M. **Trees, shrubs and lianas of West African dry zones**. França: Cirad, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: carvão vegetal: análise imediata: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2003a.

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

BAUMER, M. **Notes on trees and shrubs in arid and semi-arid regions**. Food and Agricultural Organization of the United Nations. ROME:1983.

BHATT, B. P.; TODARIA, N. P. Firewood characteristics of some mountain trees and shrubs. **Commonwealth Forestry Review**, v. 71, n. 3/4, p. 183–185, 1992. DOI. 10.1016/j.renene.2003.12.008. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0960148103004038/1-s2.0-S0960148103004038-main.pdf?_tid=7208aa38-068c-11e6-bd43-00000aab0f6b&acdnat=1461111276_a16f6ddea22a84b03d7f4b962fad54de>. Acesso em: 11 abr. 2016.

BRITO, J. O. Uso Energético Da Madeira. **Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, p. 185–193, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a14v2159.pdf>>. Acesso em: 7 fev. 2016.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Usos Diretos E Propriedades Da Madeira Para Geração De Energia. **CIRCULAR TÉCNICA No 52**, , n. 1, p. 7, 1979. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3681/ipef-circular-tecnica-1979-julho-n-52.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

BRUNKEN, U.; SCHMIDT, M.; DRESSLER, S.; JANSEN, T.; THIOMBIANO, A.; ZIZKA, G. **West African Plants - A Photo Guide**. Disponível em: <www.westafricanplants.senckenberg.de>. Acesso em: 10 nov. 2015.

CATARINO, L.; MARTINS, E. S.; DINIZ, M. A. O género combretum na flora da Guiné-Bissau. **Portugaliae Acta Biol.**, v. 19, p. 397–408, 2000. Disponível em: <dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2374423.pdf>. Acesso em 20 jan. 2016.

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY. **Africa: Niger**. Disponível em: <<https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ng.html>>. Acesso em: 21 dez. 2015.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R.; EASDALE, T. A.; STEEGE, H. T. WEBB, C. O. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. **Ecological Applications**, v. 16, n. 6, p. 2356–2367, 2006. DOI. 10.1890/1051-0761(2006)016[2356:RAPVOW]2.0.CO;2. Disponível em: <[http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2356:RAPVOW\]2.0.CO;2/full](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/1051-0761(2006)016[2356:RAPVOW]2.0.CO;2/full)>. Acesso em: 31 jan. 2016.

CLIMATE-DATA.ORG. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/>>. Acesso em: 25 jan. 2016.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia - Usando SPSS para Windows**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

DATOSMACRO. **Níger - Índice de desarrollo humano - IDH**. Disponível em: <<http://www.datosmacro.com/idh/niger>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

DAVIS, M.; EBERHARD, A. A. Combustion Characteristics of Fuelwoods. **South African Forestry Journal**, v. 1, n. 158, p. 17–22, 1991. DOI. 10.1080/00908310490441818. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00382167.1991.9630369?journalCode=tsfs17#.VxbNPvkrLcc>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

D-MAPS. **Niger / République du Niger**. Disponível em: <http://d-maps.com/pays.php?num_pay=43&lang=en>. Acesso em: 22 jan. 2016.

EBERHARD, A. A. Fuelwood Calorific Values in South Africa. **South African Forestry Journal**, v. 1, n. 152, p. 17–22, 1990. DOI. 10.1080/00382167.1990.9629014. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00382167.1990.9629014?journalCode=tsfs17#.VxbNPvkrLcc>>.

sfs17#.VxbNykrlLcc>. Acesso em: 17 fev. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Countries - Forests and the forestry sector**. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/country/57478/en/ner/>>. Acesso em: 02 mar. 2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Yearbook Forest products 2008-2012**. Roma: FAO, 2014.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Countries - Natural forest formations - Niger**. Disponível em: <<http://www.fao.org/forestry/country/18314/en/ner/>>. Acesso em: 26 nov. 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Statistics division**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/download/R/RL/E>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

FAYE, M. D.; WEBER, J. C.; ABASSE, T. A.; BOU-REIMA, M. LARWANOU, M. BATIONO, A. B. DIALLO, B. O. SIGUÉ, H. DAKOUO, J.-M. SAMAKÉ, O. DIAITÉ, D. S. Farmers' Preferences for Tree Functions and Species in the West African Sahel. **Forests, Trees and Livelihoods**, v. 20, p. 113–136, 2011. DOI. 10.1080/14728028.2011.9756702. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14728028.2011.9756702#.VxbOePkrLcc>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions**. Berlin: W. de Gruyter, 1989.

FOREST RESSOURCE ASSESMENT. **Évaluation Des Ressources Forestières Mondiales 2010 - Rapport National - Niger**. Rome: FAO, 2010.

FUWAPE, J. A.; AKINDELE, S. O. Biomass yield and energy value of some fast-growing multipurpose trees in Nigeria. **Biomass and Bioenergy**, v. 12, n. 2, p. 101–106, 1997. DOI. 10.1016/S0961-9534(96)00061-X. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S096195349600061X/1-s2.0-S096195349600061X-main.pdf?_tid=a545cee6-001d-11e6-94cf-00000aab0f26&acdnat=1460403980_20069cf305c187875e91541ebab574c8>. Acesso em: 11 abr. 2016.

GALITO, M. S. **TERRORISMO NA REGIÃO DO SAHEL**. Lisboa: CEsA, 2013. Working Paper.

GOURLAY, I. D. The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species - A review. **Iawa**, v. 16(4), n. 4, p. 353–359, 1995. DOI. 10.1163/22941932-90001425. Disponível em: <<http://booksandjournals.brillonline.com/content/journals/10.1163/22941932-90001425>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

HIERNAUX, P.; NOËL, H.; HOUÉROU, H. LE. Les parcours du Sahel. **Secheresse**, v. 17, n. 1-2, p. 51–71, 2006. Disponível em: <<https://www.rmportal.net/framelib/parcours-sahel.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2015.

HOUÉROU, H. L. *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. Disponível em: <<http://www.fao.org/ag/agp/AGPC/doc/Gbase/data/pf000377.htm>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

HOUÉROU, H. L. The Rangelands of the Sahel. **Journal of Range Management**, v. 33, n. 1, p. 41–46, 1980. Disponível em: <<https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/viewFile/7010/6620.l>>. Acesso em: 18 nov. 2015.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE. **Tillabéri En Chiffre 2013**. Niamey, 2013a. Disponível em: <http://www.stat-niger.org/statistique/file/Regions/Tillaberien_chiffre_2013.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2016.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE. **Dosso En Chiffre 2013**. Niamey, 2013b. Disponível em: <http://www.stat-niger.org/statistique/file/Regions/Dossoen_chiffres2013.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2016.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE. **Tahoua En Chiffres 2013**. Niamey, 2013c. Disponível em: <http://www.stat-niger.org/statistique/file/Regions/Tahaouaen_chiffres2013.pdf>. Acesso em : 22 jan. 2016.

INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE. **Maradi En Chiffres 2013**. Niamey, 2013d. Disponível em: <http://www.stat-niger.org/statistique/file/Regions/Maradien_chiffres2013.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2016.

IRVINE, F. R. **Woody Plants of Ghana**. London: Oxford University Press, 1961.

JAIN, R. K.; SINGH, B. Fuelwood characteristics of selected indigenous tree species from central India. **Bioresource Technology**, v. 68, p. 305–308, 1999. DOI. 10.1016/S0960-8524(98)00173-4. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852498001734>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

JATI, S. R.; FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Wood density of trees in savannas of the northern Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 1, p. 79–86, 2014. DOI. 10.1590/S0044-59672014000100008 Disponível em: <<http://acta.inpa.gov.br/fasciculos/44-1/PDF/v44n1a08.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

KATAKI, R.; KONWER, D. Fuelwood characteristics of indigenous tree species of north-east India. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, n. 6, p. 433–437, 2002. DOI. 10.1016/S0961-9534(02)00026-0. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953402000260>> Acesso em: 17 fev. 2016.

KLITGARD, B. B.; LEWIS, G. P. **Neotropical Leguminosae (Caesalpinioideae)**. Disponível em: <[http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Leguminosae_\(Caesalpinioideae\).htm](http://www.kew.org/science/tropamerica/neotropikey/families/Leguminosae_(Caesalpinioideae).htm)>. Acesso em: 17 jan. 2016.

KUBITZKI, K. **The Families and Genera of Vascular Plants**. IX ed. Heidelberg, Germany: Springer, 2007.

KUMAR, J. I. N.; PATEL, K.; KUMAR, R. N.; BHOI, R. K. An evaluation of fuelwood properties of some Aravally mountain tree and shrub species of Western India.

Biomass and Bioenergy, v. 35, n. 1, p. 411–414, 2011. DOI. 10.1016/j.biombioe.2010.08.051 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.08.051>>. Acesso em: <11 abr. 2016.

LAHMAR, R.; BATIONO, B. A.; DAN LAMSO, N.; GUÉRO, Y.; TITTONELL, P. Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration. **Field Crops Research**, v. 132, p. 158–167, 2012. DOI. 10.1016/j.fcr.2011.09.013 Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.013>>. Acesso em: 20 jan. 2016.

LEWIS, G.; SCHIRE, B.; MACKINDER, B.; LOCK, M. **Legumes of the world**. 2005. Disponível em: <<http://www.kew.org/science-conservation/research-data/resources/legumes-of-the-world/genus/piliostigma>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

LIMA, E. A. DE; SILVA, H. D. DA; LAVORANTI, O. J. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 65, p. 9–17, 2010. DOI. 10.4336/2010.pfb.31.65.09. Disponível em: <<http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/192>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

MARQUET, M.; JANSEN, P. C. M. **Combretum glutinosum Perr ex. DC**. Disponível em: <<http://www.prota4u.info/protav8.asp?h=M4&t=Combretum,glutinosum&p=Combretum+glutinosum#Synonyms>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 1, p. 37–46, 2002. DOI. 10.1016/S0960-8524(01)00118-3. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001183>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

MIJITABA, M. M.; JING, F. J. Fuelwood consumption in Niger: A review. **International Journal of Research Studies in Management**, v. 2, n. 2, p. 67–76, 2013. DOI. 10.5861/ijrsm.2013.270. Disponível em: <<http://www.consortiacademia.org/index.php/ijrsm/article/view/270/213>>. Acesso em: 17 jan. 2016.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NYGARD, R.; ELFVING, B. Stem basic density and bark proportion of 45 woody species in young savanna coppice forests in Burkina Faso. **Annals of Forest Science**, v. 57, n. 2, p. 143–153, 2000. DOI. 10.1051/forest:2000165. Disponível em: <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00883170/document>>. Acesso em: 27 dez. 2015.

OJELEL, S.; OTITI, T.; MUGISHA, S. Fuel value indices of selected woodfuel species used in Masindi and Nebbi districts of Uganda. **Energy, Sustainability and Society**, v. 5, n. 14, p. 1–6, 2015. DOI. 10.1186/s13705-015-0043-y. Disponível em: <<http://www.energysustainsoc.com/content/5/1/14>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

PICARD, N.; OUATTARA, S.; DIARISSO, D.; BALLO, M.; GAUTIER, D. Defining units for savanna management in Sudano-sahelian areas. **Forest Ecology and Management**, v. 236, n. 2-3, p. 403–411, 2006. DOI. 10.1016/j.foreco.2006.09.033.

Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112706009182>>. Acesso em: 29 jan. 2016.

PUROHIT, A. N.; NAUTIYAL, A. R. Fuelwood Value Index of Indian Mountain Tree Species. **International Tree Crops Journal**, v. 4, n. 2-3, p. 177–182, 1987. DOI. 10.1080/01435698.1987.9752821. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/01435698.1987.9752821>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

RAI, Y. K.; CHETTRI, N.; SHARMA, E. Fuel Wood Value Index of Woody Tree Species From Mamlay Watershed in South Sikkim, India. **Forests, Trees and Livelihoods**, v. 12, n. 3, p. 209–219, 2002. DOI. 10.1080/14728028.2002.9752425. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14728028.2002.9752425>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

SACANDÉ, M.; SANON, M.; SCHMIDT, L. H. *Combretum micranthum* G. Don. **Seed Leaflet**, , n. 129, p. 1–3, 2007a. Disponível em: <http://curis.ku.dk/ws/files/20496809/c_micranthum.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2015.

SACANDÉ, M.; SANON, M.; SCHMIDT, L. H. *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr. **Seed Leaflet**, , n. 130, p. 1–3, 2007b. Disponível em: <http://curis.ku.dk/ws/files/20496794/c_nigricans.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2015.

SAHOO, U. K.; LALREMRUATA, J.; LALRAMNGHINGLOVA, H. Assessment of fuelwood based on community preference and wood constituent properties of tree species in Mizoram, north-east India. **Forests, Trees and Livelihoods**, v. 23, n. 4, p. 280–288, 2014. DOI. 10.1080/14728028.2014.943684. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/14728028.2014.943684>>. Acesso em: 07 fev. 2016.

SANOGO, R. *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. In: SCHMELZER, G. H. & Gurib-Fakim, A. PROTA 11(2): Medicinal plants 2. Wageningen, 2012. Disponível em: <[http://uses.plantnet-project.org/en/Guiera_senegalensis_\(PROTA\)](http://uses.plantnet-project.org/en/Guiera_senegalensis_(PROTA))>. Acesso em: 01 jul. 2015.

SANTOS, R. C. DOS. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: <<http://www.prrg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Rosimeire-Cavalcante-dos-Santos-Tese1.pdf>>.

SANTOS, R. C. DOS; CARNEIRO, A. D. C. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; MARINHO, I. T. V. TRUGILHO, P. F. ALVES, I. C. N. CASTRO, A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 491–502, 2013. DOI. 10.5902/198050989293. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/198050989293>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

SCHMELZER, G. H. *Combretum micranthum* G. Don. In: SCHMELZER, G. H. & GURIB-FAKIM, A. Prota 11(2): Medicinal plants 2. Wageningen, 2012. Disponível em: <[http://uses.plantnet-project.org/en/Combretum_micranthum_\(PROTA\)](http://uses.plantnet-project.org/en/Combretum_micranthum_(PROTA))>. Acesso em: 04 jul. 2015.

SHANAVAS, A.; KUMAR, B. M. Fuelwood characteristics of tree species in homegardens of Kerala, India. **Agroforestry Systems**, v. 58, n. 1, p. 11–24, 2003. DOI. 10.1023/A:1025450407545. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1025450407545#/page-1>>. Acesso em: 11 abr. 2016.

SOTELO MONTES, C.; WEBER, J. C.; SILVA, D. A.; ANDRADE, C. DE; MUÑIZ, G. I. B. GARCIA, R. A. KALINGANIRE, A. Effects of region, soil, land use, and terrain type on fuelwood properties of five tree/shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. **Annals of Forest Science**, v. 69, n. 6, p. 747–756, 2012. DOI. 10.1007/s13595-012-0195-2. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s13595-012-0195-2>>. Acesso em: 23 ago. 2014.

THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: A synthesis. **Forests**, v. 3, n. 2, p. 332–352, 2012. DOI. 10.3390/f3020332. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1999-4907/3/2/332>>. Acesso em: 01 fev. 2016.

VAUTIER, H.; SANON, M.; SACANDÉ, M.; SCHMIDT, L. H. Combretum glutinosum Perrot. ex DC. **Seed Leaflet**, , n. 128, p. 1–3, 2007. Disponível em: < http://forskning.ku.dk/find-en-forsker/?pure=files%2F20495866%2Fcombretum_glutinosum_128.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2015.

WEZEL, A; RAJOT, J.-L.; HERBRIG, C. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger. **Journal of Arid Environments**, v. 44, n. 4, p. 383–398, 2000. DOI. 10.1006/jare.1999.0609. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196399906092>>. Acesso em: 31 jan. 2016.

YELEMOU, B.; BATIONO, B. A; YAMEOGO, G.; MILLOGO-RASOLODIMBY, J. Gestion traditionnelle et usages de Piliostigma reticulatum sur le plateau central du Burkina Faso. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 291, n. 1, p. 55–66, 2007. Disponível em: < http://www.formad-environnement.org/RNA_yelemou_burkina_2007.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2016.

APÊNDICE A – ANÁLISE DESCRITIVA DAS VARIÁVEIS ESTUDADAS

(continua)

Variáveis	Espécies				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Idade (anos)					
Mínimo	5	4	5	4	5
Média	8,7	9,3	8,8	7,7	7,3
Máximo	16	16	14	14	11
IC 95%	8,2 - 9,2	8,5 - 10	7,9 - 9,7	7,3 - 8,2	6,9 - 7,6
Variância	4,54	7,89	5,63	3,47	2,16
Desvio Padrão	2,13	2,81	2,37	1,86	1,47
Umidade de laboratório(%)					
Mínimo	7,22	5,55	7,28	6,86	6,14
Média	8,43	7,25	7,81	8,05	7,8
Máximo	9,37	8,88	9,28	9,83	9,64
IC 95%	8,32 - 8,53	7,06 - 7,45	7,63 - 7,98	7,94 - 8,17	7,64 - 7,95
Variância	0,171	0,532	0,203	0,212	0,375
Desvio Padrão	0,414	0,729	0,451	0,46	0,613
Umidade máxima(%)					
Mínimo	37,47	34,02	34,68	39,07	48,14
Média	44,04	39,94	40,35	44,37	51,7
Máximo	50,8	46,14	46,67	52,11	56
IC 95%	43,42 - 44,67	39,28 - 40,59	39,52 - 41,19	43,78 - 44,97	51,30 - 52,10
Variância	7,34	7,54	6,83	7,16	3,17
Desvio Padrão	2,71	2,75	2,61	2,67	1,78

(continuação)

Variáveis	Espécies				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
Db (Kg.m⁻³)					
Mínimo	593	662	704	574	519
Média	692	759	749	690	580
Máximo	798	855	816	772	632
IC 95%	681 - 702	748 - 771	736 - 762	680 - 701	574 - 587
Variância	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001
Desvio Padrão	0,043	0,044	0,033	0,042	0,026
MV (%)					
Mínimo	78,14	76,44	78,67	77,99	75,40
Média	80,41	80,06	81,13	79,87	77,82
Máximo	82,66	81,94	83,52	82,02	81,50
IC 95%	80,13 - 80,69	79,79 - 80,12	80,66 - 81,60	79,65 - 80,10	77,54 - 78,10
Variância	1,190	1,030	1,464	0,800	1,235
Desvio Padrão	1,090	1,015	1,210	0,894	1,111
CF (%)					
Mínimo	16,28	16,97	15,60	17,45	17,60
Média	18,41	18,88	17,57	19,53	20,30
Máximo	20,75	22,28	19,99	21,46	22,38
IC 95%	18,16 - 18,65	18,63 - 19,12	17,25 - 17,89	19,32 - 19,74	20,08 - 20,53
Variância	0,932	0,866	0,682	0,675	0,797
Desvio Padrão	0,966	0,931	0,826	0,822	0,893

(continuação)

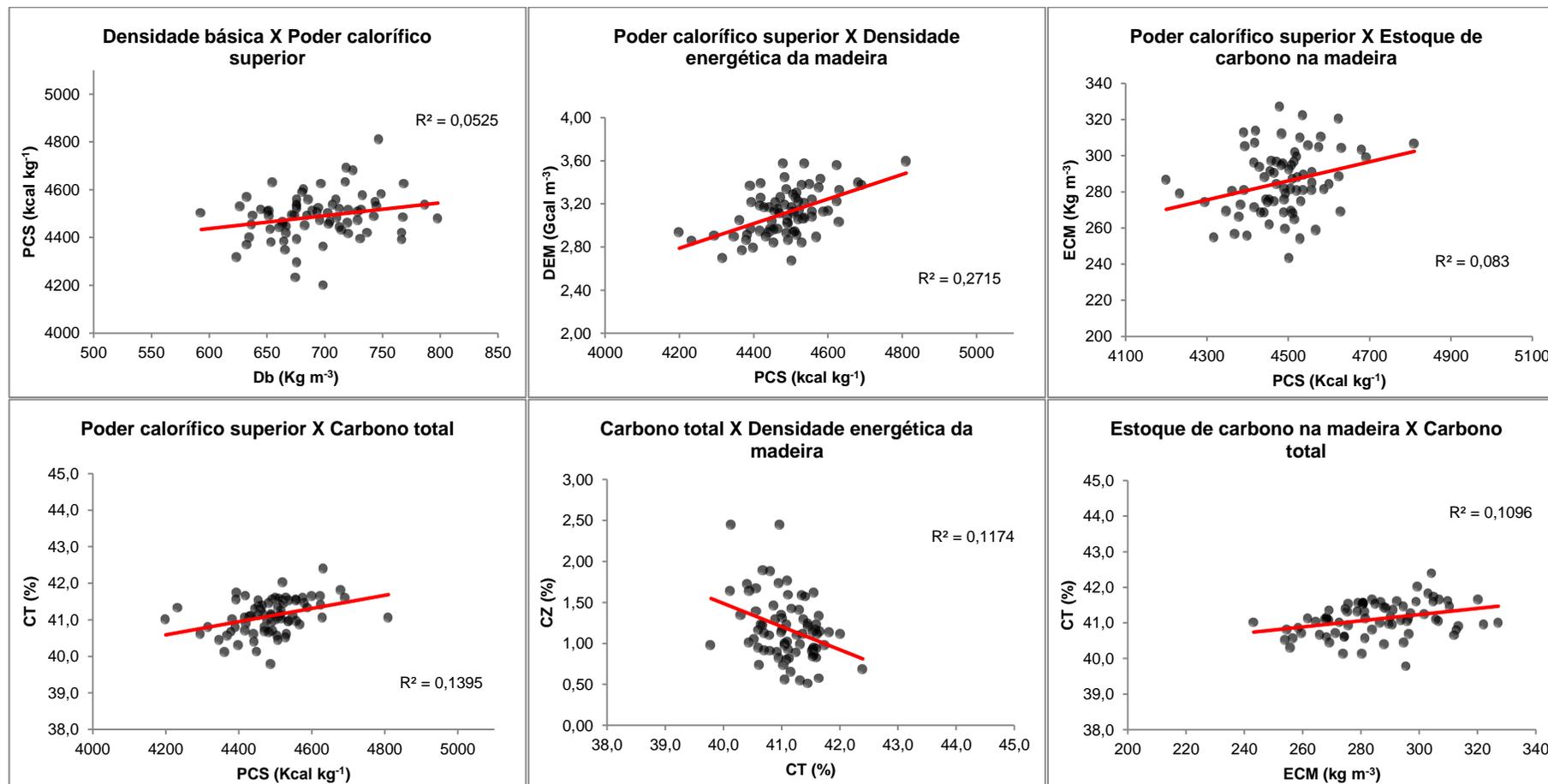
Variáveis	Espécies				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
CZ (%)					
Mínimo	0,51	0,52	0,51	0,24	0,69
Média	1,18	1,06	1,30	0,60	1,88
Máximo	2,45	1,73	2,99	2,54	3,16
IC 95%	1,08 - 1,28	0,98 - 1,15	1,08 - 1,52	0,52 - 0,67	1,75 - 2,01
Variância	0,159	0,111	0,324	0,089	0,274
Desvio Padrão	0,399	0,333	0,570	0,299	0,524
CT (%)					
Mínimo	40,13	40,90	38,88	40,89	40,00
Média	41,12	42,40	40,28	42,51	40,87
Máximo	42,40	43,85	43,11	44,16	42,27
IC 95%	41,00 - 41,24	42,24 - 42,57	39,86 - 40,70	42,36 - 42,67	40,76 - 40,98
Variância	0,219	0,397	1,170	0,372	0,192
Desvio Padrão	0,468	0,63	1,082	0,61	0,438
PCS (Kcal.kg⁻¹)					
Mínimo	4200	4176	4134	4541	4365
Média	4485,9	4514,8	4437,4	4665,4	4508,8
Máximo	4692	4870	4960	4926	4731
IC 95%	4461,5 - 4510,4	4485 - 4544,6	4383,5 - 4491,3	4647,3 - 4683,6	4490 - 4527,5
Variância	9277,89	12854,93	19301,95	5190,63	5539,92
Desvio Padrão	96,32	113,38	138,93	72,05	74,43

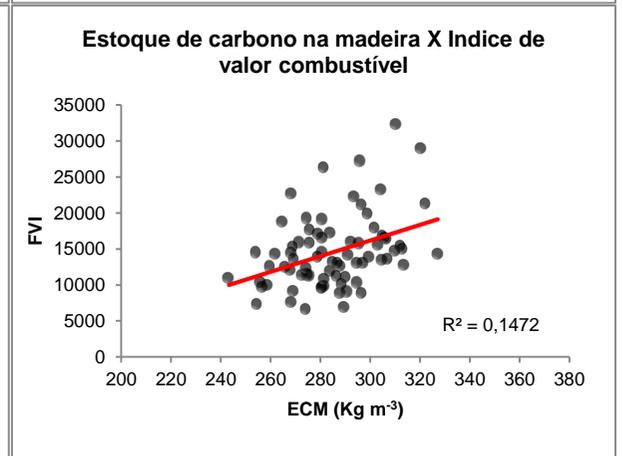
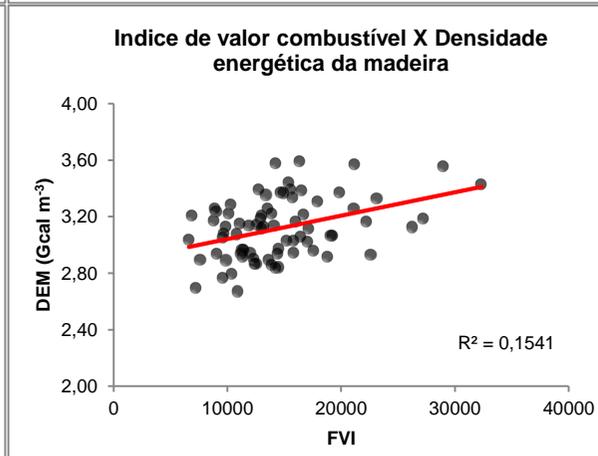
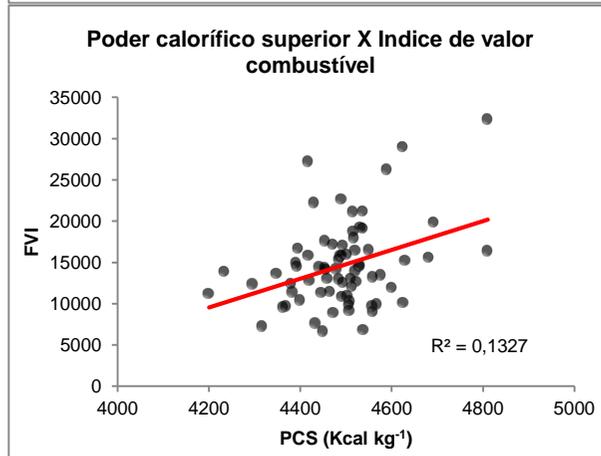
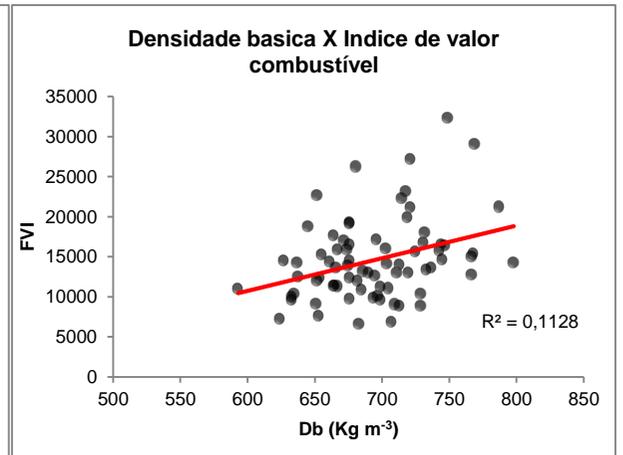
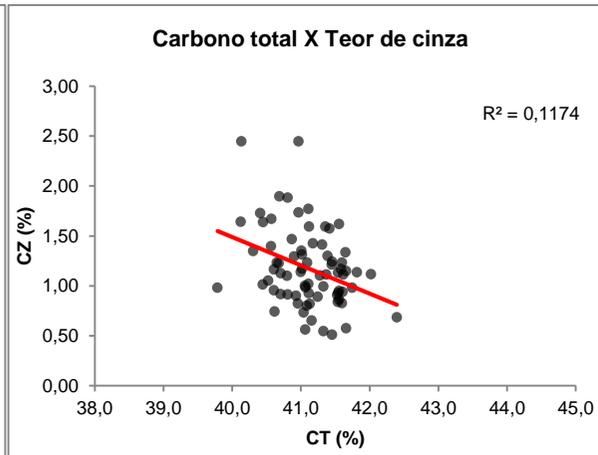
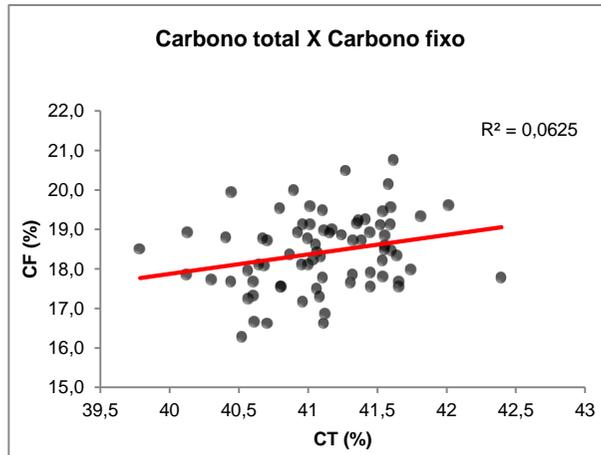
(conclusão)

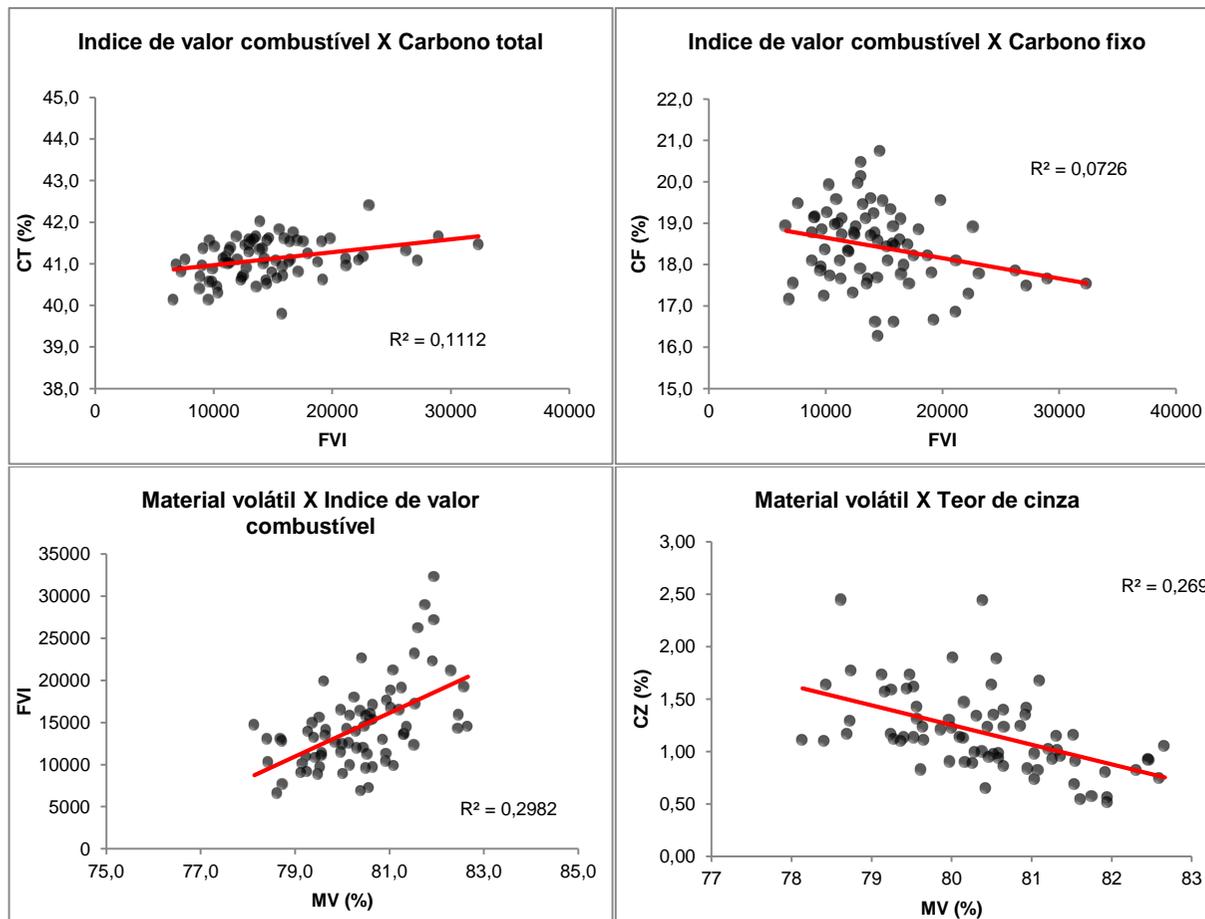
Variáveis	Espécies				
	<i>C. glutinosum</i>	<i>C. micranthum</i>	<i>C. nigricans</i>	<i>G. senegalensis</i>	<i>P. reticulatum</i>
DEM (Gcal.m⁻³)					
Mínimo	2,670	3,010	3,030	2,650	2,340
Média	3,104	3,427	3,324	3,220	2,618
Máximo	3,570	3,960	3,570	3,630	2,880
IC 95%	3,049 - 3,158	3,373 - 3,481	3,262 - 3,386	3,166 - 3,274	2,585 - 2,651
Variância	0,046	0,042	0,026	0,046	0,017
Desvio Padrão	0,215	0,205	0,160	0,214	0,132
ECM (Kg.m⁻³)					
Mínimo	243	284	280	241	211
Média	284,5	322,1	301,8	293,5	237,2
Máximo	327	369	336	331	256
IC 95%	279,8 - 289,2	317 - 327,2	296,5 - 307,1	288,6 - 298,3	234,5 - 240
Variância	347,32	380,43	187,66	373,73	119,06
Desvio Padrão	18,64	19,51	13,7	19,33	10,91
FVI					
Mínimo	6628	11565	5449	6458	4192
Média	14567,6	20817,2	16460,4	32145,1	8271,1
Máximo	32347	42913	35165	79003	22206
IC 95%	13238 - 15897	18868 - 22766	13544 - 19377	29176 - 35113	7478 - 9065
Variância	2,74E+07	5,50E+07	5,66E+07	1,39E+08	9925777,69
Desvio Padrão	5235,96	7414,33	7520,92	11786,35	3150,52

APÊNDICE B – GRÁFICOS DE DISPERSÃO PARA AS VARIÁVEIS ESTUDADAS POR EPÉCIE.

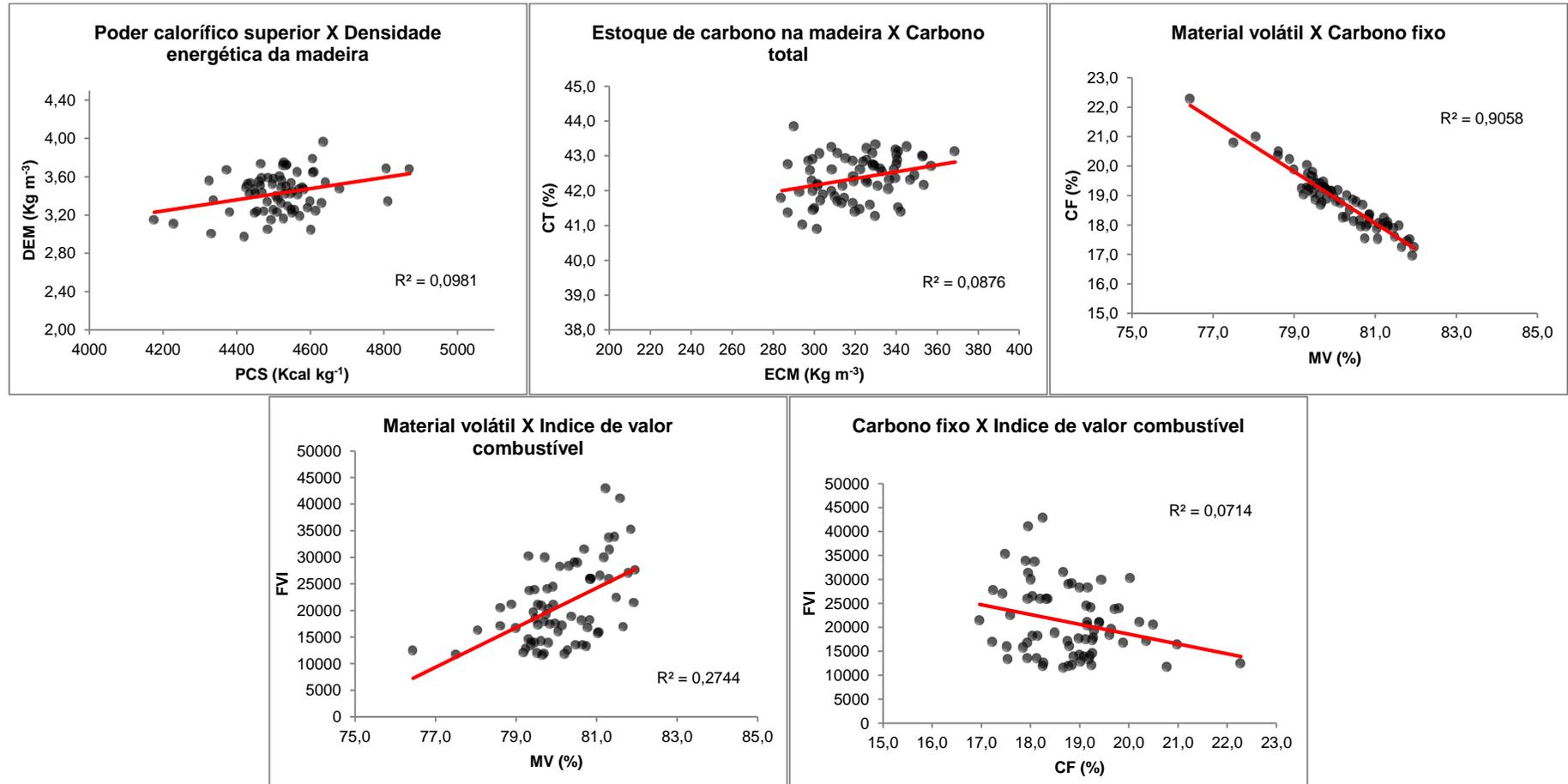
Combretum glutinosum



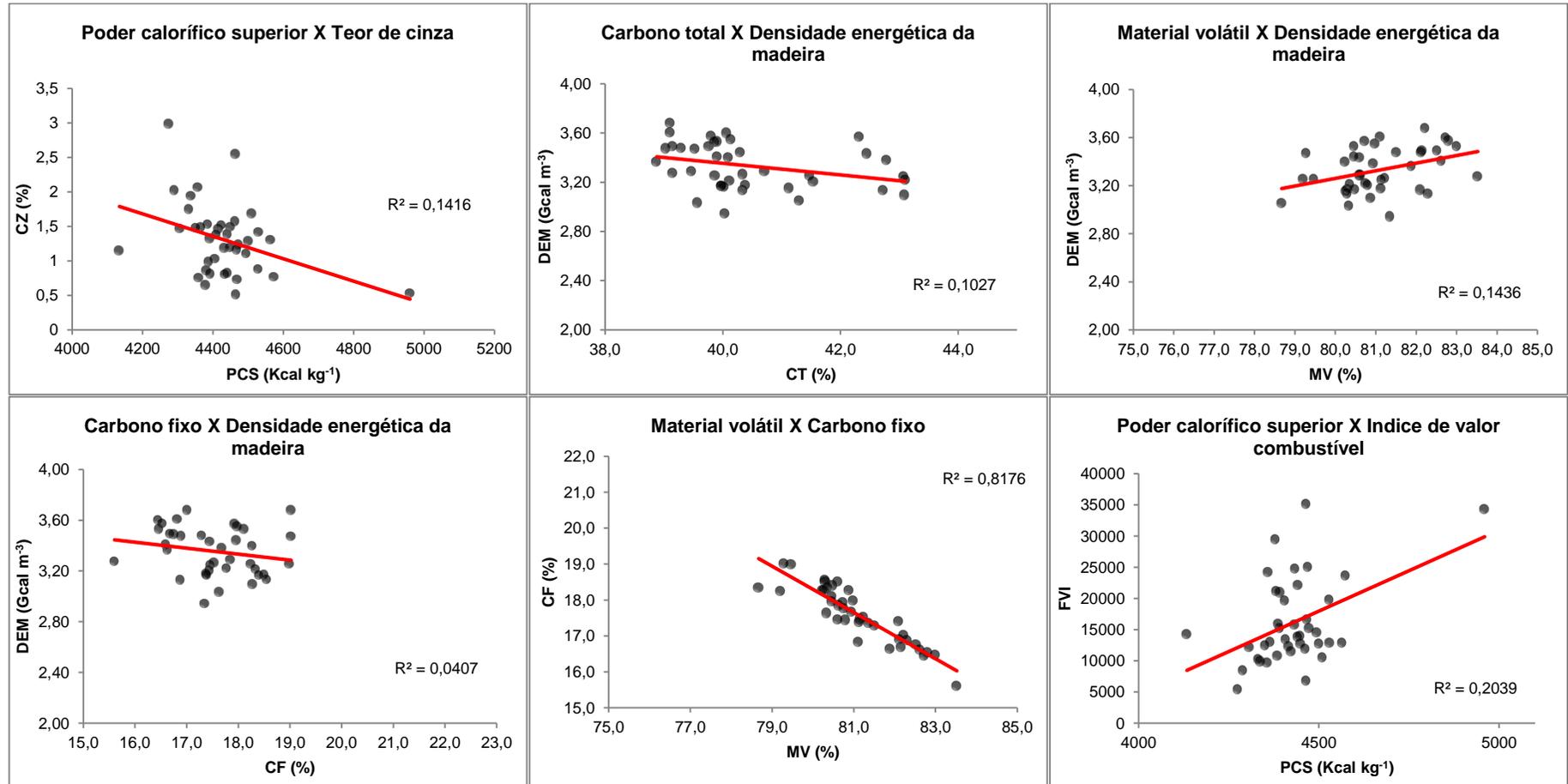


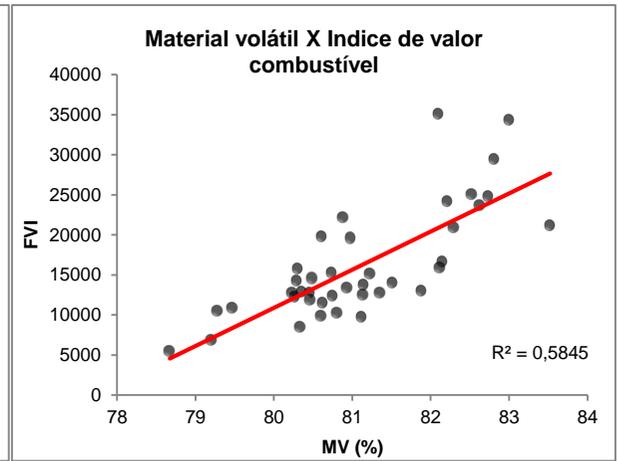
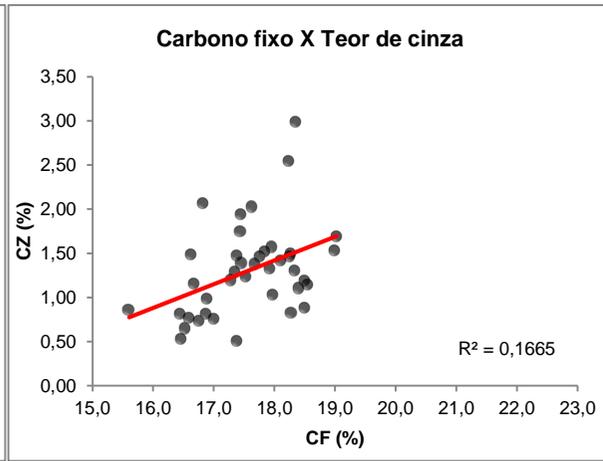
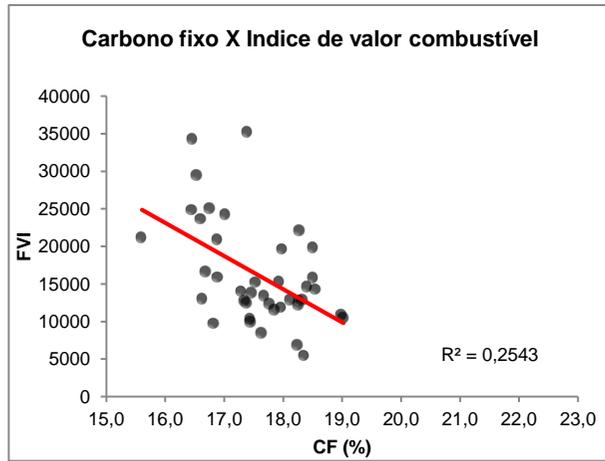


Combretum micranthum

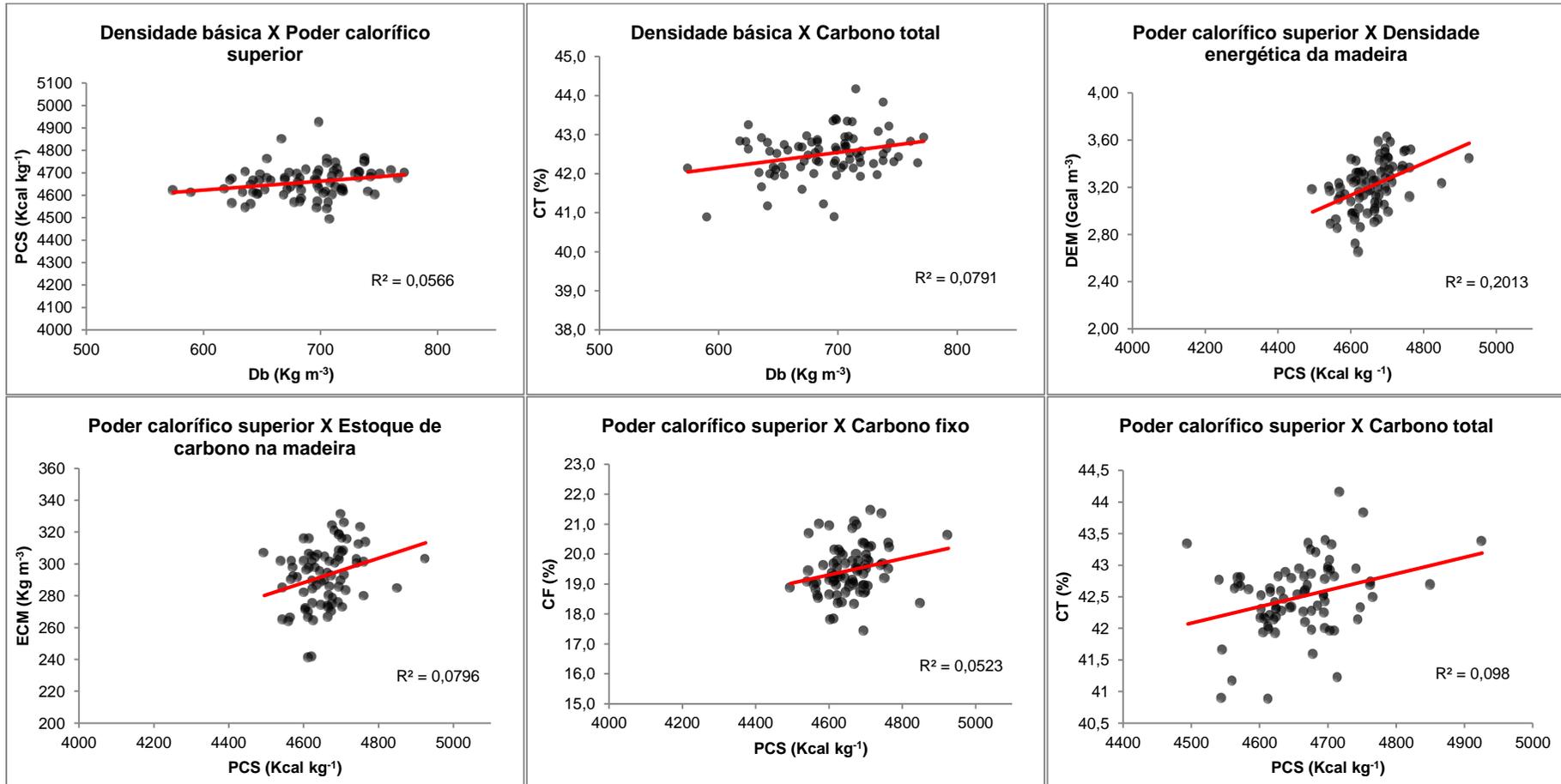


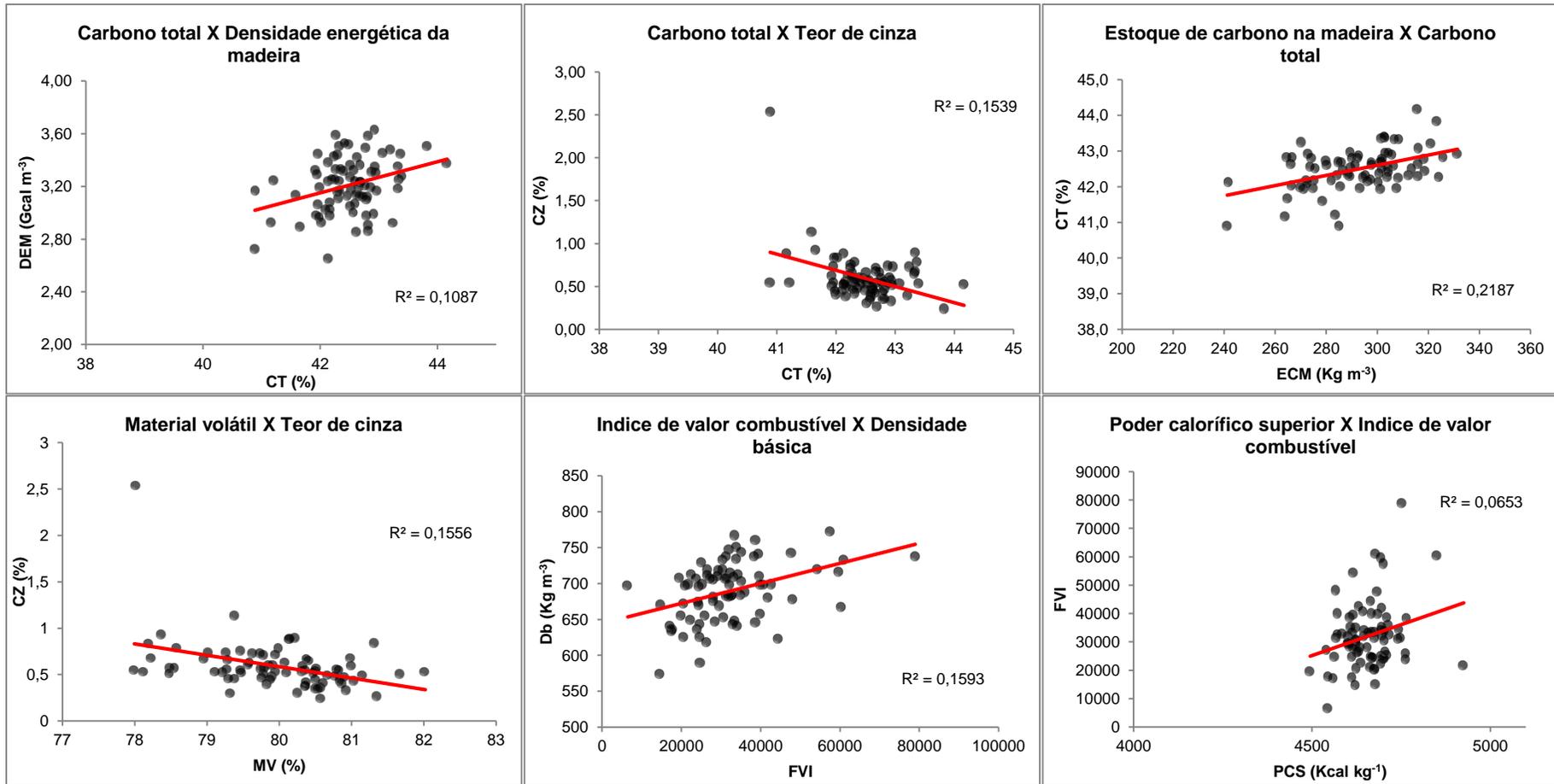
Combretum nigricans

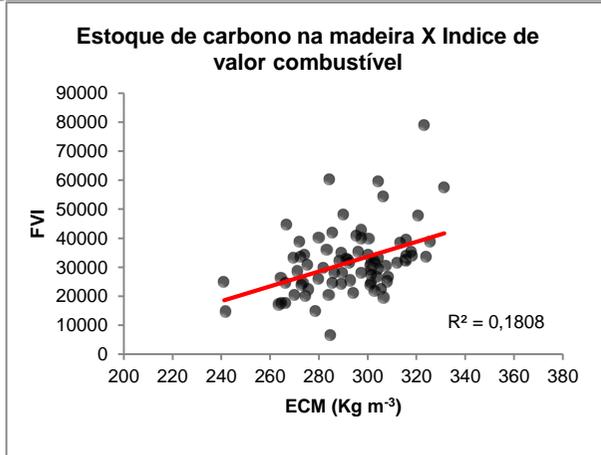
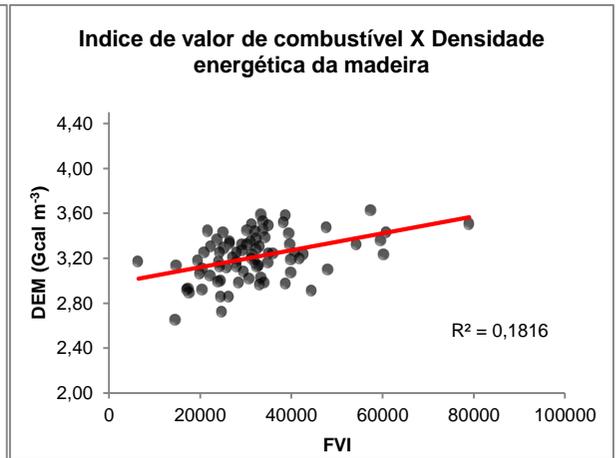
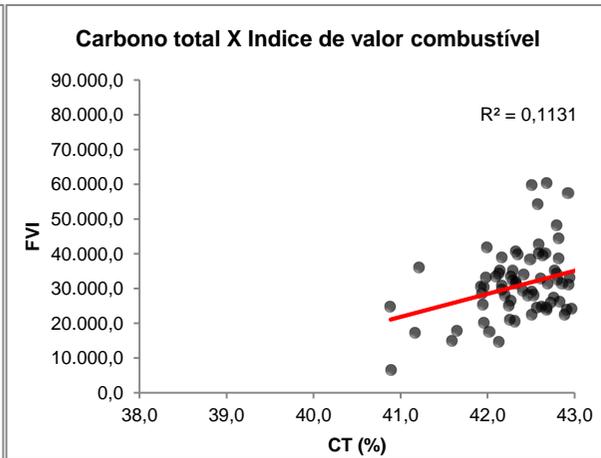
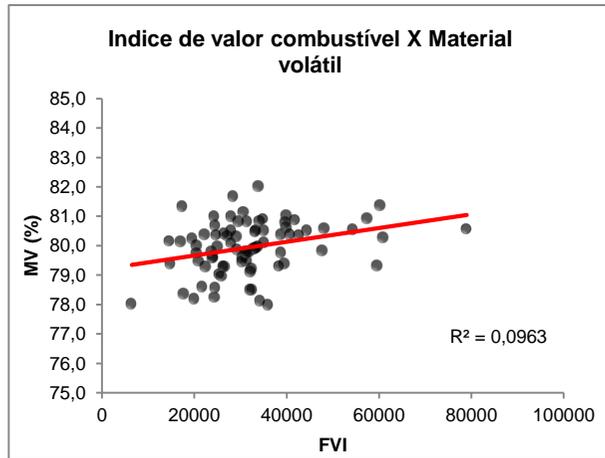




Guiera senegalensis







Piliostigma reticulatum

