



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

DISSERTAÇÃO

**ATRIBUTOS ECOFISIOLOGICOS DE *Erythroxylum paufferense* PLOWMAN
(ERYTHROXYLACEAE)**

ANA JÉSSICA SOARES BARBOSA

**Areia, Paraíba
Fevereiro, 2017**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



ATRIBUTOS ECOFISIOLÓGICOS DE *Erythroxylum pauferrense* PLOWMAN (ERYTHROXYLACEAE)

ANA JÉSSICA SOARES BARBOSA

Sob a Orientação do Professor
Manoel Bandeira de Albuquerque

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - Campus II, Areia - PB, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Areia, PB
Fevereiro de 2017

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

B238a Barbosa, Ana Jéssica Soares.

Atributos ecofisiológicos de *Erythroxylum pauferrense* Plowman (Erythroxylaceae) /
Ana Jéssica Soares Barbosa. - Areia: UFPB/CCA, 2017.
70 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade
Federal da Paraíba, Areia, 2017.

Bibliografia.

Orientador: Manoel Bandeira de Albuquerque.

1. Ecofisiologia – Sazonalidade 2. *Erythroxylum pauferrense* – Atributos
ecofisiológicos 3. Erythroxylaceae – Área foliar I. Albuquerque, Manoel Bandeira de
(Orientador) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 581.5(043.3)

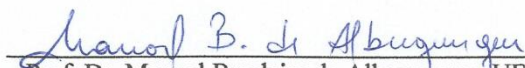
**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

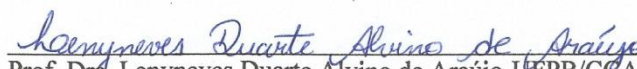
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

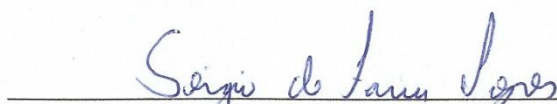
**TÍTULO: ATRIBUTOS ECOFISIOLÓGICOS DE *Erythroxylum paufferense* PLOWMAN
(ERYTHROXYLACEAE)**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título em MESTRE em AGRONOMIA
(Agricultura Tropical) pela comissão examinadora:

Aprovado em: 24 de Fevereiro de 2017


Prof. Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque-UEPB/CCA
(Orientador-Presidente)


Prof. Dr. Lenyneves Duarte Alvino de Araújo-UEPB/CCA
(Examinadora)


Prof. Dr. Sérgio de Faria Lopes-UEPB/PPGEC
(Examinador)

Areia, PB
Fevereiro de 2017

Aos meus amados pais;
Jacinto Avelino Barbosa e Maria Izeuma Soares Barbosa;
Aos meus irmãos; Miguel Avelino Barbosa Neto e Geraldo Soares do
Nascimento Neto;
Aos meus avós; Miguel Avelino Barbosa e Maria de Lourdes Bezerra
(In memorian) Geraldo Soares do Nascimento e Luzia dos Santos
Soares (In memorian);
Ao meu grande amor; José Nailson Barros Santos.

Dedico!

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, pela proteção e bênçãos que tem me proporcionado. Por velejar meu barco, quando minhas forças já não eram suficientes para continuar.

À Universidade Federal da Paraíba *campus* de Areia-PB junto com o programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de cursar um dos cursos de pós-graduação.

Aos professores do departamento de Fitotecnia e Ciências Ambientais, a Coordenadora Dra. Luciana Cordeiro do Nascimento, Dra. Edna Ursulino Alves, Dr. Walter Esfrain Pereira, Dr. Ítalo de Souza Aquino, Dr. Albericio Pereira Andrade e Dr. Jacob Silva Souto, que se dedicam com amor a profissão e por cumprirem esse grandioso e desafiador papel de lecionar. Em especial, o meu orientador, o professor Dr. Manoel Bandeira de Albuquerque, o qual admiro muito e tenho como exemplo de profissional e amigo, apesar da correria diária, sempre se fez presente. Agradeço imensamente à orientação, a partilha de conhecimentos, as idas a campo e acima de tudo, a paciência. Obrigada por tudo, MESTRE.

Externo total gratidão e votos de estima, a professora Dra. Lenyneves Duarte Alvino de Araújo, uma excelente profissional, a qual tive a honra de conhecer e receber contribuições relevantes, durante a escrita do meu trabalho, tanto quanto no campo pessoal e acadêmico.

Aos meus queridos e amados pais, Jacinto Avelino Barbosa e Maria Izeuma Soares Barbosa, pelo amor, carinho e educação, que apesar das intempéries, estão sempre ao meu lado me apoiando em todas as decisões. Aos meus irmãos Miguel Avelino Barbosa Neto e Geraldo Soares do Nascimento Neto, pela união, e pelos momentos de descontração e alegria.

Aos meus avós, Miguel Avelino Barbosa e Maria de Lourdes Bezerra (*in memorian*) e Geraldo Soares do Nascimento (*in memorian*) e Luzia dos Santos Soares, (*in memorian*) pelos ensinamentos. Ao meu tio Jurandir Avelino Barbosa (*in memorian*), pelos bons momentos juntos, sei que, onde quer que você esteja, estás ao meu lado, me abençoando e torcendo por mim. Aos meus tios e tias, primos e primas que me ajudaram. Em especial ao meu primo Alex da Silva Barbosa pelo incentivo e ajuda desde o início de minha formação acadêmica.

Ao professor Dr. Walter Esfrain Pereira e a professora Dra. Rejane Maria Nunes Mendonça, pela disponibilidade dos equipamentos utilizados, durante o processo de desenvolvimento do presente trabalho.

A secretária Eliane Araújo, pela atenção durante todo esse tempo. Aos meus colegas de turma da Pós-Graduação em Agronomia, Luana Vitória, Amanda Tomaz, Wennia Figueiredo, Assys Mota, Alian Cássio, Núbia Marisa, Antônio Michael, Antônio Missiemário, Aline Batista, Josyellen Tiburtino, Maria Denise, Mileny Souza, Renato Lima, Renata Leandro, Fernando Kildemar,

Sebastião Gilton, Marlene Alexandrina, Sherly Silva, Emanuel da Costa, Janailma Lima, Leandra de Melo, Maria Lúcia, Otávio do Carmo, Arliston Leite, Mário Veras, Patrícia Cândido, Samuel Inocencio, Silvania Alves, Otília Farias, Nelton Almeida, Enoque Medeiros, Rosinaldo de Sousa, Eleide Lima, Claudiene Rafaslki, Claudiana Veras, Gilmar Nunes, Diogenes Costa, Joalisson Gonçalves e Kercio da Silva, pela boa convivência e discussão durante as disciplinas. Aos colegas, Nilton Ramalho, Rodrigo Sousa, Leandro Avelino, Ygor Henrique, Victor Felix, David Duarte pela contribuição e disponibilidade durante os dias de campo.

As meninas da casa do mestrado, Leandra de Melo, Vanessa Gomes, Priscila Nobre, Maria da Glória, Kleitiane Silva, Aparecida Barbosa, Maria de Fátima, Rosana, Priscila Vasconcelos, pelos bons momentos juntas, por me suportarem durante um bom tempo e por termos construído uma bonita amizade. Vocês jamais serão esquecidas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos e o devido apoio concedido para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu amor, José Nailson Barros Santos, agradeço os ensinamentos. Obrigada por me incentivar, me ajudar a caminhar e acima de tudo, por acreditar em mim, quando nem eu mesma acreditava. Faltam-me palavras, para descrever o quanto seu apoio é fortalecedor em minha jornada. Sou grata por tudo, pelo amor, carinho, atenção e pelas broncas vez por outra. Agradeço à Deus, por sua existência em minha vida. Te amo!

A todos que direta e indiretamente contribuíram, lapidaram e conspiraram para a realização deste trabalho. Muito obrigada!

“-Não se desespere e nem pare de sonhar, nunca se entregue, nasça sempre com as manhãs, deixe a luz do céu brilhar na luz do seu olhar. Fé na vida, fé no homem, fé no que virá ...” (Gonzaguinha)

BARBOSA, A. J. S. **ATRIBUTOS ECOFIOLOGICOS DE *Erythroxylum pauferrense* PLOWMN (ERYTHROXYLACEAE)**. Areia, Paraíba, Brasil. 2017.70f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

RESUMO GERAL

Os efeitos da sazonalidade podem propiciar condições peculiares em espécies de sub-bosque, uma vez que estas têm limitações quanto à disponibilidade de luz. Com base nisso, foi realizado um estudo com intuito de verificar e avaliar as trocas gasosas de *Erythroxylum pauferrense*, uma espécie de sub-bosque endêmica localizada restritamente na região nordeste do Brasil. Deste modo este trabalho foi dividido em dois capítulos: I) O primeiro tem por objetivo avaliar as trocas gasosas da espécie *E. pauferrense* frente a variação sazonal (período seco e chuvoso). Onde em um remanescente de Floresta Atlântica, foram selecionados 10 indivíduos da espécie e também foram verificados índices de irradiância, terrores relativos de clorofila, umidade do solo, além de parâmetros fisiológicos como taxas fotossintéticas, carbono interno, transpiração, condutância estomática e temperatura da folha, todos estes atributos foram avaliados nos períodos de chuva e de estiagem. Foi observado que não houve diferença significativa de atributos, no decorrer dos períodos avaliados exceto de condutância estomática, transpiração e temperatura da folha. II) No capítulo seguinte o objetivo do trabalho foi avaliar 12 equações alométricas para estimar a área foliar utilizando-se as medidas do limbo foliar e verificar quais destas seria a melhor para estimar a área foliar da espécie *E. pauferrense*. Para a realização desta pesquisa, foram coletadas 600 folhas e testados doze modelos teóricos utilizando-se combinações entre as variáveis dimensionais de comprimento e largura e os respectivos valores de área foliar. Dentre os modelos que melhor estimaram a área foliar de *Erythroxylum pauferrense* foram as equações do modelo linear e potencia uma vez que, os modelos mostraram normalidade na distribuição dos erros, as duas equações demonstram ser ótimos modelos para a estimativa de área foliar da espécie *Erythroxylum pauferrense*. Portanto, estes estudos forneceram informações importantes no que se refere aos mecanismos fisiológicos e contribui para estudos promissores da espécie além de trazer subsídios para o conhecimento da espécie em nível de local, podendo assim, contribuir para utilização de recuperação de áreas degradadas e para o acréscimo de diversidade florística.

Palavras chave: *Erythroxylum pauferrense*, Brejos de Altitude, Alometria, sub-bosque

BARBOSA, A. J. S. **ECO-PHYSIOLOGICAL ATTRIBUTES OF *Erythroxylum pauferrense* PLOWMAN (ERYTHROXYLACEAE)**. Areia, Paraíba, Brazil. 2017.70f. Dissertation (Master in Agronomy). Center of Agrarian Sciences of the Federal University of Paraíba, Brazil.

GENERAL ABSTRACT

The effects of seasonality may provide peculiar conditions in sub-forest species, since these have limitations on the availability of light. Based on this, a study was carried out to verify and evaluate the gas exchange of *Erythroxylum pauferrense*, a species of endemic sub-forest located in the northeastern region of Brazil. This work was divided in two chapters: I) The first one has the objective of evaluating the gas exchange of the species *E. pauferrense* in relation to the seasonal variation (dry and rainy period). In a remnant of the Atlantic Forest, 10 individuals of the species were selected. Irradiance, relative chlorophyll contents, soil moisture, and physiological parameters such as photosynthetic rates, internal carbon, transpiration, stomatal conductance and leaf temperature were also verified. All these attributes were evaluated in rainy and dry periods. It was observed that there was no significant difference in attributes during the periods evaluated except for stomatal conductance, transpiration and leaf temperature. II) In the following chapter the objective of this work was to evaluate 12 allometric equations to estimate the leaf area using the leaf blade measures and to verify which of these would be the best to estimate the leaf area of the *E. pauferrense* species. In order to perform this research, 600 leaves were collected and twelve theoretical models were tested using combinations of length and width dimension variables and respective leaf area values. Among the models that best estimate the leaf area of *Erythroxylum pauferrense* were the equations of the linear model and power since, the models showed normality in the distribution of the errors, the two equations prove to be good models for the estimation of leaf area of the species *Erythroxylum pauferrense*. Therefore, these studies provided important information regarding the physiological mechanisms and contributed to promising studies of the species, besides providing subsidies for the knowledge of the species at the local level, and could thus contribute to the use of degraded areas recovery and to the increase of floristic diversity.

Key words: *Erythroxylum pauferrense*, Altitude heath, allometry, understory

Sumário

RESUMO GERAL.....	9
GENERAL ABSTRACT	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Floresta Atlântica	15
2.2 Floresta Atlântica do Nordeste	16
2.3 Florestas de Brejos de Altitude	17
2.4 <i>Erythroxylum paufferense</i> Plowman.....	19
2.5 Atributos ecofisiológicos.....	20
2.6 Condutância estomática.....	20
2.7 Trocas gasosas.....	21
2.8 Carbono interno.....	21
2.9 Transpiração	22
2.10 Área foliar.....	22
REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO I:.....	33
ATRIBUTOS ECOFISIOLOGICOS DE <i>Erythroxylum paufferense</i> PLOWMAN: RESPOSTAS DAS TAXAS FOTOSSINTÉTICAS A VARIAÇÃO SAZONAL.....	33
RESUMO	33
ABSTRACT	34
1 INTRODUÇÃO	35
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	37
2.1 Caracterização da Área de Estudo.....	37
2.3 Coleta dos dados climáticos	38
2.4 Trocas gasosas das folhas.....	39
2.5 Irradiância.....	39
2.6 Teor relativo de clorofila.....	39
2.7 Coleta e análise de solos.....	39
2.8 Análise estatística	40

3.1 Condições ambientais.....	41
3.2 Parâmetros ecofisiológicos.....	41
4 DISCUSSÃO.....	45
5 CONCLUSÃO	Erro! Indicador não definido.
REFERÊNCIAS	48
CAPITULO II:	51
EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA A ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DO <i>Erythroxylum pauferrense</i> PLOWMAN (ERYTHROXYLACEAE)	51
RESUMO	51
ABSTRACT.....	53
1 INTRODUÇÃO.....	53
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1 Caracterização da área.....	56
2.2 Espécie estudada.....	56
2.3 Coleta de dados	56
2.4 Modelos teóricos	57
2.5 Análise estatística	58
2.6 Análise Estatística dos desvios.....	58
3. RESULTADOS.....	58
3.1 Características foliares	58
4 DISCUSSÃO.....	62
5 CONCLUSÃO	63
REFERÊNCIAS	63
CONCLUSÕES GERAIS.....	66

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os estudos ecofisiológicos no âmbito de espécies lenhosas têm sido amplamente discutidos no intuito de descrever e compreender as respostas ecofisiológicas das plantas sobre diferentes tipos de ambiente (Doughty et al., 2008; Sendall et al., 2009; Trovão et al., 2007; Mendes et al., 2010; Marengo et al., 2014). As plantas que estão expostas a oscilações de temperatura e períodos de seca podem sofrer alterações nas taxas fotossintéticas. Embora estas variações possam ocorrer em curto prazo, elas podem alterar significativamente o comportamento fisiológico das plantas. De modo geral, as taxas de fotossíntese aumentam consideravelmente durante a estação chuvosa, embora um aumento da nebulosidade possa limitar a disponibilidade de luz, porque as plantas estão expostas a altos níveis de água no solo, enquanto que, a diminuição da disponibilidade hídrica durante a estação seca, reduz o potencial de água na folha e pode alterar consideravelmente suas características fotossintéticas (Sendall et al., 2009; Smith; Duques, 2012; Kamakura et al., 2015).

Neste contexto, não é plausível que os efeitos da sazonalidade sejam similares para as folhas de espécies de dossel e de sub-bosque, devido às particularidades das condições microclimáticas (Sendall et al., 2009). A vegetação de subbosque destaca-se por apresentar espécies de pequeno porte que durante seu ciclo de vida não alcançam o dossel. Estas espécies são limitadas as condições de luminosidade por estarem localizadas no interior das florestas (Gomes et al., 2009). Em contrapartida, árvores de dossel tem mais exposição a temperaturas elevadas diferentemente de árvores de sub-bosque fato que pode influenciar as trocas gasosas (Chaves et al., 1992; Cabral et al., 1996). As folhas de dossel podem ter maior concentração de nitrogênio na parte superior dos tecidos foliares, o que proporciona taxas mais elevadas de fotossíntese, com um custo respiratório mais alto, além de terem raízes mais profundas e assim manter altas taxas fotossintéticas (Boardman, 1977; Nepstad et al., 1994; Sendall et al., 2009).

Estudos têm apontado que a redução na disponibilidade de água impõe perdas na produtividade das plantas, indicando redução nas trocas gasosas (Araújo et al., 2002; Ometto et al., 2002; Phillips et al., 2009; Domingues et al., 2013). Por outro lado, para algumas espécies, estudos tem sugerido que as épocas de seca, não alteram as características fisiológicas das plantas, pois a demanda da matéria orgânica nas florestas pode contribuir na manutenção ecossistêmica das espécies (Saleska et al., 2003; Goulden et al., 2004).

A área foliar (AF) também é um fator de grande importância no contexto ecofisiológico, esta variável é vista como excelente para o entendimento das respostas as plantas em suas condições

ambientais, além de ser crucial em estudos que envolvam a eficiência fotossintética e o desenvolvimento vegetal (Santos, 2016).

Nestes estudos a AF está estritamente relacionada ao crescimento das plantas, além de ser um importante fator indicativo das trocas gasosas, uma vez que a fotossíntese realizada pelas plantas depende da interceptação da energia luminosa pelo dossel e da sua conversão em energia química (Larcher, 2006). A eficiência do processo fotossintético depende da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais são influenciadas pela arquitetura do dossel e pela dimensão do sistema fotoassimilador (Larcher, 2006). Por isso, há necessidade do desenvolvimento de ferramentas que melhorem a obtenção desta variável, principalmente àquelas que permitem a avaliação das plantas de forma não-destrutível como as equações alométricas (Santos, 2016).

No entanto, ainda não está muito claro, sobre como as taxas fotossintéticas podem ser afetadas pela sazonalidade, em espécies na condição de sub-bosque. Compreender estes processos é de suma importância para avaliar os mecanismos de adaptação, interação entre planta-ambiente, além de contribuir para o entendimento da complexidade dos ecossistemas.

Para esclarecer tais questionamentos, utilizou-se como modelo a espécie *Erythroxylum pauferrense* Plowman, uma espécie de arvoreta endêmica da região Nordeste do Brasil de ocorrência em florestas de Brejos de Altitude (floresta tropical úmida), muito estudada no âmbito fitogeográfico (Plowman, 1986; Cordeiro, 2013; Brasil, 2016). Espécie muito evidenciada no contexto de gênero e família, e ainda pouco estudada em seu contexto botânico, sua família relativamente bem representada para aplicações farmacológicas e na medicina popular (Barbosa et al., 2014).

Sabe-se que estudos *in loco* sobre a ecofisiologia da espécie *Erythroxylum pauferrense* ainda são inexistentes em seu habitat de origem, principalmente no que tange o nível de endemismo específico da espécie. Estas informações ressaltam a importância básica para a construção de modelos que preveem a relação entre espécies vegetais e seu ambiente, bem como entender as estratégias de sobrevivência dela em função de mudanças climáticas. Os aspectos levantados acima serão abordados em dois capítulos, sendo: (i) na busca de respostas à questões de como os atributos ecofisiológicos da espécie (*E. pauferrense*) responde às variações ambientais impostas pela condição sazonal da vegetação no sub-bosque numa floresta tropical úmida. Os principais questionamentos deste capítulo estão preocupadas em investigar as possíveis variações nas respostas dos atributos ecofisiológicos nos períodos, chuvoso e seco. Para tanto, serão determinados o efeito da fração do céu visível, teor relativo de clorofila e umidade do solo em indivíduos adultos da espécie num remanescente de floresta tropical úmida; (ii) este capítulo refere-se ao desenvolvimento de equações alométricas para estimativa de área foliar (AF), utilizando-se medidas lineares do limbo foliar em

folhas da espécie (*E. pauferrense*), bem como selecionar o modelo mais preciso e acurado no intuito de que estes modelos subsidiem pesquisas futuras de âmbito ecofisiológico para a espécie.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Floresta Atlântica

A Floresta Atlântica é conhecida em todo mundo como uma das regiões mais ricas em espécies. É distribuída ao longo de 17 estados das regiões sul, sudeste, centro-oeste e nordeste e também em parte do Paraguai e Argentina (Tabarelli et al., 2010; Costa, 2012). Este domínio estende-se do Rio Grande do Norte ao Rio Grande do Sul e possuía cerca de 1,3 milhão de km². Entretanto, um estudo mais preciso aponta que a Floresta Atlântica está representada por de cerca de 11% de sua área original (Ribeiro et al., 2009). Caracterizada por abrigar uma biota diversificada, de espécies de plantas por unidade de área maior que a da maioria das florestas da Amazônia, decorrentes de seus níveis excepcionais de endemismo (JOLY et al., 2014). Muitas espécies ocorrem de forma agrupada em sub-regiões biogeográficas distintas. Cinco dessas sub-regiões são amplamente reconhecidos como centros de endemismo de espécies: Brejos Nordestinos, Pernambuco, Bahia, Diamantina e Serra do Mar. Esses cinco centros de endemismo representam apenas 25,6% (397,754 km²) da extensão histórica da Floresta Atlântica (Tabarelli et al., 2010).

Diante da riqueza da fauna e da flora é composta por uma série de fitofisionomias bastante diversificadas, determinadas, principalmente, pela proximidade da costa, pelo relevo, classes de solos e regimes pluviométricos, sendo essas características, as principais responsáveis pela evolução de um rico e complexo biótico (Cruz; Vicens, 2008). Apesar das constantes ameaças a esse patrimônio, a Floresta Atlântica é considerada uma das prioridades mundiais para a conservação, sendo classificada como um dos 34 *hotspot* de biodiversidade do mundo (Costa, 2012; Joly et al., 2014). No entanto, o alto grau de endemismo é resultante, em sua maior parte da extensão latitudinal e de sua grande variação de altitude, do nível do mar até 2.700 metros de altitude (Pinto; Brito 2005), porém, possui um elevado grau de degradação (Costa, 2012).

Desde que os colonizadores europeus desembarcaram na costa brasileira há 500 anos, a Floresta Atlântica brasileira foi exposta a altos níveis de desmatamento e fragmentação, cujo resultado final observa-se nas paisagens hoje fortemente dominadas pelo homem (Pinto et al., 2005; Joly et al., 2014). Apesar de fragmentada, a Floresta Atlântica ainda detém uma das maiores diversidades biológica do planeta (Silva-Júnior et al., 2008). Abriga cerca de 20.000 espécies, sendo 8.000 endêmicas, 181 espécies de aves, 73 espécies de mamíferos, 60 espécies de reptéis e 253 espécies de anfíbios (Myers et al., 2000). No entanto, a urbanização, a industrialização e a expansão

da agricultura denotaram a perda de habitats naturais (Scarano et al., 2015). De um modo geral, as ações humanas, que vão desde a exploração madeireira seletiva e a caça furtiva, fragmentação das florestas nativas até à agricultura, combinada com ameaças emergentes, mudanças climáticas globais como resultado das emissões de CO₂ e consumo de combustível e mudanças regionais na precipitação, há uma perda alarmante de biodiversidade, produzindo rápidas mudanças na frequência e abundância de espécies em grupos ecológicos específicos. Essas mudanças geram consequências na estrutura das comunidades biológicas e manutenção dos ecossistemas (Pinto; Brito, 2005; Ribeiro et al., 2009; Joly et al., 2014).

2.2 Floresta Atlântica do Nordeste

A Floresta Atlântica do Nordeste estende-se pela costa dos estados da Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte, com inclusões para o interior destes estados, e no Ceará e Piauí, como nos Brejos de Altitude, localizados na face leste do planalto da Borborema. Do ponto de vista fitofisionômico, a Floresta Atlântica do Nordeste abriga formações pioneiras, porções de floresta ombrófila densa e aberta, floresta estacional semidecidual (Campanili et al., 2006; Costa et al., 2012). Suas características vegetacionais distintas proporcionam uma diversidade de ambientes para as mais variadas espécies. Dos cinco centros de endemismos que ocorrem no bioma quatro deles situam-se ao nordeste, localizados no norte do Rio São Francisco, o Centro de Endemismo de Pernambuco e os Brejos Nordestinos (Tabarelli et al., 2006). A importância ecológica e o alto grau de ameaça presentes na Floresta Atlântica do Nordeste fazem com que essa porção de floresta brasileira seja considerada uma das regiões do planeta onde os esforços de conservação são mais urgentes. Por ser considerada a porção da Floresta Atlântica brasileira mais degradada. Algumas dessas áreas apresentam redução de até 50% da riqueza de espécies de plantas (Tabarelli et al., 2005; Costa, 2012). A exploração desenfreada dos recursos naturais principalmente os madeireiros desencadearam perdas significativas. Parte deste cenário deve-se ao quadro socioeconômico que favoreceu a entrada de investimentos privados na região. Isso resultou também de políticas regionais para a atração de novas indústrias de setores diversificados como: turismo, petroquímico, comércio de bens de consumo, construção civil e agroindústria de fruticultura entre outros (Barreto, 2013). A eliminação de florestas nordestinas proporcionou os efeitos danosos de condições climáticas potencialmente perigosas ficando o nordeste cada vez mais privado dos ecossistemas florestais protetores que ali se adaptaram durante milhões de anos a uma faixa de condições ecológicas favoráveis (Regô et al., 2001). Diante do exposto, dados revelam que dentre os estados do Nordeste, a situação da conservação da Floresta Atlântica na Paraíba é grave (Mma, 2007) A expansão

agropecuária, em particular da lavoura da cana-de-açúcar praticamente devastou todo esse ecossistema, restando apenas pequenos fragmentos em propriedades particulares e alguns remanescentes protegidos pelo poder público (Barbosa et al., 2004).

A Floresta Atlântica do Nordeste abriga dezenas de espécies oficialmente ameaçadas de extinção. A situação é ainda mais complexa pelo nível de fragmentação da floresta remanescente, distribuídas em pequenas ilhas, em geral, menores que 50 hectares (Campanili et al., 2006; Costa, 2012). Dessa forma, as paisagens naturais são convertidas em paisagens modificadas pelo homem. Comparações realizadas quanto a flora na Floresta Atlântica do Nordeste do Brasil com base em registros de plantas antes e depois de 1980 revelaram um aumento de quase 20% na similaridade de espécies entre comunidades (Joly et al., 2014). Assim, com a modificação do uso do solo, os ambientes naturais disponíveis para as espécies ficam menores a cada dia, e a maior parte deles, encontram-se isolada, sem conexão ecológica, devido ao processo de fragmentação florestal. Dessa forma, comprometendo a prestação de serviços ambientais como a polinização, dispersão de sementes fertilização do solo e outros (Tabarelli, 2005; Costa, 2012).

2.3 Florestas de Brejos de Altitude

Os Brejos de Altitude são encaves da Floresta Atlântica na região semiárida do Nordeste do Brasil, são áreas mais úmidas que o semiárido que os rodeia devido o efeito orográfico que propicia maiores precipitações e a redução da temperatura. As florestas serranas ali existentes são consideradas disjunções da floresta atlântica, ilhadas pela vegetação de caatinga. Estas particularidades fitogeográficas tornam estes remanescentes áreas de elevada biodiversidade (Barbosa et al., 2004). Considerada como refúgio ou relíquia vegetacional, por apresentar peculiaridades florísticas, fisionômicas e ecológicas, dissonantes do contexto em que está inserido, há fragmentos de floresta tropical úmida de diferentes tamanhos, formas e graus de isolamentos, similares a floresta atlântica do litoral (Velooso et al., 1991; Cavalcante, 2005). Entretanto, os estados que compõem maior números de brejos de altitude são Pernambuco e Paraíba que possuem 31 brejos, em 28 municípios distribuídos do agreste ao sertão. Assim, pelo menos 1/4 da área de distribuição original da Floresta Atlântica nordestina é representada pelos brejos de altitude (Vasconcelos, 1971).

Sobre a origem vegetacional dos brejos de altitude, a hipótese mais aceita segundo Andrade e Lima (1982) está associada às mudanças climáticas ocorridas durante o Pleistoceno (últimos 2 milhões - 10.000 anos), que permitiram que a floresta Atlântica se instaurasse nos domínios da caatinga. No Pleistoceno, o processo gradual de resfriamento e estiagem que o planeta já vinha

enfrentando exacerbou-se. Nessa época, a terra experimentou pelo menos cinco glaciações, e cada uma delas deu sua contribuição às mudanças. No entanto, acredita-se que o que mais ocasionou transformações nos paleoambientes brasileiros e sobretudo, na “paleovegetação” do Nordeste, foi o último desses eventos, a glaciação Würm, que durou aproximados 70 mil anos e cuja culminância ocorreu entre 25 e 17 mil anos atrás. Estima-se que o nível do mar tenha descido 140 m abaixo do atual, produto do aprisionamento da água nas geleiras do Hemisfério Norte (Andrade-Lima, 1982; Cavalcante, 2005). Anos seguintes, está hipótese foi reforçada por Santos (2002), ao analisar o padrão de distribuição de plantas lenhosas envolvendo a Amazônia e 12 localidades da Floresta Atlântica (*lato sensu*) nordestina. Este autor encontrou um padrão de distribuição da flora de plantas lenhosas que se enquadra em um modelo de separação sequencial e gradativa de um contínuo preexistente, condição que teria existido durante o processo de retração da floresta úmida. Santos (2002) definiu relações históricas que, além de dividir o Centro de Endemismo Pernambuco em dois setores (i.e., floresta Atlântica de terras baixas e a floresta Atlântica de terras altas), definiu dois grandes blocos de brejos. Segundo este autor, os dois grandes blocos de brejos se separaram nos limites de Brejo da Madre de Deus e Pesqueira, logo no início do processo de retração da Floresta Atlântica.

Por apresentar condições climáticas bastante favoráveis a agricultura, os brejos de altitude, tem sido considerada áreas prioritárias de ocupação e desenvolvimento de atividades de pecuaristas. Nos Brejos de Altitude, a cobertura florestal nativa foi igualmente substituída pela agricultura e pela pecuária, o que foi agravado, neste caso, pela maior concentração populacional historicamente constatada. Esta realidade aumenta a pressão antrópica sobre os remanescentes florestais, gerando um grave problema, com consequências ambientais, econômicas e sociais (Barbosa et al., 2004).

Os brejos de altitude são considerados os lugares de maior riqueza de vida selvagem do Nordeste semiárido. Por apresentar um ambiente físico significativamente heterogêneo (locais secos, úmidos, planos, acidentados, altos, baixos, açoitados pelo vento, protegidos do vento, quentes, frios, ensolarados e sombreados), evoluindo uma comunidade bastante diversificada de plantas e animais (Cavalcante, 2005). São os setores mais ameaçados da Floresta Atlântica brasileira, embora não seja possível estabelecer o quanto este valor representa em termos da área ocupada pela vegetação original, para a qual não há estimativas. Perda de hábitat, fragmentação, caça, coleta seletiva de plantas e animais e, conseqüentemente, extinção de espécies (perda de diversidade biológica). Há décadas, todas essas ações, em épocas distintas, vêm destruindo habitats, introduzindo espécies exóticas, extraindo recursos biológicos excessivamente, poluindo e fragmentando a paisagem original, de forma a causar danos graves à biodiversidade nativa (Cavalcante, 2005). Do ponto de vista da conservação da biodiversidade os Brejos de Altitude ainda constituem formações florestais de pouco conhecimento. Este é o cenário atual nos brejos de altitude no Nordeste do Brasil, os quais

poderão desaparecer completamente nesta década, se uma política de conservação não for implementada (Tabarelli; Santos, 2004).

2.4 *Erythroxylum pauferrense* Plowman

A família Erythroxylaceae, abrange quatro gêneros e cerca de 250 espécies com distribuição pantropical, seu principal centro de diversidade é a América do Sul (Daly, 2004; Sousa; Lorenzi, 2012). Os gêneros *Aneulophus* Benth., *Nectaropetalum* Engl. e *Pinacopodium* Exell., são representados um pequeno número de espécies e com distribuição exclusiva na África (Plowman; Berry, 1999). São espécies de porte arbustivo-arbóreos ou raramente subarbustivos, possuindo ampla versatilidade ecológica, com espécies encontradas em ambientes úmidos como a Floresta Amazônica, Floresta Atlântica e nas regiões semiáridas (Caatinga, Campos Rupestres, Florestas Serranas e Florestas Estacionais), ocorrendo em diferentes níveis de elevações, desde o nível do mar até habitats montanhosos (Daly, 2004; Loiola, 2007).

No Brasil são encontradas aproximadamente 114 espécies das 187 registradas para a América tropical (Plowman, 2004). Sendo o Brasil, um dos principais pontos de diversidade de *Erythroxylum*. Foram registradas 13 espécies no Nordeste brasileiro (Albuquerque et al., 2014). No estado da Paraíba, destaca-se a espécie *Erythroxylum pauferrense* com ocorrência confirmada no estado, especialmente no município de Areia em áreas de Brejos de Altitude com elevações de 500 a 600 m de altitude, geralmente encontrada no sub-bosque da floresta. A espécie apresenta características de arvoreta portando 1,5 a 4 m de altura. É uma planta endêmica da região nordeste do Brasil, considerada como rara e com risco de extinção (Loiola, 2007). A espécie é relativamente estudada no contexto fitossociológico, botânico e fenológico (Loiola, 2007; Plowman, 1986; Cordeiro, 2013; Brasil, 2016). No entanto, estudos direcionados à ecofisiologia da espécie ainda são bastante limitados, dispondo-se de pouco conhecimento, especialmente em níveis mais específicos como o comportamento das taxas fotossintéticas. Essas informações são promissoras nos subsídios de respostas sobre o desempenho das plantas mediante diferentes condições de habitats naturais onde estão inseridas. No que tange o estabelecimento de práticas de manejo como a recomposição de áreas degradadas, produção de mudas estas informações assumem importância unidirecional para a conservação destas áreas, uma vez que, pesquisas voltadas para o âmbito ecofisiológico, envolvem apenas espécies exóticas e agricultáveis em detrimento de espécies nativas.

2.5 Atributos ecofisiológicos

Atributos ecofisiológicos são características mensuráveis, em nível celular ou de organismo, que podem ou não afetar a capacidade e eficiência biológica das plantas. Estas características correspondem a distinções dos vegetais em resposta as condições ambientais as quais estão inseridas (Ackerly et al., 2003; Violle et al., 2007; Garnier et al., 2004). Visto que, as plantas estão sujeitas a variação nas taxas de crescimento, produtividade e dinâmica no ecossistema (Ackerly et al., 2003).

Os recursos necessários para o crescimento e acúmulo de biomassa das plantas são a luminosidade, temperatura e recursos hídricos, atuando em diversos processos fisiológicos das plantas, e são mecanismos fundamentais para a manutenção dos vegetais. Mas, a intensificação da temperatura pode afetar significativamente os processos de fotossíntese e assim, resultar em alterações nas atividades enzimáticas (Smith; Duques, 2012). As mudanças no regime de chuvas provavelmente acompanhadas de modificações da temperatura contribuem para as mudanças no comportamento fotossintético das plantas (Rodrigues, 2013). Porém, apesar das condições ambientais adversas, as plantas se moldam em resposta a seu ambiente físico, devido a sua capacidade plástica, que tende a favorecer estratégias de sobrevivência.

2.6 Condutância estomática

Os estômatos são formados por duas células guarda que funcionam como válvulas hidráulicas multissensoriais. Fatores ambientais, tais como, intensidade e qualidade de luz, temperatura, umidade relativa e concentração intercelular de CO₂ são percebidos pelas células guarda (Taiz; Zeiger, 2013). O movimento estomático é o principal mecanismo que controla as trocas gasosas das plantas, respondendo de forma rápida aos estímulos do meio além de controlar as interações entre planta e ambiente (Assmann, 1999).

A abertura e fechamento dos estômatos estão relacionados principalmente com a intensidade de luz e o estado de hidratação da folha. A abertura estomática ocorre de forma lenta, já seu fechamento de maneira rápida, em resposta às oscilações ambientais. Altas taxas de radiação solar e altas temperaturas podem levar ao fechamento dos estômatos. Baixas concentrações de CO₂ na câmara subestomática da folha provocam a abertura dos estômatos, paralelamente o seu fechamento é estimulado por alta concentração de CO₂. (Costa; Marengo, 2014). Isto porque, se a planta perde água a uma taxa superior à sua capacidade de absorção e transporte o potencial hídrico da folha diminui, o que leva o fechamento dos estômatos e a redução da fotossíntese. Nos horários mais quentes do dia, por exemplo, a condutância estomática diminui a ponto de evitar que o potencial

hídrico da folha desça abaixo de níveis considerados críticos para a estabilidade do sistema de transporte de água. Já em situação de baixa disponibilidade de água no solo, as plantas reduzem a perda de água ao reduzir a condutância estomática, podendo influenciar na manutenção das espécies (Costa; Marengo, 2014).

2.7 Trocas gasosas

A fotossíntese é o mecanismo pelo qual plantas e algumas bactérias sintetizam compostos orgânicos utilizando a luz como fonte de energia. A energia fixada via fotossíntese é armazenada em compostos orgânicos os quais são utilizados no metabolismo celular da planta. A exceção da energia fixada por microrganismos quimiossintetizadores, a energia fixada pelas plantas durante a fotossíntese constitui a base da cadeia alimentar do planeta (Marengo et al., 2014).

Fatores internos e externos têm influência na capacidade fotossintética da planta. Os fatores externos incluem disponibilidade de água e nutrientes, temperatura, irradiância e concentração de CO₂. Já os fatores internos incluem fatores genéticos propriamente ditos, espessura da lâmina foliar e teor de clorofila (Marengo et al., 2014). Os organismos fotossintéticos captam e utilizam a energia solar para oxidar a água (H₂O), liberar o oxigênio (O₂) e reduzir o nível de gás carbônico (CO₂) com intuito de produzir compostos orgânicos (açúcares). A energia estocada nas moléculas orgânicas é empregada nos processos celulares da planta e serve como fonte de energia. A luz solar, água e gás carbônico se constitui como fatores necessários para a realização da fotossíntese (Taiz; Zeiger, 2013).

2.8 Carbono interno

O desenvolvimento das plantas é medido pelo acúmulo de biomassa, que resulta dos ganhos de carbono, através da fotossíntese. A luminosidade absorvida pelas folhas é usada para desenvolver gradientes de energia livre que são acoplados a numerosos processos como a fixação de CO₂ e outras rotas metabólicas dependentes de luz. Porém, as árvores perdem água para a atmosfera quando os estômatos se abrem para fixar dióxido de carbono (CO₂) durante a fotossíntese (Taiz; Zeiger, 2013). Tal redução também é apontada como um fator que pode ocasionar o decréscimo do metabolismo dos vegetais e uma reorganização de seus recursos energéticos voltados para a sobrevivência (Dobrota, 2006; Llusia et al., 2015). Porém, no intuito de maximizar a absorção de CO₂ enquanto limita a perda de água, as plantas desenvolveram adaptações para controlar a diminuição do potencial hídrico das folhas e assim, repor a água perdida para a atmosfera (Taiz; Zeiger, 2013).

2.9 Transpiração

A perda de água pelas plantas na forma de vapor é conhecida como transpiração. Esse processo pode ser considerado dominante na relação água-planta. Quando os estômatos se abrem, para fixação de CO₂, as plantas perdem água para atmosfera. Se a atmosfera é fonte de CO₂ para os vegetais, os períodos de seca podem desidratar as plantas, e na tentativa de limitar a perda de água, elas desenvolvem adaptações para suprir essa demanda (Taiz; Zeiger, 2013).

Os fatores do ambiente não atuam somente de forma direta sobre a perda de água, mas também podem exercer sua ação indiretamente através do efeito controlador sobre o comportamento estomático, como acontece com a luz, a umidade do ar, o vento, as condições hídricas e térmicas do solo (Seixas, 2009). A redução da disponibilidade de água no solo pode afetar o desenvolvimento das plantas, assim, em situação de baixo conteúdo hídrico no solo, as plantas fecham os estômatos para garantir sua sobrevivência, e consequentemente reduzindo as trocas gasosas para realização das atividades fotossintéticas (Taiz; Zeiger, 2013).

2.10 Área foliar

A área foliar das plantas é uma peça chave para o conhecimento de estudos fisiológicos, uma vez que as folhas são órgãos fundamentais e responsáveis pelo funcionamento dos ecossistemas (Witch et al., 2004). Também considerada um excelente indicador para o entendimento das respostas das plantas a fatores ambientais (Santos, 2016).

Para as folhas, a luminosidade é um dos fatores abióticos que mais limitam o desenvolvimento e crescimento. Em condições naturais, como as variações que costumam ocorrer na produção de área foliar em plantas que estejam nas margens de um fragmento florestal (loais de intensa radiação solar) e ambientes mais no interior do fragmento (local com baixa radiação solar) (Brokaw, 1985; Fownes; Harrington, 2004). De acordo com Fahn (1990) as plantas que crescem sob forte radiação desenvolvem folhas espessas e apresentam um metabolismo mais ativo, sendo a área foliar significativamente reduzida, ao mesmo tempo, que, apresentam menor área foliar específica em relação às plantas que se desenvolvem em ambiente sombreado, fato que também é reforçado por Moraes et al. (2013). O conhecimento da área foliar é fundamental, visto ser ele talvez o mais importante parâmetro na avaliação do crescimento vegetal (Bianco et al., 2007).

Os métodos de estimativa da área foliar são classificados em métodos destrutivos e não destrutivos. Os métodos destrutivos demandam certo tempo e provocam a destruição da área foliar,

o que pode impossibilitar o acompanhamento da espécie em casos de experimentos, além de serem utilizados equipamentos de elevado custo. No entanto, os métodos não destrutivos, fazem uso de equações alométricas utilizando a relação entre as dimensões lineares (comprimento e largura) da folha e a respectiva área, destacando-se como alternativa simples, barata e acessível (Bianco et al., 2007 Cardozo et al., 2014; Santos, 2016). As equações alométricas contribuem para a diminuição da dificuldade em mensurar esse atributo, assim permitindo compreender os mecanismos que melhor explicam as respostas ambientais das plantas seu funcionamento fisiológico no ecossistema e seu comportamento frente às mudanças de precipitação (Santos, 2016).

REFERÊNCIAS

- ACKERLY, D. D. Community assembly, niche conservatism, and adaptive evolution in changing environments. **International Journal of Plant Science**, Chicago, v. 164, n. 3, p.165- 184, 2003.
- ACKERLY, D. D.; CORNWELL, W. K. A trait-based approach to community assembly: partitioning of species trait values into within and among community components. **Ecology Letters**, Oxford, v.10, n. 2, p.135-145, 2007.
- ADAMI, M.; HASTENREITER, F. A.; FLUMIGNAN, D. L.; FARIA, T. R. Estimativa de área de folíolos de soja usando imagens digitais e dimensões foliares. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 4, n. 4, p.1053-1058, 2008.
- ALBUQUERQUE, C. H.; TAVARES J. F.; OLIVEIRA, S. L.; SILVA, T. S.; GONÇALVES, G. F.; COSTA, V. C. O.; AGRA, M. F.; PESSÔA, H. L. F.; MARCELO SOBRAL DA SILVA. Flavonoides glicosilados de *Erythroxylum pulchrum* a. st-hil. (Erythroxylaceae). **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 663-666, 2014.
- ANDRADE-LIMA, D. Present day forest refuges in Northeastern Brazilin PRANCE, G.T. (ed.). **Biological Diversification in the Tropics**. New York: Columbia University Press, p. 245-254, 1982.
- ARAÚJO, A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; STEFANI P, D. R.; VONRANDO, W.C.; MANZI, A. O.; CULF, A. D.; GASH, J. H.C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, Oxford, v. 107, n. 20, p, 80-90, 2002.
- ARAÚJO, L. S.; KOMONEN, A.; LOPES, A. C. Influences of landscape structure on diversity of beetles associated with bracket fungi in Brazilian Atlantic Forest. **Biological Conservation-Elsevier**, Oxford, v. 191, n. 1, p. 659-666, 2015.
- AREND, M. Seasonal photosynthetic response of European beech to severe summer drought: Limitation, recovery and post-drought stimulation. **Agricultural and Forest Meteorology-Elsevier**, Oxford, v. 220, n. 1, p. 83-89, 2016.

ASNER, G. P.; NEPSTAD, D.; CARDINOT, R. G.; DROUGHT, D. Stress and carbon uptake in an Amazon forest measured with spaceborne imaging spectroscopy. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Índia, v. 101, n. 16, p. 6039-6044, 2004.

ASNER, G. P.; SCURLOCK, J. M. O.; HICKE, J. A. Global synthesis of leaf area index observations: implications for ecological and remote sensing studies. **Global Ecology and Biogeography Letters**, Oxfor, v. 12, n. 3, p. 191-205, 2003.

ASNER, G. P.; TOWNSEND, A. R.; BRASWELL, B. H. Satellite observation of El Niño effects on Amazon forest phenology and productivity. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 7, p. 981-984, 2000.

ASSMANN, S. M. The cellular basis of guard cell sensing of rising CO₂. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 22, n. 6, p.629-637, 1999.

AZEVEDO, R. F. C. **Mudanças fisiológicas associadas à pré-aclimatação em quatro espécies florestais da Amazônia**. Manaus. 2013,144f. (Tese Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

BARALOTO, C.; TIMOTHY, C. E.; POORTER, P. L.; BEAUCHENE, J.; BONAL, D.; DOMENACH, A. M.; HERAULT, B.; PATIN, S. O.; ROGGY, J. C.; CHAVE, J. Decoupled leaf and stem economics in rain forest trees. **Ecology Letters**, Oxford, v. 13, n. 11, p. 1339-1347, 2010.

BARBOSA, C. C.; SILVA, F. D.; SANTOS, A. M.; VAZ, M. R. F.; NÓBREGA, F. F. F. Aspectos gerais e propriedades farmacológicas do gênero *Erythroxylum*. **Revista Saúde e Ciência**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 207-216, 2014.

BARBOSA, C. C.; SILVA, F. D.; SANTOS, A. M.; VAZ, M. R. F.; NÓBREGA, F. F. F. Aspectos gerais e propriedades farmacológicas do gênero *Erythroxylum*. **Revista Saúde e Ciência**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 207-216, 2014.

BARBOSA, J. F. M. **Ecofisiologia, fenologia e adaptação de espécies florestais arbóreas nas condições edafoclimáticas de Viana-ES**. Vitória. 2014, 90f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo.

BARBOSA, M. R. V.; AGRA, M. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CUNHA, J. P.; ANDRADE, L. A. Diversidade florística da Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba. In: PÔRTO, K.C.; CABRAL, J.J.P.; TABARELLI, M. (Ed.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba**: história natural, ecologia e conservação. Brasília-DF, Ministério do Meio Ambiente-MMA, Série Biodiversidade 9, p.111-122, 2004.

BARRETO, C. G. **Devastação e Proteção da Mata Atlântica nordestina: formação da paisagem e políticas ambientais**. Brasília. 2013, 296f. (Tese Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável. Universidade de Brasília.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estimativa da área foliar de *Cissampelos glaberrima* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 353-356, 2002.

BIANCO, S.; PITELLI, R. A.; CARVALHO, L. B. Estimativa da área foliar de *Tridax procumbens* usando dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 247-250, 2004.

BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Califórnia, v.28, n. 1, p. 355-377, 1977.

BONAL, D. T. S.; BARIGAH, A.; GRANIER, J.; GUEHL, M. Late-stage canopy tree species with extremely low $\delta^{13}\text{C}$ and high stomatal sensitivity to drought in the tropical rain forest of French Guiana. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 23, n. 5, p.445-459, 2000.

BRAGA, N. S. **Ecofisiologia de espécies arbóreas sempre-verdes e decíduas de uma floresta ombrófila densa**. Rio de Janeiro. 2014.105f. (Tese Doutorado)- Programa de Pós-Graduação em Botânica. Escola Nacional de Botânica Tropical.

BRASIL, S. N. R. **Estratégias de investimento foliar em representantes de *Erythroxylum* em resposta a variáveis abióticas e extensão da distribuição geográfica**. Fortaleza. 2016. 45f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos naturais. Universidade Federal do Ceará.

BROKAW, N. V. L. Gap phase regeneration in a tropical forest. **Ecology**, Massachusetts, v. 66, n.3 p. 682-687,1985.

CAMPANILI, M; PROCHNOW, M. **Mata Atlântica: uma rede pela floresta**. Brasília: RMA, Aracajú, 2006. 322.

CARDOZO, V. J. M.; NAKAO, E. A. *Lecythis pisonis* Cambess (sapucaia): seed morphometric traits and germinative response. **Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 1, p. 23-28, 2014.

CAVALCANTE, A. Jardins suspensos do sertão. **Scientific American Brasil**. São Paulo, v.3 n. 32, p. 62-67, 2005.

CHAVES, M. M.; OSORIO, M. L.; OSORIO, J.; PEREIRA, J. S. The photosynthetic response of *Lupinus albus* to high temperature is dependent on irradiance and leaf water status. **Photosynthetica**, v.27, n. 1, p.521-528,1992.

CORDEIRO, L. S. **Distribuição geográfica e modelagem de nicho ecológico de espécies endêmicas de Erythroxylaceae na região neotropical**. Fortaleza. 2013. 112f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. Universidade federal do Ceará.

COSTA, C.; GUERRA, R. **Uma floresta de oportunidades: um novo olhar sobre a Mata Atlântica**. Conservação internacional. Belo Horizonte, v. único, 2012. 58.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Revista Acta Amazonica**, Manaus, vol. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**. Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S. Mapeamento da cobertura vegetal da mata atlântica: uma contribuição metodológica. In: LOIOLA, M. I. B; BASEIA, I. G.; LICHSTON, J. E. (Org.). **Atualidades, desafios e perspectivas da botânica no Brasil**: anais do 59º Congresso de Botânica; 31º Reunião Nordestina de Botânica; 4º Congresso da Sociedade Latino Americana de Cactácea e outras Suculentas; 31º Congresso da Organização Internacional para o Estudo das Plantas Suculentas. Natal - RN: Imagem Gráfica, 2008. 534.

DALY, D. Erythroxylaceae, In: Flowering Plants of the Neotropics. (Smith, N., Mori, S.A., Henderson, A., eds.) **Princeton University Press**, New York, v. 42 n. 1, p.143-145, 2004.

DÍAZ, SANDRA.; KATTGE, JENS.; CORNELISSEN, J. H. C.; WRIGHT, I. J.; LAVOREL S.; DRAY, S.; REU, B.; KLEYER, MICHAEL.; WIRTH, CHRISTIAN.; PRENTICE, C.; GARNIER, E.; BÖNISCH, G.; WESTOBY, MARK.; POORTER, H.; REICH, P. B.; MOLES, A. T.; DICKIE, J.; GILLISON, A. N.; ZANNE, A. E.; CHAVE, J.; S.; WRIGHT, J.; SHEREMET'EV, S. N.; JACTEL, H.; BARALOTO, C.; CERABOLINI, B.; PIERCE, S.; SHIPLEY, BILL.; KIRKUP, D.; CASANOVES, F.; JOSWIG, J. S.; GÜNTHER, A.; FALCZUK, V.; R. N.; MAHECHA, M. D.; GORNÉ, L. D. The global spectrum of plant form and function. **Nature**, Philadelphia, v. 529, n. 7585, p. 1-17, 2015.

DOBROTA, C. Energy dependant plant stress acclimation. **Revista Environ Sci Biotechnol**, Londres, v. 5, n. 2, p. 243–251, 2006.

DOMINGUES, A. T. F.; MARTINELLIB, L. A.; EHLERINGER, J. R. Seasonal patterns of leaf-level photosynthetic gas exchange in an eastern Amazonian rain forest. **Plant Ecology & Diversity**, Londres, v. 7, n. 1, p. 2-15, 2013.

DOUGHTY, C. E.; METCALFE, D. B.; GIRARDIN, C. A. J.; AMÉZQUITA, F. F.; CABRERA, D. G.; HUASCO W. H.; SILVA-ESPEJO, J. E.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; COSTA, M. C.; ROCHA, W.; FELDPAUSCH, T. R.; MENDOZA, A. L. M.; COSTA, A. C. L.; MEIR, P.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. Drought impact on forest carbon dynamics and fluxes in Amazonia. **Nature**, Philadelphia, v. 519, n. 5, p. 78-82, 2015.

FAHN, A. **Plant Anatomy**. 2. Oxford-USA: Butterworth Heinemann, 1990.

FELSEMBURGH, C. A; SANTOS, K. J. S; CAMARGO, P. B; CARMO, J. B; TRIBUZY, E. S. Respostas ecofisiológicas de *Aniba parviflora* ao sombreamento artificial. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 201-210, 2016.

FOWNES, J.H.; HARRINGTON, R. A. Seedling response to gaps: separating effects of light and nitrogen. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 203, n. 3, p. 297-310, 2004.

FREITAS, F. M. **Respostas ecofisiológicas de *Cybistax antisyphilitica* Mart. (Ipê verde) em função das alterações na intensidade de luz**. Uberlândia. 2016. 37f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Biologia vegetal. Universidade Federal de Uberlândia.

GARNIER, E.; CORTEZ, J.; BILL, G.; NAVAS, M. L.; ROUMET, C.; DEBUSSCHE, M.; LAURENT, G.; BLANCHARD, A.; AUBRY, D; TOUSSAINT, J. P. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. **Ecology**, Massachusetts v. 85, n. 9 p. 2630-2637, 2004.

- GODOY, L. J. G.; YANAGIWARA, R. S. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pêra”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 420-424, 2007.
- GOULDEN, M. L.; MILLER, S.D.; ROCHA, H. R.; MENTON, M. C.; FREITAS, H.C.; SOUZA, F. A. D. C. Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange. **Ecological Applications**, Califórnia, v.14, n. 4, p.42-54, 2004.
- GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; GORDON, A. **Ecologia Vegetal**. 2º edição, Porto Alegre: 2009. 592.
- HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, Philadelphia, v. 424, n. 1, p.901-908, 2003.
- JOLY, C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, Oxford, v. 204, n.3, p. 459-473, 2014.
- JUNIOR, A. R. N. **Características fotossintéticas, nutricionais e hídricas de espécies arbóreas em diferentes estratos florestais de uma floresta primária do alto rio negro**. Manaus. 2009. 88f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências Tropicais. Instituto nacional de pesquisa da Amazônia.
- KAMAKURA, M.; KOSUGI, Y.; TAKANASHI, S.; UEMURA, A.; UTSUGI, H.; KASSIM, A. Occurrence of stomatal patchiness and its spatial scale in leaves from various sizes of trees distributed in a South-east Asian tropical rainforest in Peninsular Malaysia. **Tree physiology**, v. 35, n. 1, p. 61-70, 2015.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Paulo: Rima. 2006. 504.
- LIZASO, J. I.; BATCHELOR, W. D.; WESTGATE, M. E. A leaf area model to simulate cultivar specific expansion and senescence of maize leaves. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1-17, 2003.
- LLUSIA, J; ROAHTYN, S.; YAKIR, D.; ROTENBERG, E.; SECO, R; GUENTHER, A.; PENELAS, J. Photosynthesis, stomatal conductance and terpene emission response to water availability in dry and mesic Mediterranean forests. **Springer**, Berlin, v. 30, n. 3, p. 750-759, 2015.
- LOIOLA, M. I. B.; AGRA, M. F.; BARACHO, G. S.; QUEIROZ, R. T. Flora da Paraíba, Brasil: Erythroxylaceae Kunth. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 21, n. 2 p.473-487, 2007.
- LOPES, M. C.; ANDRADE, I.; PEDROSO, V.; MARTINS, S. Modelos empíricos para estimativa da área foliar da videira na casta Jaen. **Ciência e Tecnologia Vitivinicultura**, Portugal, v. 19, n. 2, p. 61-75, 2004.
- MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa, 2005. 451.

MARENCO, R. A.; VERA, A. S. A.; GOUVÊA P. R. S.; CAMARGO M. A. B.; OLIVEIRA M. F.; SANTOS, J. K. S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 61, n. 7, p. 786-789, 2014.

MENDES, K. R. **Efeito da sazonalidade da precipitação no crescimento e trocas gasosas em espécies arbóreas numa floresta de terra-firme da Amazônia Central**. Manaus. 2009, 84f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Botânica. Instituto de pesquisas da Amazonia.

MENDES, K. R.; MARENCO, R. A. Leaf traits and gas exchange in saplings of native tree species in the Central Amazon. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.67, n.6, p. 624-632, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira**. Brasília, 2004. 347.

MORAES, L.; SANTOS, R. K.; WISSER, T. Z.; KRUPPEK, R. A. Avaliação da área foliar a partir de medidas lineares simples de cinco espécies vegetais sob diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 04, p. 381-387, 2013.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Londres, v.403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

NEPSTAD, D. C.; MOUTINHO, P.; DIAS-FILHO, M. B.; DAVIDSON, E.; CARDINOT, G. MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R.; VIANNA, N.; CHAMBERS, J.; RAY, D.; GUERREIROS, J. B.; LEFEBVRE, P.; STERNBERG, L.; MOREIRA, M. L.; BARROS, F.; NEPSTAD, D.C.; CARVALHO, C.R.; VIDSON, E.A.; JIPP, P.H.; LEFEBVRE, P.A.; NEGREIROS, G.H.; SILVA, E.D.; STONE, T.A.; TRUMBORE, S. E.; VIEIRA, S. **The role of deep roots in the hydrological and carbon cycles of Amazonian forests and pastures**. *Nature*, Philadelphia, v. 372, n. 6507, p. 666-669, 1994.

NETO, A. G. S. **Avaliação da área foliar de cinco espécies florestais ocorrentes no semiárido paraibano**. Paraíba. 2009, 30f. (Trabalho de conclusão de curso) Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Campina Grande.

OMETTO, J. P. H.; FLANAGAN, L. B.; MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; HIGUCHI, N.; EHLERINGER, J. R. Carbon isotope discrimination in forest and pasture ecosystems of the Amazon Basin, Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington v.16, n.4, p. 56-10, 2002.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O. C. ; LEWIS, S. L. ; FISHER, J. B.; LLOYD, J.; LOPEZ, G. G.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; PEACOCK, J.; QUESADA C. A.; PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p.869-882, 2011.

PINTO, L. P.; BEDÊ, L.; PAESE, A.; FONSECA, M.; PAGLIA, A.; LAMAS, I. Mata Atlântica Brasileira: Os desafios para conservação da biodiversidade de um hotspot mundial. **Biologia da Conservação: Essências**. São Paulo, v. 3, n.1, p. 91-118. 2006.

PINTO, L. P.; BRITO, M. C. W. **Dinâmica da perda da biodiversidade na mata atlântica brasileira: uma introdução**. In: GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. (Org.) *Mata Atlântica: biodiversidade, ameaças e perspectivas*. São Paulo, 2005.472.

- PINTO-COELHO, R. M. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre, 2002. 252.
- PLOWMAN, T. Four new species of *Erythroxylum* (Erythroxylaceae) from Northeastern Brazil. **Brittonia**, New York, v.38, p.189-200, 1986.
- PLOWMAN, T. C.; HENSOLD, N. Names, types and distribution of neotropical species of *Erythroxylum* (Erythroxylaceae), **Brittonia**, New York, v.56, n. 1, p.1-53. 2004.
- RÊGO, G. M.; HOEFLICH, V. A. **Floresta atlântica no nordeste**. Embrapa Tabuleiros Costeiros: 2001.80.
- RIBEIRO, M.C.; METZGER, J. P. A.; MARTENSEN, A. C. A.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**. v.142, n. 6, p.1141-1153, 2009.
- RODRIGUES, J. V. F. C. **Ecofisiologia de Espécies Arbóreas de Campina na Amazônia Central**. Manaus. 2013.105f. (Tese Doutorado) Programa de Pós-graduação em Ciências Tropicais. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.
- RUSSO, S. E.; KITAJIMA, K. The ecophysiology of leaf lifespan in tropical Forests: Adaptive and plastic Responses to environmental heterogeneity. **Tree Physiology**, Oxford, v.6, p.357-383, 2016.
- SALESKA, S. R.; MILLER, S. D.; MATROSS, D. M.; GOULDEN, M. L.; WOFSY, S.C.; ROCHA, H.R.; CAMARGO, P. B.; CRILL, P.; DAUBE, B.C.; FREITAS, H.C. Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. **Science**, v. 302, n. 5650 p.1554-1557, 2003.
- SALLA, L; RODRIGUES, J. C; MARENCO, R. A. Teores de clorofila em árvores tropicais determinados com o SPAD-502. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, n. 2, p.159-161, 2007.
- SANTOS, A. M. M. **Distribuição de plantas lenhosas e relações históricas entre a floresta Amazônica, a floresta Atlântica costeira e os brejos de altitude do nordeste brasileiro**. Recife. 2002, 75f. (Dissertação Mestrado) programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. Universidade Federal de Pernambuco.
- SANTOS, J. N. B. **Equações alométricas para estimativa da área foliar de espécies lenhosas de floresta ombrófila de terras baixas**. Recife. 2016.102 f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- SANTOS, K. F.; SCHUMACHER, M. V. Ecofisiologia e crescimento de *Eucalyptus* em condição de déficit hídrico. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria, v.4, n. 2, p.33- 44,2016.
- SCARANO, F. R.; CEOTTO, P. Brazilian Atlantic forest: impact, vulnerability, and adaptation to climate change. **Biodiversity and Conservation**. Nova York, v. 24, n. 9, p. 2319-2331.
- SCHEEPENS, J. F.; FREI, E. S.; STÖCKLIN, J. Genotypic and environmental variation in specific leaf area in a widespread Alpine plant after transplantation to different altitudes. **Oecologia**, Berlin, v. 164, n. 1, p. 141-150, 2010.

SCHMILDT, E. R.; OLIARI, L. S.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R. S.; PIRES F. R. Determinação da área foliar de *Passiflora mucronata* a partir de dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 10, n. 4, p. 351-357, 2016.

SEIXAS, G. B. **Determinação da transpiração em plantas de nim indiano (*azadirachta indica* a. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva**. Mato Grosso. 2009.71f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso.

SENDALL, K. M.; VOURLITIS, G. L.; LOBO, F. A. Seasonal variation in the maximum rate of leaf gas exchange of canopy and understory tree species in an Amazonian semi-deciduous forest. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Rio de Janeiro, v. 21, n. 1, p. 65-74, 2009.

SERVÍN, C. M. L. **Caracterização ecofisiológica de espécies nativas da Mata Atlântica sob dois níveis de estresse induzidos pelo manejo florestal em área de restauração florestal no Estado de São Paulo**. São Paulo. 2007. 94f. (Tese Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Recursos florestais. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

SILVA, B. G.; LEMOS FILHO, J. P. Relações hídricas em espécies lenhosas no campus Pampulha-UFMG, Belo Horizonte, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.4, p.519-525, 2001.

SILVA, G. H.; QUEIROZ, J. E.; NETO, A. G. S. Avaliação da área foliar de três espécies florestais ocorrentes no semiárido paraibano (*Amburana cearensis*, *Caesalpinia ferrea*, *Caesalpinia pyramidalis*). **Revista de Biologia e Farmácia**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 01-11, 2013.

SILVA, W. Z.; BRINATE, S. B. V.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, T. J. F.; RODRIGUES, N. W.; MARTINS, L. D. Métodos e estimativa de área foliar em cafeeiro. **Enciclopédia Biosfera**. Goiânia, vol.7, n.13, p. 746-759, 2011

SILVA-JUNIOR, J. F. MARANGON, LUIZ. C.; FERREIRA, R. L. C.; FELICIANO, A. L. P.; BRANDÃO, CARLOS, F. L. S.; ALVES JÚNIOR F. T. Fitossociologia do componente arbóreo em um remanescente de floresta atlântica no município do Cabo de Santo Agostinho, PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 3, p. 276-282, 2008.

SMITH, N.; DUKES, J.; Plant respiration and photosynthesis in global-scale models: incorporating acclimation to temperature and CO₂. **Global Change Biology**. Estados Unidos, v.19, n. 1, p. 45-63, 2013.

SOARES, M. G. **Plasticidade fenotípica de plantas jovens de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) em resposta a radiação solar**. Espírito Santo. 2012. 91f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Biologia vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo.

SOUZA, V. C. LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas e nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. 3ª edição, Nova Odessa, São Paulo, Instituto Plantarum. 2012.768.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. 2012. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III**. 3ª. Ed. Plantarum, Nova Odessa, 2012. 768.

- TABARELLI, M. A.; AGUIAR, A. V. B.; RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; PERES, C. A. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: Lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation, Essex**, Oxford, v. 143, n. 10, p. 2328-2340, 2010.
- TABARELLI, M.; MELO, M. D. V. C.; LIRA, O. C. **A Mata Atlântica do nordeste**. In: Campanili, M; Prochnow, M. (eds.). Mata Atlântica - uma rede pela floresta. RMA, Brasília, 2006. 17.
- TABARELLI, M.; PINTO, L.P.; SILVA, J. M. C.; HIROTA, M.; BEDÊ, L. Challenges and opportunities for biodiversity conservation in the brasilian Atlantic forest. **Conservation Biology**, Califórnia, v.19, n. 3, p. 695-700, 2005.
- TABARELLI, M.; SANTOS, A. M. M. **Uma breve descrição sobre a história natural dos Brejos Nordestinos**. In: PÔRTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M. (Ed.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba**: história natural, ecologia e conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente – MMA, (Série Biodiversidade 9). 2004. p.17-24.
- TAIZ, L.; ZEIGUER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. (ed). Porto Alegre. 2013. 954.
- TAVARES-JÚNIOR, J. E.; FAVARIN, J. L.; DOURADO-NETO, D.; MAIA, A. H. N.; FAZUOLI, L. C.; BERNARDES, M. S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 02, p. 199-203, 2002.
- TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; NETO, J. D. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 3, p.307-311, 2007.
- VASCONCELOS SOBRINHO, J. **As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização**. Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco, Recife. 1971. 216.
- VELOSO, H. P.; RANGEL-FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro, 1991. 91.
- VIOLLE, C.; NAVAS, M. L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C.; HUMMEL, I.; GARNIER, E. Let the concept of trait be functional. **Oikos**, Copenhagen, v. 116, n. 5 p. 882-892, 2007.
- VOURLITIS, G. L.; J. S.; NOGUEIRA, F. A.; LOBO, K. M. SENDALL, J.; L. B. FARIA, C. DIAS, A. A; ANDRADE, N. L. R. Energy balance and canopy conductance of a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. **Water Resources Research**, v. 44, n.3 p. 1-14, 2008.
- WRIGHT, I. J.; REICH, P. B.; WESTOBY, M.; ACKERLY, D. D.; BARUCH, Z.; BONGERS, F.; CAVENDER-BARES, J.; CHAPIN, T.; CORNELISSEN, J. H. C.; DIEMER, M; FLEXAS, J.; GARNIER, E; GROOM, P. K.; GULIAS, J.; HIKOSAKA, K.; LAMONT, B. B.; LEE, T.; LEE, W.; LUSK, C.; MIDGLEY, J. J.; NAVAS, M. L.; NIINEMETS, Ü.; OLEKSYN, J.; OSADA, N.; POORTER, H.; POOT, P.; PRIOR, L.; PYANKOV, V. I.; ROUMET, C.; THOMAS, S. C.; TJOELKER, M. G.; VENEKLAAS, E. J.; VILLAR, R. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, Philadelphia, v.428, p. 821-827, 2004.
- XAVIER, K. R. F. **Análise florística e fitossociológica em dois fragmentos de floresta serrana no município de dona Inês, Paraíba**. Areia. 2009,60f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Universidade Federal da Paraíba.

CAPÍTULO I:

ATRIBUTOS ECOFISIOLOGICOS DE *Erythroxylum pauferrense* PLOWMAN: RESPOSTAS DAS TAXAS FOTOSSINTÉTICAS A VARIAÇÃO SAZONAL

BARBOSA, ANA JÉSSICA SOARES. ATRIBUTOS ECOFISIOLOGICOS DE *Erythroxylum pauferrense* PLOWMAN: RESPOSTAS DAS TAXAS FOTOSSINTÉTICAS A VARIAÇÃO SAZONAL. 2017. Orientador: Manoel Bandeira de Albuquerque.

RESUMO

As oscilações climáticas podem afetar as trocas gasosas das plantas podendo ocasionar mudanças fisiológicas, podendo interferir no crescimento e desenvolvimento das espécies. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo determinar o funcionamento das taxas fotossintéticas em indivíduos de *Erythroxylum pauferrense* Plowman ao longo de dois períodos (seco e chuvoso). Foi utilizando um analisador portátil de gás no infravermelho - IRGA (modelo LCI, ADC BioScientific,

Inglaterra). As determinações do índice relativo de clorofila (ICF) das folhas foram medidas usando um clorofilômetro. A determinação da umidade do solo (U) foi realizada utilizando-se o método das pesagens. Foi aplicada a inferência estatística do teste-t student ($p \leq 0,05$), para verificar as diferenças entre as médias dos atributos ecofisiológicos e microclimáticos no período seco e chuvoso. Foi construído um correlograma pelo método de exibições exploratórias para matrizes de correlação (Kevin-Wright, 2016) para detectar as relações mais significativas. Em seguida realizada uma (PCA). As médias dos parâmetros avaliados demonstraram diferenças significativas entre as épocas (seca e chuvosa) nos valores de transpiração, condutância estomática e temperatura da folha, no entanto, os demais atributos não deferiram estatisticamente. A correlação entre transpiração e condutância estomática, mostraram-se altamente significativa ($r=0,9165$; $p<0,01$). A análise de componentes principais (PCA) realizada para os atributos ecofisiológicos da espécie *Erythroxylum pauferrense* e os parâmetros microclimáticos, explicou 79,83% da variância total. As condições ambientais impostas durante os períodos de seca e de chuva não atribuíram diferenças nas taxas fotossintéticas para a espécie *Erythroxylum pauferrense*. Este resultado, colabora com algumas pesquisas realizadas por Mendes et al., (2010) e Sendall et al., (2009) que também avaliaram os níveis fotossintéticos em espécies de sub-bosque frente a variação sazonal. Considerando as associações dos vetores dos parâmetros ecofisiológicos da espécie *Erythroxylum pauferrense*, é evidente que a condutância estomática, transpiração e carbono interno estão fortemente associados à variação dos resultados das taxas fotossintéticas. A condutância estomática, transpiração e temperatura da folha, apresentaram sensibilidade durante os períodos estudados, apesar da irradiância no sub-bosque, se manter constante devido às condições de sombreamento e assim favorecer a redução da umidade do solo.

PALAVRAS-CHAVE: Erythroxylaceae, Brejo de Altitude, sazonalidade

BARBOSA, ANA JÉSSICA SOARES. ECO-PHYSIOLOGICAL ATTRIBUTES OF *Erythroxylum pauferrense* PLOWMAN: RESPONSES OF PHOTOSYNTHETIC RATES THE SEZONAL VARIATION. 2017. Orientador: Manoel Bandeira de Albuquerque.

ABSTRACT

The climatic oscillations can affect the gas exchanges of the plants, being able to cause physiological changes, being able to interfere in the growth and development of the species. The objective of this work was to determine the performance of photosynthetic rates in *Erythroxylum pauferrense* Plowman individuals during two periods (dry and rainy). It was using a portable infrared gas analyzer - IRGA (model LCI, ADC BioScientific, England). The relative chlorophyll index (ICF) determinations of the leaves were measured using a chlorophyll meter. The determination of soil

moisture (U) was performed using the weighing method. The statistical inference of the student t-test ($p \leq 0.05$) was applied to verify the differences between the means of the ecophysiological and microclimatic attributes in the dry and rainy period. A correlogram was constructed by the method of exploratory displays for correlation matrices (Kevin-Wright, 2016) to detect the most significant relationships. Then performed a (PCA). The averages of the parameters evaluated showed significant differences between the seasons (dry and rainy) in the values of transpiration, stomatal conductance and leaf temperature, however, the other attributes did not statistically defer. The correlation between transpiration and stomatal conductance was shown to be highly significant ($r = 0.9165$, $p < 0.01$). Principal component analysis (PCA) for the *Erythroxylum paufferense* and the microclimatic parameters, explained 79.83% of the total variance. The environmental conditions imposed during periods of drought and rain did not attribute differences in the photosynthetic rates for the species *Erythroxylum paufferense*. The results of this work are in accordance with some researches carried out by Mendes et al. (2010) and Sendall et al. (2009), who also evaluated the photosynthetic levels of sub-sooty species in relation to seasonal variation. Considering the associations of the ecophysiological parameters of the *Erythroxylum paufferense* species, it is evident that the stomatal conductance, transpiration and internal carbon are strongly associated with the variation of the results of the photosynthetic rates. Stomatal conductance, transpiration and leaf temperature presented sensitivity during periods Studied, despite the irradiance in the sub-forest, remain constant due to the shading conditions and thus favor the reduction of soil moisture.

KEYWORDS: Erythroxylaceae, Brejos de Altitude, seasonality

1 INTRODUÇÃO

Os remanentes de Floresta Atlântica foram e continuam sujeitos a várias pressões antropogênicas (Tabarelli et al., 2010). Este processo expõe as plantas a uma alta intensidade de luz, uma vez que, a luminosidade é um fator limitante para a sobrevivência dos vegetais, a variações de temperatura e consequentemente a maiores déficits de pressão de vapor (Larcher, 2006; Silva et al., 2010). Esta variabilidade climática pode modificar os níveis fotossintéticos e ocasionar mudanças fisiológicas nas espécies podendo comprometer seu crescimento e desenvolvimento (Sendall et al., 2009). Nos períodos chuvosos, as taxas fotossintéticas tendem a aumentar consideravelmente. Por outro lado, nos períodos de estiagem, a uma redução na transpiração, como consequência da

condutância estomática reduzida (Silva et al., 2010). Tais efeitos podem propiciar condições peculiares em espécies de sub-bosque, uma vez que estas apresentam pequeno porte, sobrevivem abaixo da copa de outras árvores, e têm limitações quanto à disponibilidade de luz (Gomes et al., 2009).

Alguns trabalhos na literatura tem abordado que as plantas que crescem sob condições de sub-bosque investem em estratégias para melhor captura e utilização da luminosidade, como aumentos na área foliar específica e uma redução na taxa de transpiração (Silva et al., 2010; Lehto; Grace 1994; Sendall et al., 2009; Pooter, 2001). Onde a pouca atividade fisiológica significa custos de manutenção menores de modo que as perdas de carbono são reduzidas (Lehto; Grace 1994, Pooter, 2001). Neste sentido, os estudos referentes a ecofisiologia vegetal de plantas estabelece relações frente a variação ambiental e os processos de resposta dos vegetais. Tais mecanismos fisiológicos dessas respostas trazem informações a respeito da evolução e auto-ecologia dos indivíduos, ou seja, trazem subsídios que permitem esclarecer a dinâmica florestal conjuntamente (Larcher, 2006).

Desse modo, a avaliação das trocas gasosas é uma importante ferramenta na determinação, adaptação e estabilidade das plantas nos mais diversos tipos de ecossistemas. Podendo assim, indicar a determinadas espécies para utilização de recuperação de áreas degradadas e diversidade florística. Tendo em vista, os seus atributos ecofisiológicos específicos (*e.g.*, os níveis de eficiência do uso de água e taxas fotossintéticas) (Rossatto et al., 2009). Porém, pouco são os estudos referentes aos efeitos sazonais em espécies de sub-bosque.

A espécie objeto de estudo é *Erythroxylum pauferrense* Plowman, também conhecida como guarda-orvalho. É uma espécie de sub-bosque que possui distribuições mais restritas e tem ocorrência natural no estado da Paraíba (Loiola et al., 2007). Diante da sua importância ecológica e dos riscos que a espécie ocorre junto com seu hábitat, tais estudos ainda são incipientes em âmbito mais específico, além disso, os materiais disponíveis na literatura não trazem uma evidência clara sobre as condições de espécies de sub-bosque em florestas sazonais no Nordeste. Estas condições torna a espécie um objeto de estudo promissor para a realização de pesquisas e criação de subsídios para o entendimento do comportamento das plantas e a conservação. Atualmente, não existem estudos referentes à ecofisiologia da espécie diante dos eventos climáticos e ambientais, esses subsídios são de extrema importância para ter conhecimento sobre o comportamento ecofisiológico da planta em nível de local, no intuito de fornecer informações que serão importantes para a conservação da espécie e na construção de novas pesquisas, bem como, elaboração de modelos que apontem o manejo dessa espécie em áreas de remanescentes dos Brejos de Altitude.

O objetivo deste trabalho é determinar o funcionamento das taxas fotossintéticas em indivíduos de *Erythroxylum pauferrense* Plowman no sub-bosque de um remanescente de floresta

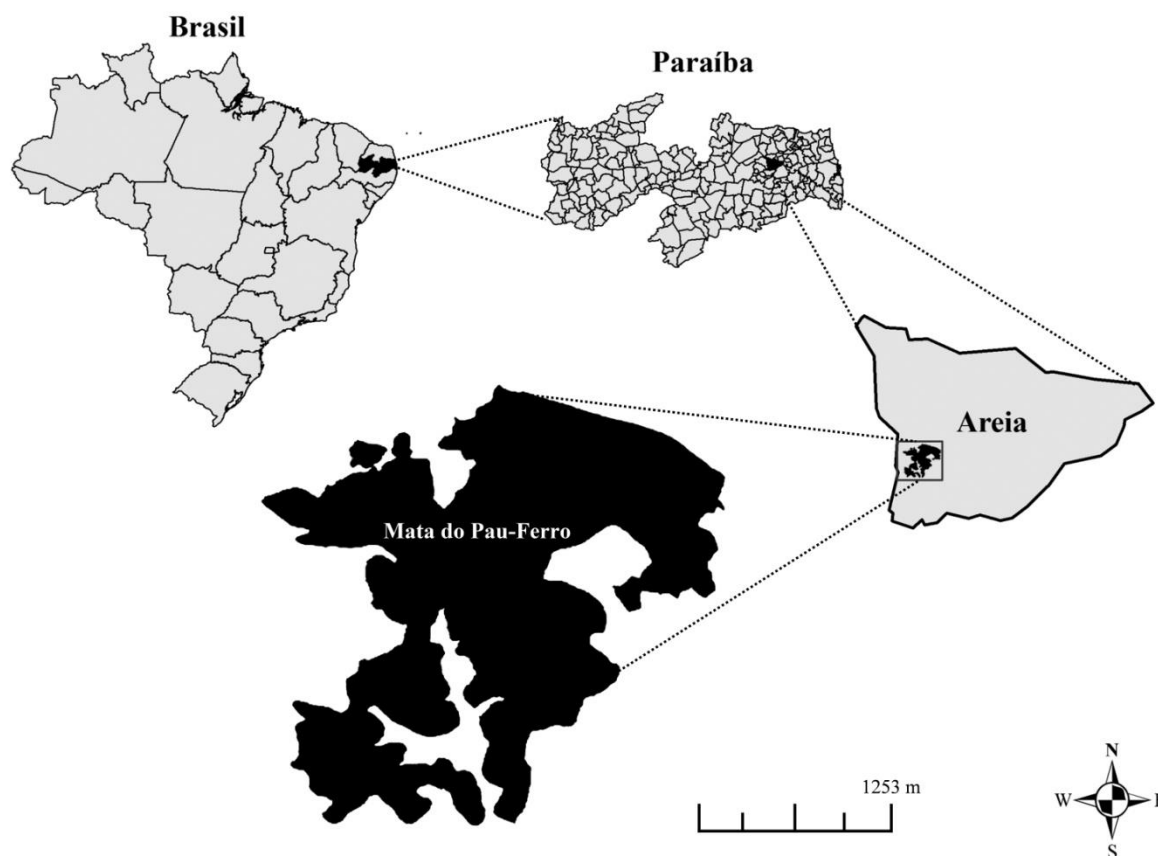
tropical úmida (Brejo de Altitude), ao longo de dois períodos (seco e chuvoso). Tendo como objetivos específicos: **(i)** determinar os possíveis efeitos nas respostas dos atributos ecofisiológicos em plantas adultas de *Erythroxylum paufferense* nos diferentes períodos estudados; **(ii)** determinar o efeito da fração do céu visível, teor relativo de clorofila e umidade do solo em diferentes indivíduos da espécie; **(iii)** identificar e avaliar os principais fatores que influenciam a manutenção e sobrevivência da espécie no sub-bosque.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área de Estudo

Este estudo foi realizado no Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, localizada no município de Areia-PB. A unidade de conservação ocupa uma área de aproximadamente 600 há, destacando-se como o remanescente de Brejo de Altitude mais representativo do estado da Paraíba (Barbosa et al., 2004). Está georreferenciada entre as coordenadas 6°58'12" S; 35°42'15" W localizada acerca de 5 km a oeste da sede do município de Areia. De acordo com a classificação fitogeográfica brasileira, constitui-se em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012).

Figura 1. Mapa indicando a localização da área de estudo, Parque Estadual Mata do Pau-Ferro, município de Areia-PB.



Fonte: BARBOSA, A. J. S.

O relevo da região caracteriza-se como ondulado (declives de 8 a 20%) a fortemente ondulado (declives de 20 a 45%) (Brasil, 1972). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger é “As”, caracterizado como quente e úmido com chuvas de outono e inverno (Kottek et al., 2006). A precipitação anual oscila entre 800 e 1600 mm, concentrada nos meses de junho a agosto e temperaturas anuais máximas e mínimas variando de 26°C a 18°C, respectivamente (Brasil, 1972). Os solos são do tipo Luvisolos (Embrapa, 2006), profundos e medianamente férteis e a hidrografia caracterizada por pequenos e médios cursos d’água com drenagem exorréica de padrão predominantemente dendrítico (Barbosa et al., 2004).

2.3 Coleta dos dados climáticos

Com base na série histórica de dados pluviométricos, temperatura e umidade relativa do ar durante os últimos 30 anos (1984-2014), definiu-se os períodos chuvosos e de seca, para coleta dos dados. As informações foram adquiridos na Estação Meteorológica do Centro de Ciências Agrárias Campus II, Areia-PB. Em seguida tabulados e as médias anuais calculadas com o auxílio do programa *Microsoft Office®- Excel 2010*.

2.4 Trocas gasosas das folhas

A determinação das taxas de fotossíntese (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), temperatura e carbono interno foram mensurados utilizando um analisador portátil de gás no infravermelho - IRGA (modelo LCI, ADC BioScientific, Inglaterra). Foi realizado um estudo prévio para determinar os pontos de saturação de CO₂ e luz. O efeito do horário do dia no funcionamento dos estômatos e nas taxas fotossintéticas foi avaliado mediante a coleta de dados entre 06:00 e 18:00 h. Desse modo, definiu-se que as medições seriam realizadas no horário compreendido entre 10 e 11 h da manhã. Em função dos parâmetros estudados apresentarem maiores valores durante o período da manhã. As mensurações foram realizadas usando duas folhas por indivíduo, sendo estas folhas maduras totalmente expandidas e com bom aspecto fitossanitário.

2.5 Irradiância

Durante cada período (*ie.*, seco e chuvoso) avaliado a disponibilidade de irradiância no sub-bosque, foram registrados o grau de abertura sobre cada indivíduo amostrado no sub-bosque que foi estimado por meio de imagens hemisféricas com auxílio de um analisador de dossel *Digital Plant Canopy Imager* - CI-110 (CID, Inc.) seguindo metodologia usual descrita em (Whitford et al., 1995).

2.6 Teor relativo de clorofila

As determinações do índice relativo de clorofila (ICF) das folhas foram medidas usando um clorofilômetro (SPAD-502, Minolta, Japão) em cada indivíduo foram mensuradas quatro folhas para obtenção de uma média. Os valores obtidos pelo equipamento têm como base a quantidade de luz transmitida pela folha, em dois comprimentos de ondas, os quais medem a intensidade da coloração verde da folha (quantidade de luz absorvida pela clorofila). Esses valores, cuja unidade é denominada como Índice Relativo de Clorofila (IRC).

2.7 Coleta e análise de solos

A determinação da umidade do solo (U) foi realizada utilizando-se o método das pesagens, proposto por Klar et al., (1966). Foram coletadas amostras simples de solo na profundidade de 10-30 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Ecologia vegetal da UFPB-Campus II, para a realização da pesagem e secagem, respectivamente. A umidade relativa do solo (U) baseia-se na relação do peso saturado de uma amostra e o seu peso seco, dada pela seguinte equação:

$$U = \frac{P - P_s}{P_s - m} 100$$

Onde: U = teor de umidade do solo (%); P = peso da amostra (corresponde à massa do recipiente mais a massa da amostra de solo úmido); P_s = peso da amostra (corresponde massa do recipiente mais a massa da amostra de solo seco); m = massa do recipiente.

2.8 Análise estatística

Foram escolhidos aleatoriamente 10 indivíduos adultos de *Erythroxylum pauferrense*. A quantidade de indivíduos para a espécie foi determinada baseando-se nos critérios referentes à mínima variabilidade de indivíduos de uma mesma população, o que não proporciona diferenças, ou seja, não fornecendo características biológicas distintas em nível de espécie, podendo ser utilizado relativamente uma quantidade mínima de indivíduos de uma mesma espécie (ver Cornelissen et al., 2003).

Foi aplicado a inferência estatística do teste-t student ($p \leq 0,05$), para verificar as diferenças entre as médias dos atributos ecofisiológicos e microclimáticos no período seco e chuvoso. Foi construído um correlograma pelo método de exibições exploratórias para matrizes de correlação (Kevin-Wright, 2016) para detectar as relações mais significativas. Para esta matriz gráfica utilizou-se todas as possíveis combinações entre todos os atributos fisiológicos (taxas fotossintéticas (A), carbono interno (CI), transpiração (E), condutância estomática (GS)) e climáticos (temperatura da folha (T), umidade do solo (U), irradiância (LAI)). A matriz gráfica de correlação foi realizada através do pacote “corrgram” de Kevin-Wright, (2016) com o auxílio do software R Development Core Team® 3.1.3 (2017).

Foi realizado uma análise de componentes principais (PCA) para extrair eixos ortogonais da variação dos atributos ecofisiológicos e parâmetros microclimáticos, a princípio sem distinção entre as épocas seca e chuvosa. Esta análise tem objetivo de auxiliar o entendimento das associações dos vetores das taxas fotossintéticas e as variáveis abióticas coletadas no hábitat de sub-bosque, verificar se estes vetores de características são relacionados entre si ou disjuntos. Para esta técnica multivariada, segue os princípios que norteiam a técnica multivariada (Gotelli; Ellison, 2004; Regazzi, 2010). A PCA foi realizada com auxílio do pacote “vegan” do software R Development Core Team® 3.1.3 (2017).

3. RESULTADOS

3.1 Condições ambientais

Durante o período de coleta de dados a variação na precipitação oscilou conforme a figura 2. Durante o estudo, a precipitação mensal foi inferior a 100 mm, com exceção do mês de outubro de 2015, que apresentou cerca de 25 mm. Esses valores não corroboram com as médias históricas (1984-2014), registradas na região do estudo. A precipitação do mês de Agosto (mês chuvoso) de 2016 foi inferior à dos últimos 30 anos. Sendo os meses estudados, Fevereiro, Abril e Junho (chuvoso) Outubro, Dezembro e Agosto (seco).

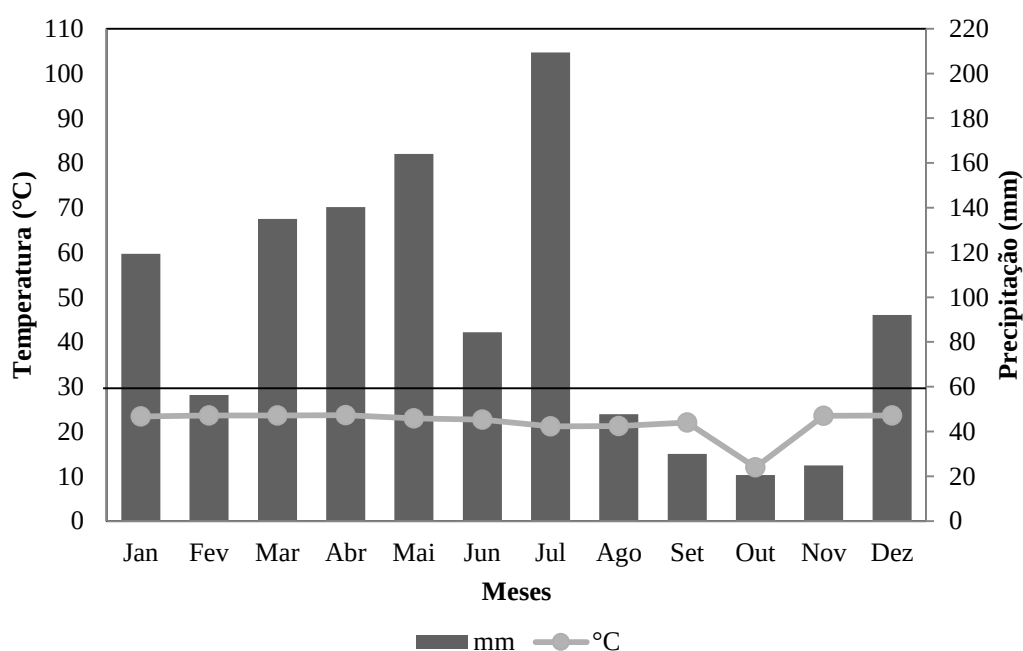


Figura 2: Precipitação média mensal durante o período dos meses de janeiro 2015 à dezembro 2016. A linha horizontal contínua mostra o valor da temperatura (°C), e simultaneamente o valor de 60 mm, abaixo dos quais determinados meses são considerados secos.

3.2 Parâmetros ecofisiológicos

As médias dos parâmetros avaliados demonstraram diferenças significativas entre as épocas (seca e chuvosa) nos valores de transpiração, condutância estomática e temperatura da folha, no entanto, os demais atributos não deferiram estatisticamente (Tabela 1).

Tabela 01: Médias ($\bar{x}$) e erro padrão (S_x), e valores máximos e mínimos dos parâmetros biológicos e microclimáticos observados nos períodos de estudo na época de chuva e de seca de 2015 e 2016.

Parâmetros biológicos	Unidades	Seca		Chuva	
		$\bar{x} \pm S_x$	Min Máx	$\bar{x} \pm S_x$	Min Máx
Taxas fotossintéticas (A)	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	0,94 $\pm$ 0,89 ^{ns}	0,12 3,15	1,27 $\pm$ 1,25 ^{ns}	0,10 4,74
Carbono interno (Ci)	$\mu\text{mol mol}^{-1}$	313,47 $\pm$ 83,96 ^{ns}	87,0 475,0	346,87 $\pm$ 88,98 ^{ns}	28,00 419,00
Transpiração (E)	$\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	0,79 $\pm$ 0,54 ^{**}	0,03 1,95	1,24 $\pm$ 0,52 ^{**}	0,40 2,27
Condutância estomática (gs)	$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	0,05 $\pm$ 0,07 ^{**}	00,0 0,22	0,12 $\pm$ 0,07 ^{**}	0,02 0,27
SPAD	SPAD	45,02 $\pm$ 4,18 ^{ns}	37,90 53,50	45,08 $\pm$ 3,61 ^{ns}	36,30 52,20
Temperatura da folha (T)	°C	32,47 $\pm$ 4,33 ^{**}	27,00 41,70	28,51 $\pm$ 1,70 ^{**}	23,90 31,60
Parâmetros climáticos	Unidades	$\bar{x} \pm S_x$	Min Máx	$\bar{x} \pm S_x$	Min Máx
LAI	LAI	1,24 $\pm$ 0,30 ^{ns}	0,78 2,13	1,16 $\pm$ 0,38 ^{ns}	0,15 2,35
Umidade do solo	%	13,08 $\pm$ 7,76 ^{ns}	1,76 30,34	14,74 $\pm$ 7,48 ^{ns}	4,17 30,13

As correlações mais significativas ($p < 0,01$) são mostradas na matriz exploratória correlação; transpiração (E) e carbono interno (Ci), transpiração (E) e condutância estomática (gs), carbono interno (Ci) e condutância estomática (GS), temperatura da folha (TF) e transpiração (E), transpiração (E) e umidade do solo (U), condutância estomática (gs) e umidade do solo (U), condutância estomática (gs) e temperatura da folha (T) (Figura 5).

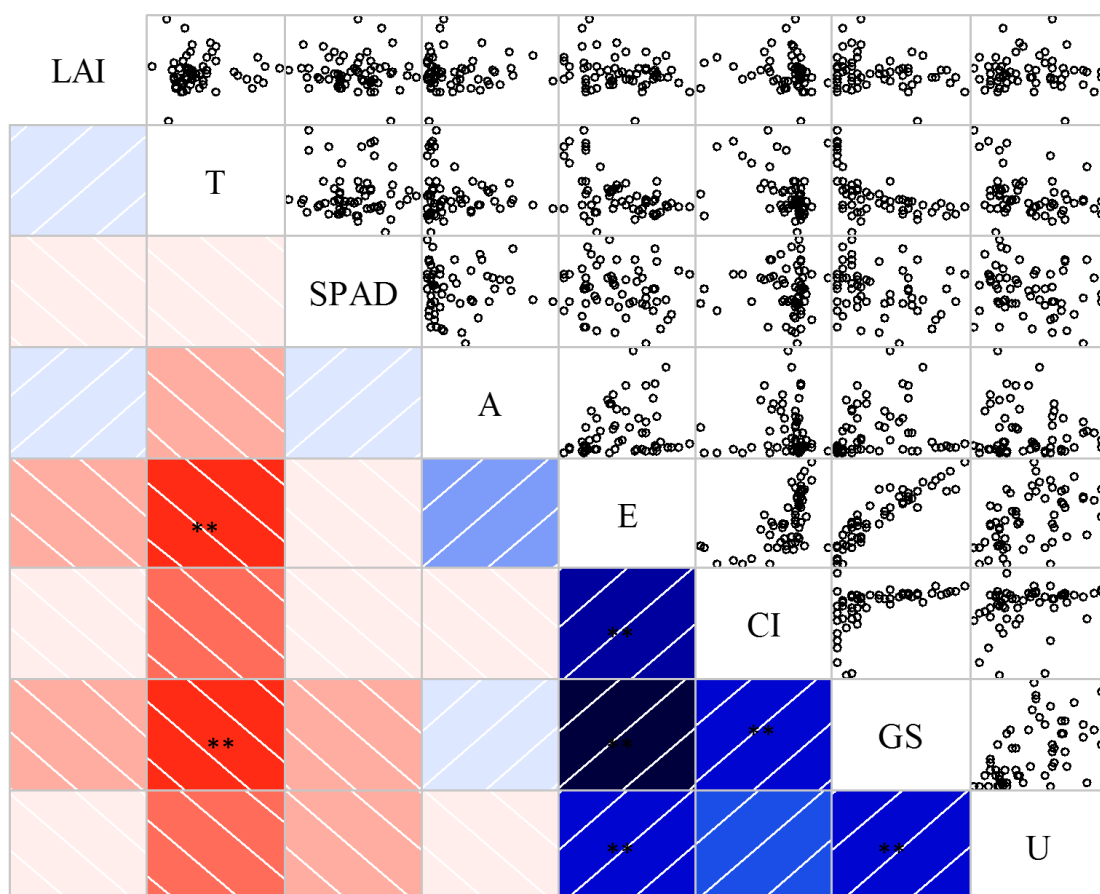


Figura 5: Correlograma de exibições exploratórias para matrizes de correlação entre os atributos ecofisiológicos (A, E, CI, GS) e as variáveis microclimáticas (LAI, T, U). As associações em azul escuro denotam correlações positivas; as associações em vermelho denotam correlações negativas. Nas correlações com cores claras infere-se ausência de correlação. Correlação significativa entre as associações são indicadas por asteriscos (**) pelo método de Pearson ($p > 0,01$).

As associações significativas, encontradas na matriz exploratória de correlação para o conjunto de variáveis estudadas foram extraídas e expressas individualmente para estudo das relações (Figura 6). As correlações entre as variáveis: transpiração e carbono interno (Figura 6; A), transpiração e condutância estomática (Figura 6; B); e condutância estomática e carbono interno (Figura 6; C), mostraram-se positivas. No entanto, a correlação entre transpiração e condutância estomática (Figura 6; B), mostraram-se altamente significativa ($r=0,9165$; $p<0,01$). A correlação entre a temperatura da folha e transpiração foi negativa (Figura 6; D), o que também foi similar na correlação entre temperatura da folha e condutância estomática (Figura 6; E). A relação entre umidade do solo e condutância estomática (Figura 6; E), e umidade do solo e transpiração (Figura 6; F) foi positiva.

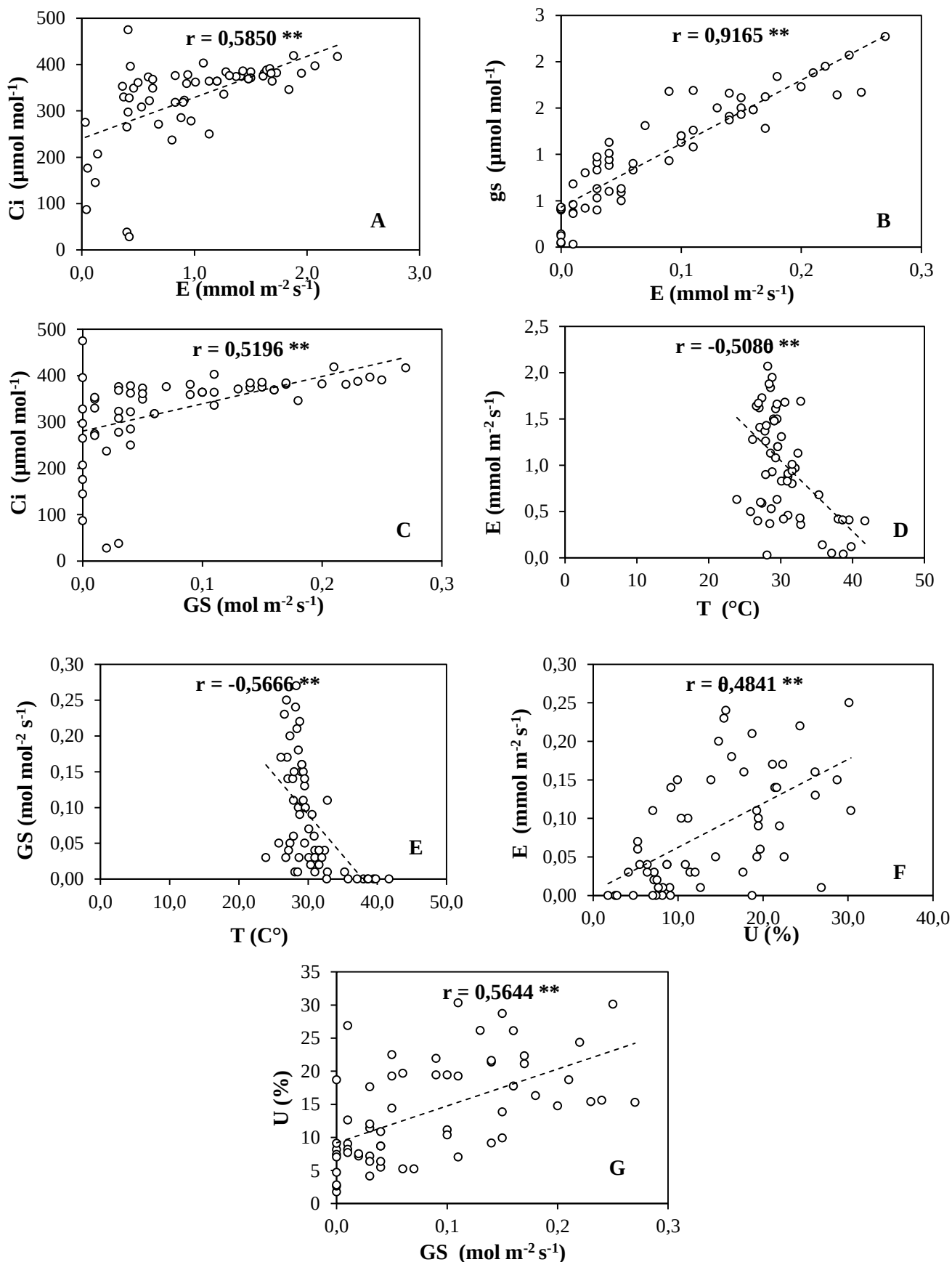


Figura 06. Correlação entre as principais variáveis biológicas e microclimáticas: transpiração e carbono interno (A); transpiração e condutância estomática (A); condutância estomática e carbono

interno (C); temperatura da folha e transpiração (D); temperatura da folha e condutância estomática (E); umidade do solo e transpiração (F); condutância estomática e umidade do solo (G).

A análise de componentes principais (PCA) realizada para os atributos ecofisiológicos da espécie *Erythroxylum pauferrense* e os parâmetros microclimáticos, explicou 79,83% da variância total acumulada entre as variáveis de Fotossíntese (A), condutância estomática (GS), carbono interno (CI) e transpiração (E) evidenciando uma correlação expressiva entre estes vetores (Figura 04) O total da variância explicada acumulada para as características são: fotossíntese (40,18 %), carbono interno (14,92 %), transpiração (13,25 %) e condutância estomática (11,47 %).

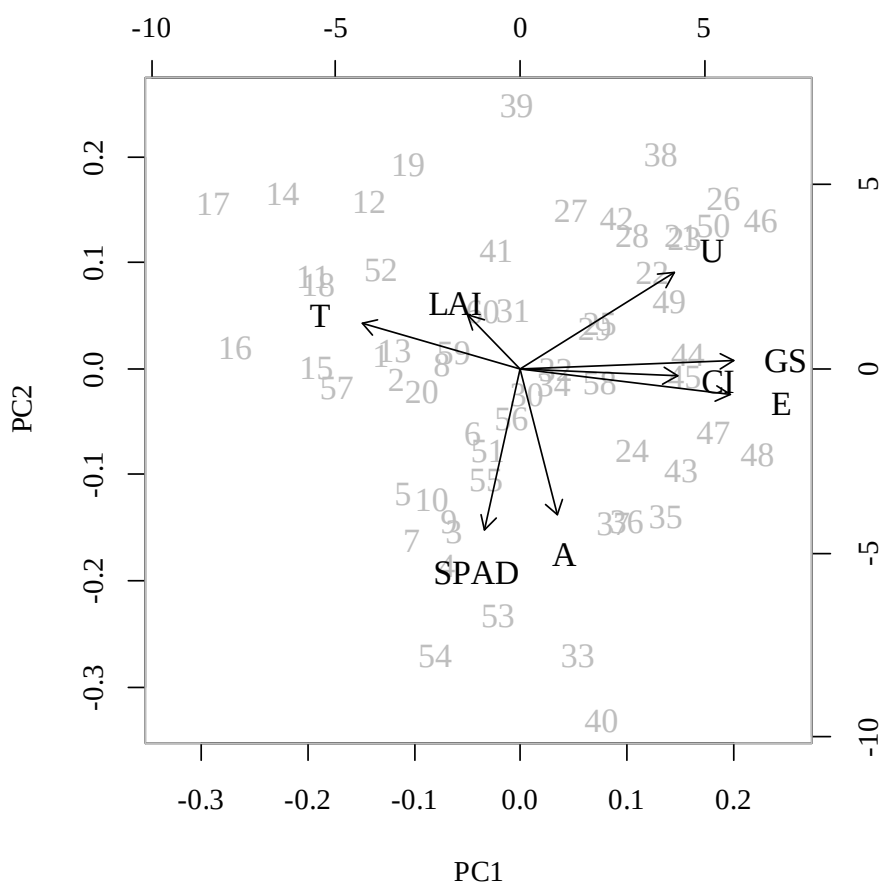


Figura 07: Análise de componentes principais (PCA) para a espécie *Erythroxylum pauferrense* Plowman. Características avaliadas: taxas fotossintéticas (A), condutância estomática (gs), carbono interno (Ci), transpiração (E), umidade do solo (U), temperatura da folha (T), irradiância (LAI), e teor relativo de clorofila (SPAD).

4 DISCUSSÃO

As condições ambientais impostas durante os períodos de seca e de chuva não atribuíram diferenças nas taxas fotossintéticas para a espécie *Erythroxylum pauferrense*. Este resultado, colabora com algumas pesquisas realizadas por Mendes et al., (2010) e Sendall et al., (2009) que também avaliaram os níveis fotossintéticos em espécies de sub-bosque frente a variação sazonal. O mesmo também ocorreu com os níveis de carbon interno e irradiância, isso indica que níveis de luminosidade e CO₂ da atmosfera, têm uma forte influência sobre as características de troca gasosas nas folhas (Mielke et al., 2005). Além de a irradiância ser uma condição ambiental que mais limita o crescimento, a sobrevivência e a reprodução das plantas (Mendes et al., 2010). Este fato pode está atrelado a pequena fração de luminosidade que chega no sub-bosque (Carswell et al., 2000). Pois a captura do CO₂ e a transpiração acontecem quando os estômatos estão abertos, ou seja, quanto maior os níveis de transpiração e condutância estomática, maior será o acúmulo de carbono foliar. Este fator favorece o acúmulo de carbono nas espécies de sub-bosque, pois estas tem um melhor aproveitamento de captação de luz. (Sendall et al., 2009).

Os níveis de condutância estomática e transpiração desempenharam efeitos distintos. A redução da transpiração e gs nos períodos de estiagem ocorrem em resposta à perda de água, pois para manter o estado de hidratação celular as plantas fecham os estômatos, e diminuem a transpiração para manter o potencial hídrico, quando a disponibilidade de água for inferior (Bonal et al., 2000; Miranda et al., 2005). A relação entre a transpiração e a condutância estomática atuam conjuntamente, seja na redução ou aumento no potencial hídrico, a abertura estomática permite a transpiração, dessa forma, possibilitando um efeito de resfriamento das plantas, contribuindo para a manutenção da temperatura da folha. Isto é notório em alguns trabalhos tanto em espécies agricultáveis quanto em espécies florestais (Otto et al., 2013; Manabe et al., 2014; Costa; Marengo, 2007). Dado comprovado no presente estudo, onde dentre os atributos avaliados, a correlação entre transpiração e condutância estomática foi altamente significativa ($r=0,9165$; $p<0,01$).

Sendall et al., (2009) ao avaliar as taxas de transpiração da espécie de sub-bosque *Tovomita schomburgkii*, relatou que a espécie manteve-se estabilidade ao longo de ciclos sazonais. Pois, espécies que crescem em condições de sombreamento tendem a ter uma demanda evaporativa reduzidas, além de menores níveis de fluxo de seiva, comparada as árvores mais altas do dossel da floresta (Sendall et al., 2009). Os resultados desta investigação, verificaram valores de condutância estomática em torno de ($0,12 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para a espécie *Erythroxylum pauferrense*, entre os horários de 10 as 11 da manhã, corroborando com valores encontrados em resultados obtidos por (Mendes et al., 2010), que verificou aumento na condutância estomática de *Erythroxylum amplum*, pela manhã.

A temperatura da folha diferenciou durante os períodos e teve um aumento durante a época seca, isto é explicado pela redução dos níveis de transpiração e como consequência disso, a temperatura da folha tende a aumentar. Esses resultados mostram que o aumento da temperatura da folha, resulta na diminuição dos níveis de condutância estomática e transpiração, essa diminuição deve-se a redução do conteúdo de água na planta em função da elevada temperatura ambiente, frente a isso, as plantas reduzem seus níveis de condutância estomática e transpiração, como estratégia de sobrevivência (Taiz; Zeiger, 2013). A resposta da correlação entre temperatura da folha e E e gs, foram negativas, ou seja, quando estes atributos tendem a diminuir a temperatura se eleva. Esses dados corroboram com (Costa; Marengo, 2007; Lima et al., 2007; Manabe et al., 2014), que também verificaram decréscimo dos níveis de condutância estomática e transpiração em função da temperatura da folha em espécies lenhosas.

Os teores relativos de clorofila mantiveram os níveis constantes. Isso implica dizer que, os mecanismos de atuação mantiveram a eficiência no transporte de elétrons e estrutura da clorofila (Wujeska et al., 2013). As plantas que crescem sobre condições de sub-bosque mantêm o aumento da proporção de complexos de luz no FSII, em comparação as espécies que crescem sob maior disponibilidade de luz, as concentrações dos níveis de clorofila nas plantas que vivem em locais de baixa luminosidade podem favorecer em maiores investimentos nos pigmentos responsáveis pela absorção da luminosidade (Boardmann, 1977; Carvalho et al., 2006; Mendes et al., 2010).

A sazonalidade também não influenciou nos valores de umidade do solo e manteve uma correlação positiva com os atributos de E e gs. Estes resultados são reforçados por (Mendes et al., 2010), que também estudou espécies de sub-bosque ao longo de períodos seco e chuvoso numa floresta tropical úmida, onde não foram registrados valores discrepantes de umidade do solo analisados nas épocas estudadas. Isso se justifica pelas áreas sombreadas protegerem as plantas contra o estresse de umidade ao proporcionar uma redução de pressão de vapor e o ambiente físico tende a ser relativamente menos variável (Silva et al., 2010).

Considerando as associações dos vetores dos parâmetros ecofisiológicos da espécie *Erythroxylum pauferrense*, é evidente que a condutância estomática, transpiração e carbono interno estão fortemente associados à variação dos resultados das taxas fotossintéticas. Estes são os principais atributos que contribuem para a manutenção das trocas gasosas da espécie em seu habitat.

Embora a baixa correlação entre A e gs possam mostrar que tanto o gs e fotossíntese são parâmetros que respondem concomitantemente a uma série de fatores que interagem de um modo ainda altamente complexo (Costa e Marengo, 2007). Segundo Mendes e Marengo (2010) Isto mostra que alta concentração de CO₂ nas folhas compensa o efeito negativo da resistência à difusão de CO₂ para os espaços intercelulares decorrentes do fechamento parcial dos estômatos, ou quando os valores de gs

estão muito baixos, ou seja, quando a maior parte dos estômatos encontra-se totalmente ou parcialmente fechados refletindo nesse caso, os valores de g_s a condutância da cutícula (g_c).

5 CONCLUSÃO

Analisando o comportamento da espécie *Erythroxylum pauferrense*, mediante os eventos de estiagem e de chuvas, observou-se que, não houve diferenças significativas nas taxas fotossintéticas. A condutância estomática, transpiração e temperatura da folha, apresentaram sensibilidade durante os períodos estudados, apesar da irradiância no sub-bosque, se manter constante devido às condições de sombreamento e assim favorecer a redução da umidade do solo.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; STEFANI P, D. R.; VONRANDO, W.C.; MANZI, A. O.; CULF, A. D.; GASH, J. H.C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: The Manaus LBA site. **Journal of Geophysical Research**, Oxford, v. 107, n. 20, p. 80-90, 2002.

ASNER, G. P.; NEPSTAD, D.; CARDINOT, R. G.; DROUGHT, D. Stress and carbon uptake in an Amazon forest measured with spaceborne imaging spectroscopy. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Índia, v. 101, n. 16, p. 6039-6044, 2004.

BARBOSA, M. R. V.; AGRA, M. F.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CUNHA, J. P.; ANDRADE, L. A. Diversidade florística da Mata do Pau-Ferro, Areia, Paraíba. In: PÔRTO, K.C.; CABRAL, J.J.P.; TABARELLI, M. (Ed.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação**. Brasília-DF, Ministério do Meio Ambiente-MMA, Série Biodiversidade 9, p.111-122, 2004.

BRASIL, S. N. R. **Estratégias de investimento foliar em representantes de *Erythroxylum* em resposta a variáveis abióticas e extensão da distribuição geográfica**. Fortaleza. 2016. 45f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos naturais. Universidade Federal do Ceará.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Pesquisa e Experimentação. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Estado da Paraíba. **I. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro, (Boletim Técnico, p.15; SUDENE. Série Pedologia), 1972.

CORNELISSEN, J. H. C.; LAVORELB, J. S.; GARNIERB, E.; DÍAZC,S.; BUCHMANND, N.; GURVICHC,D. E.; REICHE,P. B.; TER STEEGEF, H.; MORGANG,H. D.; VAN DER M. G. A.; HEIJDNA, PAUSASJ. G.; POORTER, H. A handbook of protocols for standardised and easy

measurement of plant functional traits worldwide. **Journal of Botany**. Austrália, v. 51, n. 4, p. 335-380, 2003.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Produção de Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 412.

GOMES, S. J.; SILVA, L. B. A. C.; RODAL, M. J. N.; SILVA, H. C. H. Estrutura do sub-bosque lenhoso em ambientes de borda e interior de dois fragmentos de floresta atlântica em Igarassu, Pernambuco, Brasil. **Rodriguésia**. Rio de Janeiro, v. 60, n. 2, p. 295-310, 2009.

GOULDEN, M. L.; MILLER, S.D.; ROCHA, H. R.; MENTON, M. C.; FREITAS, H.C.; SOUZA, F. A. D. C. Diel and seasonal patterns of tropical forest CO₂ exchange. **Ecological Applications**, Califórnia, v.14, n. 4, p.42-54, 2004.

IBGE. **Manual técnica da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE 2012.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984.408.

KLAR, A. E. VILLA NOVA, N. A.; MARCOS, Z. Z. ; CERVÉLLINI, A. **Determinação da umidade do solo pelo método das pesagens**. In: Anais da Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz. Anais. Piracicaba, v. 23, p. 15-30, 1966.

KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B. RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**. Berlin, v. 15, n. 3, p. 259-263, 2006.

LEHTO, T.; GRACE, J. Carbon balance of tropical tree seedlings: a comparison of two species. **New Phytologist**, v.127, n. 3, p.455-463, 1994.

MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. A. F.; GOMES, F. P. Photosynthetic Traits of Five Neotropical Rainforest Tree Species: Interactions between Light Response Curves and Leaf-To-Air Vapour Pressure Deficit. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v.48, n. 5, p. 815-824, 2005.

OMETTO, J. P. H.; FLANAGAN, L. B.; MARTINELLI, L. A.; MOREIRA, M. Z.; HIGUCHI, N.; EHRLINGER, J. R. Carbon isotope discrimination in forest and pasture ecosystems of the Amazon Basin, Brazil. **Global Biogeochemical Cycles**, Washington v.16, n.4, p. 56-10, 2002.

PHILLIPS, O. L.; ARAGÃO, L. E. O. C. ; LEWIS, S. L. ; FISHER, J. B.; LLOYD, J.; LOPEZ, G. G.; MALHI, Y.; MONTEAGUDO, A.; PEACOCK, J.; QUESADA C. A.; PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p.869-882, 2011.

POORTER, L. Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. **Functional Ecology**. Londres, v. 15, n. 5, p. 113-123, 2001.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R. A language and environment for statistical computing. Versão 3.1.3. Viena: R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, <http://www.R-project.org/>. 2017.

REGAZZI, A. J. **Análise multivariada**. Viçosa: UFV, 2010.371.

SILVA, A. S.; OLIVEIRA, J. G.; CUNHA, M.; VITÓRIA, A. P. Photosynthetic performance and anatomical adaptations in *Byrsonima sericea* DC. Under contrasting light conditions in a remnant of the Atlantic forest. **Brazilian Society of Plant Physiology**. Rio de Janeiro, v. 22, n. 4, p. 245-254, 2010.

WHITFORD, K. R.; COLQUHOUN, I. J.; LANG, A. R. G.; HARPER, B. M. Measuring leaf area index in a sparse eucalypt forest: a comparison of estimates from direct measurement, hemispherical photography, sunlight transmittance and allometric regression. **Agricultural and Forest Meteorology**. Minnesota-USA, v. 74, n.3, p.237-249, 1995.

WRIGHT K. “corrgram”: plot a correlogram. 2016. Disponível em: R package version 1.10. <https://CRAN.R-project.org/package=corrgram>.

CAPITULO II:

EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA A ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DO *Erythroxylum paufferense* PLOWMAN (ERYTHROXYLACEAE)

BARBOSA, ANA JÉSSICA SOARES. **EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS PARA A ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DO *Erythroxylum paufferense* PLOWMAN (ERYTHROXYLACEAE).** 2017. Orientador: Manoel Bandeira de Albuquerque.

RESUMO

Estudos com área foliar são de grande importância no contexto ecofisiológico, uma vez que esta variável está atrelada ao crescimento e desenvolvimento das espécies. O presente estudo teve como

objetivo ajustar 12 equações alométricas, bem como indicar, as melhores equações, para a estimativa da área foliar, da espécie *Erythroxylum pauferrense* fazendo-se uso das medidas de comprimento e largura. Esta pesquisa foi realizada na Reserva Ecológica Estadual Mata do Pau-Ferro, localizada na cidade de Areia, PB. Onde foram coletados 600 lâminas foliares, desde folhas de indivíduos regenerantes à adulto. Em seguida, as folhas foram enumeradas e digitalizadas através do scanner de mesa. Foram testados doze modelos teóricos utilizando-se combinações entre as variáveis dimensionais de comprimento e largura e os respectivos valores de área foliar. Verificou-se a necessidade de realizar a análise por intervalo de confiança. O tamanho médio das folhas foi de 7,75 cm² e desvio padrão de 4,51 cm², todos os modelos ajustados para estimar a área foliar de *Erythroxylum pauferrense* demonstraram forte correlação. Conforme os parâmetros de ajuste e a análise estatística dos desvios, as equações mais precisas foram demonstradas pelas equações dos modelos: linear simples ($\hat{Y}=0,0244+0,7204(C \times L)$) e potência ($\hat{Y}=0,7279+0,9971(C \times L)$). Uma vez que, os modelos mostraram normalidade na distribuição dos erros, as duas equações demonstram ser ótimos modelos para a estimativa de área foliar da espécie. elas destacam-se pela sua capacidade de produzir resultados com precisão e confiabilidade. Vale ressaltar que este método não é destrutivo e permitirá aos pesquisadores realizar trabalhos de maneira simples, e sem precisar recorrer a equipamentos de maior custo financeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Erythroxylaceae, equações alométricas, área foliar

BARBOSA, ANA JÉSSICA SOARES. **ALOMETRIC EQUATIONS FOR THE ESSENCE OF THE FOLIAR AREA OF *Erythroxylum pauferrense* PLOWMAN (ERYTHROXYLACEAE).** 2017. Adviser: Manoel bandeira de Albuquerque.

ABSTRACT

Studies with leaf area are of great importance in the ecophysiological context, since it is variable linked to the growth and development of the species. The present study had as objective to adjust 12 allometric equations, as well as to indicate, the best equations, for the estimation of the leaf area of the species *Erythroxylum pauferrense* using the measures of length and width. This research was carried out in the Mata do Pau-Ferro State Ecological Reserve, located in the city of Areia, PB. Where 600 leaf blades were collected, from leaves of regenerating individuals to adults. The sheets were then enumerated and scanned using the flatbed scanner. Twelve theoretical models were tested using combinations of length and width dimension variables and respective leaf area values. There was a need to perform the confidence interval analysis. The mean leaf size was 7.75 cm² and the standard deviation was 4.51 cm², all the models adjusted to estimate the leaf area of *Erythroxylum pauferrense* showed a strong correlation. According to the adjustment parameters and the statistical analysis of the deviations, the most precise equations were demonstrated by the simple linear equations ($\hat{Y} = 0.0244 + 0.7204 (CxL)$) and power ($\hat{Y} = 0.7279 + 0,9971 (CxL)$). Since the models showed normality in the distribution of the errors, the two equations prove to be good models for the estimation of leaf area of the species. They stand out for their ability to produce results with accuracy and reliability. It is worth noting that this method is not destructive and will allow the researchers to perform work in a simple way, and without having to resort to equipment of greater financial cost.

KEYWORDS: Erythroxylaceae, allometric equations, foliar area

1 INTRODUÇÃO

A folha é uma importante ferramenta de pesquisa no âmbito ecofisiológico e tem contribuído na elucidação de mecanismos que permitem o melhor entendimento de como as plantas respondem as condições ambientais e climáticas onde estão inseridas (Wright et al., 2004). Pois, é nas folhas onde ocorrem as importantes funções dos vegetais como absorção de luz e regulação hídrica

(Taiz;Zeiger, 2013). Sendo uma variável utilizada para compreensão da morfologia, anatomia e ecofisiologia das espécies vegetais, ou seja, está diretamente atrelada a importantes processos biológicos (Lopes et al., 2004; Queiroz et al., 2013; Sachet et al., 2015; Silva et al., 2015).

A estimativa desta variável permite conhecer a relação entre planta e ambiente, sua adaptação ecológica a novos ambientes, sua competição com outras espécies, os efeitos de seu manejo e tratamentos culturais, ou seja, a área foliar está relacionada ao crescimento e desenvolvimento vegetal (Monteiro et al., 2005). Para estima-lá, alguns métodos foram elaborados. A área foliar pode ser medida através de equipamentos de alto custo financeiro. Mas também, pode ser estimada através de metodologias simples e acessíveis, como as equações matemáticas, que faz uso das dimensões lineares de comprimento e largura ou ambos (Maracajá et al., 2008; Lima, et al., 2012). Estes métodos são definidos como destrutivos e não destrutivos. Os métodos destrutivos são caracterizados pela retirada das plantas. Entretanto, o método de determinação de área foliar utilizando a digitalização de imagens vem se destacando pela precisão e fácil manuseio (Tavares-Júnior et al., 2002). Além de permitir o acompanhamento do crescimento e da expansão foliar da mesma planta, desde o início até o fim do ciclo reduzindo a variabilidade experimental associada com procedimentos de amostragens destrutivas (Busato et al., 2010).

Alguns trabalhos na literatura têm mostrado o uso de modelos baseados na estimativa de área foliar, utilizando-se as dimensões lineares de espécies (Coelho-Filho et al., 2005; Bianco et al., 2003; Maracajá et al., 2008; Santos et al., 2014; Silva et al., 2014; Sachet et al., 2015; Schmildt et al., 2016). Isso mostra que esta técnica é um importante instrumento na avaliação de área foliar de muitas espécies (Busato et al., 2010). Muitos trabalhos na literatura dispõem de informações a cerca de estimativas de área foliar para algumas espécies agricultáveis (Bianco et al., 2003; Maracajá et al., 2008). Contudo, algumas espécies florestais ainda não detêm de informações no contexto de sua área foliar. Dentre essas espécies não estudadas, referente ao tema, destacamos o *Erythroxylum pauferrense* que é uma arvoreta que pode alcançar 1,5-4 m altura, é uma árvore de subbosque, que se desenvolve sob condições limitadas de luminosidade, é uma espécie endêmica da região nordeste do Brasil (Loiola et al., 2007). Ainda muito pouco estudada, merece atenção devido a sua ameaça de extinção. São muito escassos trabalhos na literatura mais específicos, inclusive no que se refere a ecofisiologia. Com o intuito de contribuir para informações sobre a área foliar do *E. pauferrense*, o presente trabalho teve como objetivo ajustar equações alométricas, bem como indicar, as melhores equações, para a estimativa da área, fazendo-se uso das medidas de comprimento e largura. Tendo como objetivos específicos: (i) ajustar e avaliar 12 modelos de regressão para estimar a área foliar utilizando-se as medidas lineares do limbo foliar e (ii) selecionar o modelo mais preciso, avaliando sua acurácia e confiabilidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

Este estudo foi realizado na Reserva Ecológica Estadual Mata do Pau-Ferro, localizada na cidade de Areia, PB. Conforme características apresentadas no capítulo I.

2.2 Espécie estudada

A espécie estudada foi o *Erythroxylum pauferrense* Plowman, é uma planta de sub-bosque, da família Erythroxylaceae, endêmica da região nordeste do Brasil é considerada como rara e com risco de extinção. Como apresentada no capítulo anterior (I).

2.3 Coleta de dados

Foram selecionados indivíduos da espécie *Erythroxylum pauferrense*, onde foram coletados 600 lâminas foliares, desde folhas de indivíduos regenerantes à adulto, contemplando todo o espectro de tamanhos de folhas mensuráveis, desde as ‘iniciais’ até as folhas maduras, as coletas foram realizadas entre os meses de Agosto de 2015 à Setembro de 2016. Foram escolhidas folhas saudáveis, livres de qualquer dano causados por herbívora. Em seguida, as folhas foram enumeradas e digitalizadas através do scanner de mesa (HP Deskjet 2540), e posteriormente, processadas através do software Image-pro Plus® versão 4.0 (Media Cybernetics). Para sua obtenção, a área foliar foi medida em centímetros quadrados (cm²), o comprimento máximo (C) foi estimado como a maior distância entre o ponto de inserção do pecíolo, no limbo foliar, e a extremidade do ápice da folha. E a largura máxima (L), como a maior dimensão horizontal ao eixo da nervura principal, as dimensões foram medidas em centímetros (Figura 1).

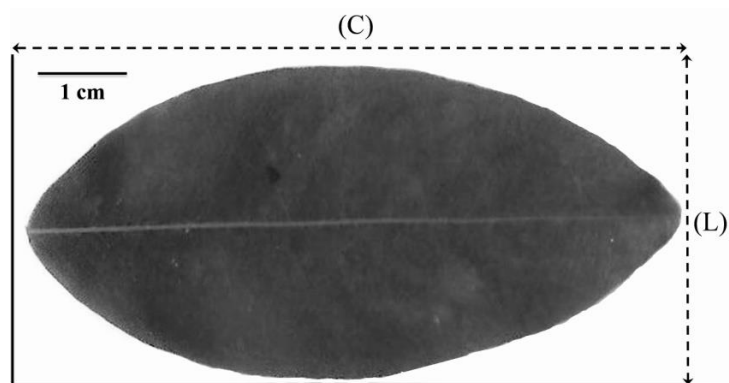


Figura 1. Esquema das aferições no limbo foliar, sendo “C” o comprimento máximo e “L” a largura máxima, realizada para as folhas da espécie *Erythroxylum paufferense*.

2.4 Modelos teóricos

Foram testados doze modelos teóricos utilizando-se combinações entre as variáveis dimensionais de comprimento e largura e os respectivos valores de área foliar. As equações foram priorizadas pelo princípio da simplicidade e praticidade.

Tabela 2. Relação dos modelos teóricos testados e suas respectivas generalizações, utilizados para predição da área foliar da espécie *Erythroxylum paufferense* Plowman.

Equações	Tipo	Modelo alométrico
(1)	Linear	$Y = \beta_0 + \beta_1 * C + e_i$
(2)	Linear	$Y = \beta_0 + \beta_1 * L + e_i$
(3)	Linear	$Y = \beta_0 + \beta_1 * (CL) + e_i$
(4)	Potência	$Y = \beta_0 * C^{\beta_1} e_i$
(5)	Potência	$Y = \beta_0 * L^{\beta_1} e_i$
(6)	Potência	$Y = \beta_0 * (CL)^{\beta_1} e_i$
(7)	Potência Modificado	$Y = C^{\beta_1} e_i$
(8)	Potência Modificado	$Y = L^{\beta_1} e_i$
(9)	Potencia Modificado	$Y = (CL)^{\beta_1} e_i$
(10)	Linear Modificado	$Y = \beta_1 * C + e_i$
(11)	Linear Modificado	$Y = \beta_1 * L + e_i$
(12)	Linear Modificado	$Y = \beta_1 * (CL) + e_i$

Em que: Y = Área Foliar; C = comprimento máximo; L = largura máxima; CL = produto de CxL; β_0 e β_1 = parâmetros dos modelos e e_i = erro aleatório

2.5 Análise estatística

As variáveis dimensionais de comprimento (C) e largura (L) e os valores de área foliar (AF), foram obtidos através dos comandos do Software DataFit versão 8.0.32 (Oakdale Engenharia, Oakdale, PA, EUA) e do Statistica versão 8.0 (StatSoft, Tulsa, OK, USA). Assim, para área foliar unitária (AF) foi considerada, como a área do limbo foliar, e foi inserida como variável dependente no modelo. As dimensões lineares Comprimento e largura e 'CxL' como variáveis independentes. Os critérios para a seleção dos modelos, consistiram na análise de variância teste 'F' ($p \leq 0,01$), coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) erro padrão das estimativas (S_{xy}), quadrado médio do resíduo ($QM_{\text{resíduo}}$), no teste t -Student ($p > 0,01$) para média absoluta do erro no padrão de dispersão dos erros em percentuais ($E_i \%$). Através de gráficos, foram analisadas o conjunto (total) da amostra tanto em folhas grandes e pequenas. Quanto a avaliação da normalidade do resíduo, foi baseada no princípio da heterocedasticidade, quando notada, a equação não é utilizada.

2.6 Análise Estatística dos desvios

Verificou-se a necessidade de realizar a análise por intervalo de confiança. Para este caso, verificou-se para cada modelo o teste de hipótese para media dos desvios ($\frac{\sum_{i=1}^{600} e_i}{n} = 0$ ou $\frac{\sum_{i=1}^{600} e_i}{n} \neq 0$), seguido do intervalo de confiança (IC) para a média pela inferência da distribuição t -Student ($p > 0,01$).

3. RESULTADOS

3.1 Características foliares

A amplitude de variação das folhas obtidas para o conjunto amostral, considerando os dados de AF da espécie *Erythroxylum pauferrense* na área amostrada, foi de 0,13 a 19,24 cm² de área foliar, sendo que o tamanho médio das folhas foi de 7,75 cm² e desvio padrão de 4,51 cm² (Tabela 3).

Tabela 3. Valores do comprimento máximo (C), largura máxima (L) e área foliar real (AF), da espécie *Erythroxylum pauferrense*, seguido das respectivas médias ($\bar{x}$), desvio padrão (S_x) valores mínimos e máximos das variáveis e do tipo do limbo foliar.

Comprimento (cm)				Largura (cm)				Área foliar (cm ²)				Tipo de folha
$\bar{x} \pm S_x$	Min.	Máx.		$\bar{x} \pm S_x$	Min.	Máx.		$\bar{x} \pm S_x$	Min.	Máx.		
4,36	1,61	0,36	7,29	2,50	0,82	0,25	3,8	7,75	4,51	0,13	19,24	Simplex

Todos os modelos ajustados para estimar a área foliar de *Erythroxylum pauferrense* demonstraram forte correlação entre as medidas lineares do limbo foliar e a área foliar observada (R^2_{aj} variou de 0,9095 a 0,9977; $p < 0,01$). No entanto, as equações que obtiveram menores (S_{xy}) valores do erro padrão da estimativa, foram às equações (3) e (6) o que indicando bons ajustes (Tabela 4).

Tabela 4. Modelos ajustados para folhas de *Erythroxylum pauferrense* com os respectivos coeficientes de regressão (β_0 , β_1), erros padrão das estimativas (S_{xy}), coeficientes de determinação ajustados (R^2_{aj}), graus de liberdade dos resíduos ($Gl_{resd.}$), quadrado médio do resíduo ($QM_{resid.}$) e equação estimadora da área foliar ($\hat{Y}$) em função das medidas lineares.

Modelo	Coeficientes		$S_{(xy)}$	R^2_{aj}	Gl_{res}	$QM_{resid.}$	p	Estimador = ($\hat{Y}$)
	β_0	β_1						
(1)	-3,2606	2,7114	1,1179	0,9387	599	1,2497	<0,01	$\hat{Y} = 3,2606 + 2,7114C$
(2)	-4,4021	5,2192	1,3479	0,9109	599	1,8168	<0,01	$\hat{Y} = 4,4021 + 5,2192L$
(3)	0,0244	0,7204	0,22399	0,9975	599	0,0502	<0,01	$\hat{Y} = 0,0244 + 0,7204(C \times L)$
(4)	0,6477	1,7058	0,8393	0,9654	599	0,7044	<0,01	$\hat{Y} = 0,6477 + 1,7058 C$
(5)	1,1907	2,0653	0,9594	0,9095	599	0,8272	<0,01	$\hat{Y} = 1,1907 + 2,0653 L$
(6)	0,7279	0,9971	0,2242	0,9975	599	0,0502	<0,01	$\hat{Y} = 0,7279 + 0,9971(C \times L)$
(7)	-	1,4459	0,9706	0,9537	598	0,9421	<0,01	$\hat{Y} = 1,4459C$
(8)	-	2,2233	0,9366	0,9569	598	0,8773	<0,01	$\hat{Y} = 2,2233L$
(9)	-	0,8820	0,4282	0,9910	598	0,1833	<0,01	$\hat{Y} = 0,8820 (C \times L)$
(10)	-	2,0178	1,6418	0,9649	598	0,9649	<0,01	$\hat{Y} = 2,0178C$
(11)	-	3,5396	1,9940	0,9410	598	3,9761	<0,01	$\hat{Y} = 3,5396L$
(12)	-	0,7220	0,2241	0,9977	598	0,0502	<0,01	$\hat{Y} = 0,7220(C \times L)$

As equações dos modelos lineares simples (1), (2), modelos de potencia (4) e (5), potência modificados (7), (8), (9) e lineares modificados (10), (11), foram consideradas tendenciosas. Uma análise mais apurada indicou que a utilização destas equações são falhas para um percentual de ~ 18,33 % ou até ~ 99,33% quando considerados os erros relativos $\geq 40\%$. A área foliar (AF), nestes

casos foi hora sobreestimada e hora subestimada, além disso os padrões de dispersão dos resíduos nestas equações não seguiram uma distribuição homogênea (heterocedasticidade).

Os modelos lineares modificados (10), (11) e (12), por sua vez, mostraram indícios de inviabilidade pela assimetria dos desvios (Figura 2). Fato confirmado pelo teste de hipótese e o intervalo de confiança, realizado para a média dos desvios de cada equação (distribuição *t*-Student $p>0,01$). A utilização das equações dos modelos potenciais modificados (7), (8) e (9) também se mostraram inadequadas, uma vez que o intervalo de confiança, não conteve o "zero", rejeitando-se, portanto, a hipótese de nulidade (Figura 2).

Em suma, a partir da inferência da análise estatística do desvio (teste *t*-Student; $\alpha=0,01$), maior parte das equações subestimou (9) e (12) ou sobreestimou a área foliar (4), (5), (7), (8), (10) e (11), o que descarta a possibilidade de uso destas equações ajustadas para os modelos especificados acima.

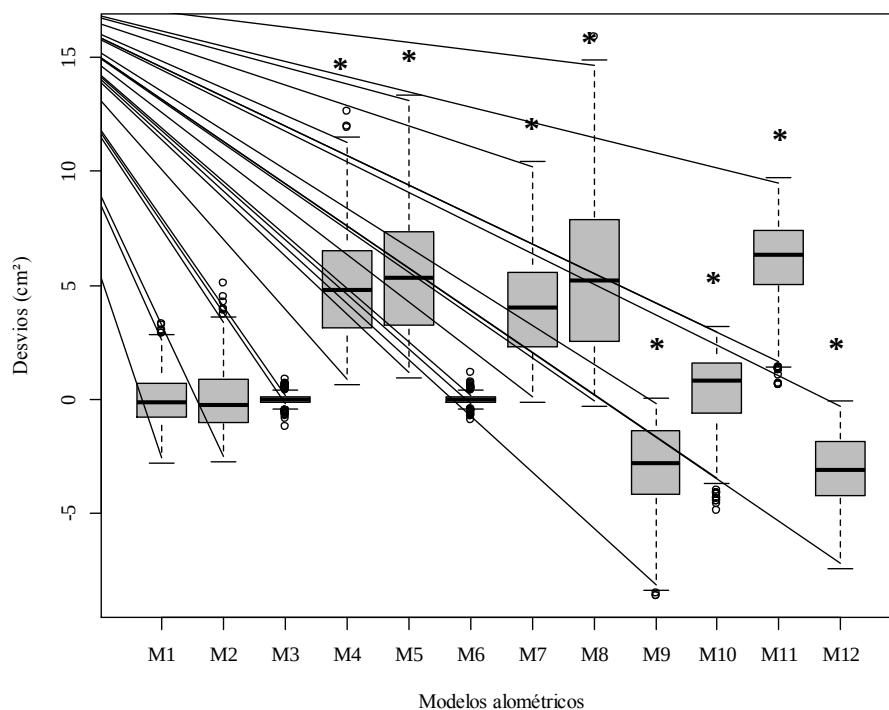


Figura 2. Assimetria dos desvios produzidas pelas equações alométricas (1 à 12). O limite inferior da caixa indica o percentil 25, as linhas dentro das caixas denotam a mediana e o limite superior da caixa indica o percentil 75. As linhas verticais acima e abaixo da caixa indicam os valores mínimos e máximos (*outliers* são mostrados como pontos). Os asteriscos (*) denotam equações viesadas, de acordo com intervalos de confiança calculados para a média dos desvios (99% pela distribuição *t*-Student).

Conforme os parâmetros de ajuste e a análise estatística dos desvios, as equações mais precisas foram demonstradas pelas equações dos modelos: linear simples ($\hat{Y}=0,0244+0,7204(C \times L)$) e potência ($\hat{Y}=0,7279+0,9971(C \times L)$). Dessa modo, entende-se que a análise do padrão de dispersão

dos resíduos se faz necessária, carecendo ser apresentada, visto que, não foram encontrados parâmetros estatísticos de diferenças significativas entre as equações (Figura 3). Ambas as equações apresentaram significativos coeficientes de determinação (R^2_{aj}) e baixo erro padrão das estimativas (S_{xy}).

A menor dispersão percentual dos resíduos é demonstrada pela equação (3) e (6) (Figura 3). verificando-se os parâmetros estatísticos mais precisos. Os resíduos relativos neste modelo estão na ordem de -26,29 a 11,22%, estes erros são normais e constantes o que reflete a variabilidade das folhas de *Erythroxylum pauferrense* ($7,75 \pm 4,51$). Diante disso, os critérios estatísticos apresentados, prosseguiu-se com as análises das estimativas propostas pelas equações que foram utilizadas as duas dimensões (CxL) das seguintes equações (Equação 3) e (Equação 6). As equações geradas com a utilização das dimensões de comprimento e largura (CxL) são de fato comuns, tratando-se de espécies com folhas simples (MARACAJÁ et al., 2008; CARDOZO et al. 2014).

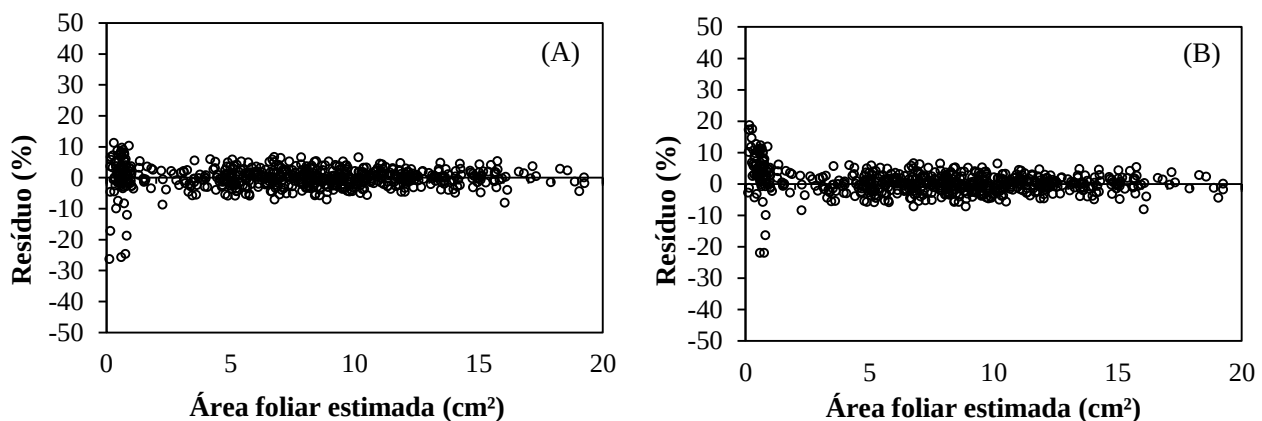


Figura 3. Diagrama de dispersão dos resíduos relativos (E_i %) para as estimativas da área foliar de *Erythroxylum pauferrense* obtidas através da equação do modelo linear (3) (Figura A) e a equação do modelo potencial (6) (Figura B).

Analisando o comportamento simultâneo da AF em função do produto das dimensões (CxL), por meio da equação (3) e (6) (Figura 4). Estas relações expressam significativos valores de (R^2_{aj}), ajustes precisos com pequena dispersão dos dados em torno das médias. A pequena dispersão dos valores de AF em relação à média aponta maior correlação, cuja função é direta do uso do produto (CxL) (Figura 4), o que justifica o bom ajuste, de forma que ambas as equações poderiam ser utilizadas com precisão.

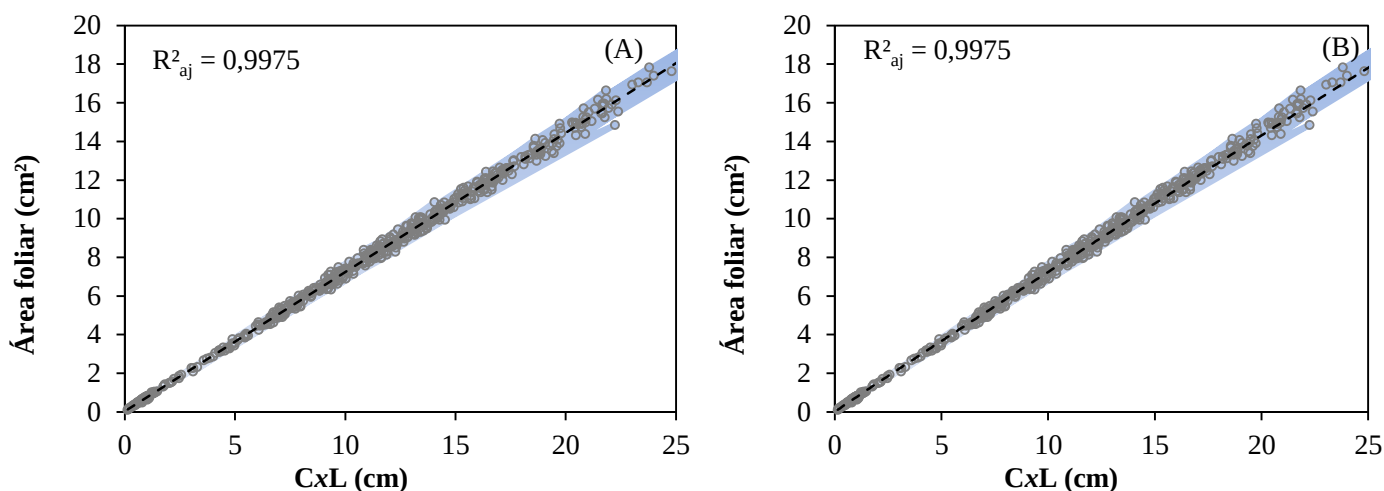


Figura 4 – Diagrama de dispersão entre AF e o produto entre as dimensões lineares das folhas de *Erythroxylum paufferense* (CxL), usando o modelo linear (A) e o modelo potencial (B).

4 DISCUSSÃO

Os modelos de regressão que melhor estimaram a área foliar de *Erythroxylum paufferense* foram às equações do modelo linear (3) e de potencia (6), uma vez que, os modelos mostraram normalidade na distribuirão dos erros, as duas equações demonstram ser ótimos modelos para a estimativa de área foliar da espécie. Estes resultados corroboram com alguns estudos já realizados com espécies de folha simples (Toeber et al., 2010; Lima, et al. 2012). Cardozo et al., (2011) ao estimar a área foliar de *Crotalaria juncea* L, em suas análises observaram valores menores de coeficiente de determinação ajustado da área foliar com o utilizando o produto de comprimento e a largura das folhas.

Estes dados mostram a eficiência do modelo em estimar a área foliar de uma algumas espécies e a importância dessa metodologia utilizada em sua determinação (Monteiro et al., 2005). Apesar de todas as equações apresentarem dados significativos, as equações determinadas pelos modelos lineares simples (1) e (2) foram rejeitadas, uma vez que apresentaram valores negativos, sendo indicado como modelos inadequados para estudo (Williams; Martinson 2003). Os modelos de dimensão única desta pesquisa mantiveram uma boa precisão. É possível simplificar mais o processo de estimação da área foliar, utilizando-se um único produto, seja apenas “C” ou “L” separadamente. Desse modo, há mais praticidade no processo, no entanto, com uma pequena diminuição na precisão da estimativa (Monteiro et al., 2005).

Para a espécie estudada *E. pauferrense*, a equação que melhor estimou a área foliar, apesar das modificações peculiares da espécie, as melhores equações utilizaram-se as medidas de comprimento e largura, mostrando normalidade na distribuição dos erros. Estes resultados corroboram com alguns estudos já realizados com outras espécies (Maracajá et al., 2008; Cardozo et al. 2014; Santos et al., 2016).

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, as equações indicados para estimar a área foliar do *Erythroxylum pauferrense*, são os modelos linear ($\hat{Y}=0,0244+0,7204(C \times L)$) e de potencia ($\hat{Y}=0,7279+0,9971(C \times L)$), elas destacam-se pela sua capacidade de produzir resultados com precisão e confiabilidade. Vale ressaltar que este método não é destrutivo e permitirá aos pesquisadores realizar trabalhos de maneira simples, e sem precisar recorrer a equipamentos de maior custo financeiro.

REFERÊNCIAS

- ADAMI, M.; FARIA, R. Soybean leaflet area estimation using digital imagery and leaf dimensions. **Bragantia**, Campinas, v.67, n.4, p.1053-1058, 2008.
- ANTUNES, W. C.; POMPELLI, M. F.; CARRETERO, D. M.; MATTA, F. M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, Warwick, v. 153, n. 1, p. 33-40, 2008.
- CARDOSO, N.P.; PARREIRA, M. C.; PANOSSO, A. R.; VOLPE, C. A. Modelagem da área foliar de duas cultivares de amendoim em função das dimensões lineares dos folíolos. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 1, p. 101-107, 2014.
- FAVARIN, J. L. Equações para a estimativa do Índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agroecuaría Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 769-773, 2002.
- FAVARIN, J. L.; DOURADO-NETO, D.; MAIA, A. H. N.; FAZUOLI, L. C.; BERNARDES, M. S. Análise comparativa de métodos de estimativa de área foliar em cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 02, p. 199-203, 2002.
- GODOY, L. J. G.; YANAGIWARA, R. S. Análise da imagem digital para estimativa da área foliar em plantas de laranja “pêra”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 420-424, 2007.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Pacific Grove: Duxbury Press, 2000. ISBN 978-0534380199.

- KANDIANNAN, K.; KAILASAM, C. K.; CHANDARAGIRI, K.; SANKARAN, N. Allometric model for leaf area estimation in black pepper (*Pipernigrum*). **Journal Agronomy & Crop Science**, Madison, v. 188, n. 2, p. 138-140, 2002.
- KANDIANNAN, K.; PARTHASARATHY, U.; KRISHNAMURTHY, K. S.; THANKAMANI, C. K.; SRINIVASAN, V. Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. **Scientia Horticulturae**, v. 120, n. 4, p. 532–537, 2009.
- KUMAR, R. Calibration and validation of regression model for non-destructive leaf area estimation of saffron (*Crocus sativus* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 142-145, 2009.
- LIMA, R. T.; SOUZA, P. J. O. P.; RODRIGUES, J. C.; LIMA, M. J. A. Modelos para estimativa da área foliar da mangueira utilizando medidas lineares. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 34, n. 4, p. 974-980, 2012.
- LIZASO, J. I.; BATCHELOR, W. D.; WESTGATE, M. E. A. leaf area model to simulate cultivar specific expansion and senescence of maize leaves. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, n. 1, p. 1-17, 2003.
- LOIOLA, M. I. B.; AGRA, M. F.; BARACHO, G. S.; QUEIROZ, R. T. Flora da Paraíba, Brasil: Erythroxylaceae Kunth. **Acta Botânica Brasilica**, Belo Horizonte, v. 21, n. 2 p.473-487, 2007.
- LOPES, M. C.; ANDRADE, I.; PEDROSO, V. MARTINS, S. Modelos empírico para estimativa da área foliar da videira na casta Jaen. **Ciência e Tecnologia Vitivinicultura**, Porto Alegre, v.19, n.2, p. 61-75, 2004.
- LOPES, M. C.; ANDRADE, I.; PEDROSO, V.; MARTINS, S. Modelos empíricos para estimativa da área foliar da videira na casta Jaen. **Ciência e Tecnologia Vitivinicultura**, v. 19, n. 2, p. 61-75, 2004.
- MARACAJÁ, P. B.; MADALENA, J. A. S.; ARAÚJO, E.; LIMA, B. G.; LINHARES, P. C. F. Estimativa da área foliar de juazeiro por dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Verde**, Mossoró, v.3, n.4, p. 0-05, 2008.
- MONTEIRO, J. E. B. A.; SENTELHAS, P. C.; CHIAVEGATO, E. J.; GUISELINI, C.; SANTIAGO, A, V.; PRELA, A. Estimação da área foliar do algodoeiro por meio de dimensões e massa das folhas, **Bragantia**, Campinas, v.64, n.1, p.15-24, 2005
- MORAES, L.; SANTOS, R. K.; WISSER, T. Z.; KRUPKEK, R. A. Avaliação da área foliar a partir de medidas lineares simples de cinco espécies vegetais sob diferentes condições de luminosidade. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 11, n. 04, p. 381-387, 2013.
- MOREIRA FILHO, E.; SILVA, C. D. S.; PEREIRA, W. E.; CABRAL, J.; ANDRADE, M. V. M.; SILVA G. E.; VIANA, B. L. Estimação da área foliar da flor de seda (*Calotropis procera*). **Revista Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 56 n. 254, p. 245-248, 2007.

- NETO, A. G. S. **Avaliação da área foliar de cinco espécies florestais ocorrentes no semiárido paraibano**. Campina Grande. 2009. 30f. (Trabalho de conclusão de curso) Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Campina Grande.
- PEKSEN, E. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). **Scientia Horticulturae**, Amsternam, v. 113, n. 4, p. 322-328, 2007.
- POMPELLI, M. F.; ANTUNES, W. C.; FERREIRA, D. T. R. G.; CAVALCANTE, P. G. S.; WANDERLEY-FILHO, H. C. L.; ENDRES, L. Allometric models for non-destructive leaf area estimation of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bionergy**, Oxford, v. 36, n. p. 77-85, 2012.
- QUEIROZ, J. E.; SILVA, G. H.; NETO, A. G. S. Avaliação estatística da área foliar através de modelos de equações em duas espécies florestais. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n. 1, p. 146-153, 2013.
- SANTOS, J. N. B. **Equações alométricas para estimativa da área foliar de espécies lenhosas de floresta ombrófila de terras baixas**. Recife. 2016, 102f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural de Pernambuco.
- SCHEEPENS, J. F.; FREI, E. S.; STÖCKLIN, J. Genotypic and environmental variation in specific leaf area in a widespread Alpine plant after transplantation to different altitudes. **Oecologia**, Berlin, v. 164, n. 1, p. 141-150, 2010.
- SCHMILDT, E. R.; OLIARI, L. S.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R. S.; PIRES, F. R. Determinação da área foliar de *Passiflora mucronata* a partir de dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Agroambiente On-line**, v. 10, n. 4, p. 351-357, 2016.
- SCHMILDT, E. R.; OLIARI, L. S.; SCHMILDT, O.; ALEXANDRE, R. S.; PIRES, F. R. Determinação da área foliar de *Passiflora mucronata* a partir de dimensões lineares do limbo foliar. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 10, n. 4, p. 351-357, 2016.
- SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. 2. Santa Maria, FACOS- UFSM, 2009. 294.
- SILVA, G. H.; QUEIROZ, J. E.; NETO, A. G. S. Avaliação da área foliar de três espécies florestais ocorrentes no semiárido paraibano (*Amburana cearensis*, *Caesalpinia ferrea*, *Caesalpinia pyramidalis*). **Revista de Biologia e Farmácia**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 01-11, 2013.
- SOARES, M. G. **Plasticidade fenotípica de plantas jovens de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) em resposta a radiação solar**. Vitória. 2012, 91f. (Dissertação Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Biologia vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo.
- SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; LEONE, S.; SOUZA, M. E.; TANAKA, A. A. Estimativas da área da folha de figueiras ‘Roxo de Valinhos’ usando dimensões lineares do limbo foliar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 7, p. 1172-1179, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGUER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. (ed). Porto Alegre. 2013. 954.

TOEBEL, M.; BRUM, B.; JOSÉ LOPES, S. J.; FILHO, A. C.; SILVEIRAI, T. R. Estimativa da área foliar de *Crambe abyssinica* por discos foliares e por fotos digitais. **Revista Ciência Rural**, v. 40, n. 2, p. 475-478, 2010.

WRIGHT, I. J.; REICH, P. B.; WESTOBY, M.; ACKERLY, D. D.; BARUCH, Z.; BONGERS, F.; CAVENDER-BARES, J.; CHAPIN, T.; CORNELISSEN, J. H. C.; DIEMER, M.; FLEXAS, J.; GARNIER, E.; GROOM, P. K.; GULIAS, J.; HIKOSAKA, K.; LAMONT, B. B.; LEE, T.; LEE, W.; LUSK, C.; MIDGLEY, J. J.; NAVAS, M. L.; NIINEMETS, Ü.; OLEKSYN, J.; OSADA, N.; POORTER, H.; POOT, P.; PRIOR, L.; PYANKOV, V. I.; ROUMET, C.; THOMAS, S. C.; TJOELKER, M. G.; VENEKLAAS, E. J.; VILLAR, R. The worldwide leaf economics spectrum. **Nature**, Philadelphia, v.428, p. 821-827, 2004.

ZAR, J. H. **Bioestatistical analysis**. 5. New Jersey: Pearson, 2010. 944.

CONCLUSÕES GERAIS

As informações apresentadas neste estudo demonstram a importância de trabalhar com espécies em um âmbito mais específico e compreender como as mesmas se moldam mediante aos efeitos ambientais, uma vez que elas tendem acompanhar as mudanças ocasionadas pela sazonalidade.

A espécie *Erythroxylum pauferrense*, (Pouco evidenciada em seu contexto ecofisiológico) mostrou peculiaridades em seus atributos ecofisiológicos, os resultados mostrados aqui, contribuíram para um melhor entendimento das estratégias de sobrevivência. Por se tratar de uma espécie de sub-bosque e por está localizada em remanescentes de Floresta Atlântica fazem com que essa espécie invista em seus conteúdos fotossintéticos sem a interferência de luminosidade em grande intensidade e suas condições ambientais peculiares favorecem sua manutenção. As informações quanto a área foliar, também são de grande valia para trabalhos futuros, uma vez que a metodologia apresentada é acessível e de grande confiabilidade. Estes resultados podem ser aplicados para a utilização na conservação da espécie, recuperação de área, além de contribuir de forma positiva para a realização de estudos promissores.