

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS

TROCAS GASOSAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM RESPOSTA À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA FOLIAR: EFEITO DO AMBIENTE TOPOGRÁFICO NA AMAZÔNIA CENTRAL

ROSILENA CONCEIÇÃO AZEVEDO DE OLIVEIRA

Manaus - AM

2019

ROSILENA CONCEIÇÃO AZEVEDO DE OLIVEIRA

TROCAS GASOSAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM RESPOSTA À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA FOLIAR: EFEITO DO AMBIENTE TOPOGRÁFICO NA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador: Dr. Joaquim dos Santos

Coorientador: Niro Higuchi

Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em: Manejo de florestas tropicais.

Manaus - AM

2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

O48t Oliveira, Rosilena Conceição Azevedo de
Trocas gasosas de espécies arbóreas em resposta à variação de temperatura foliar: efeito do ambiente topográfico na Amazônia Central / Rosilena Conceição Azevedo de Oliveira. 2019
71 f.: il.; 31 cm.

Orientador: Joaquim dos Santos
Coorientador: Niro Higuchi
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. trocas gasosas. 2. temperatura foliar. 3. gradiente topográfico. 4. no. I. Santos, Joaquim dos II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

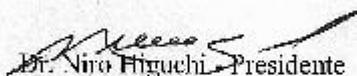
ROSILENA CONCEIÇÃO AZEVEDO DE OLIVEIRA

TROCAS GASOSAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EM
RESPOSTA À VARIAÇÃO DE TEMPERATURA
FOLIAR: EFEITO DO AMBIENTE TOPOGRÁFICO NA
AMAZÔNIA CENTRAL

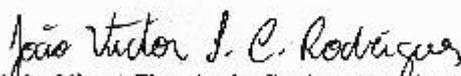
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração em Ciências Florestais e Ambientais.

Aprovada em 28 de Março de 2019

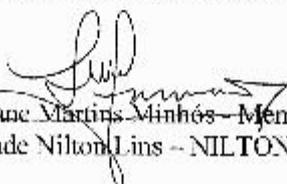
BANCA EXAMINADORA



Dr. Niro Figuechi - Presidente
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA



Dr. João Victor Figueiredo Cardoso Rodrigues - Membro
Universidade Federal do Amazonas - UFAM



Dr. Liliane Martins Minhões - Membro
Universidade Nilton Lins - NILTON LINS

Dedico

A minha família e amigos, em especial, aos meus pais Lirimar e Rosa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida!

A Universidade Federal do Amazonas pela oportunidade de desenvolver a dissertação por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes, pela bolsa concedida.

Aos meus orientadores Dr. Joaquim dos Santos e Dr. Niro Higuchi pela confiança, orientações, conselhos e todo aprendizado repassado.

Ao laboratório de Manejo Florestal do INPA por todo auxílio, principalmente na logística para as coletas de dados, em especial Lidiane, Edilene, Daniela, Vanderley, Carço e todas as pessoas que me auxiliaram e não mediram esforços para que este estudo fosse realizado.

Ao Next Generation Ecosystem Experiments – NGENE Tropics pela oportunidade de fazer parte deste grande projeto e poder contribuir para respostas das florestas nos trópicos e mudanças do clima.

Ao Dr. Kolby Jardine por todo auxílio na elaboração do trabalho, pelos valiosos ensinamentos, tanto práticos quanto teóricos, pela confiança, pelas oportunidades que me proporcionou ao longo do mestrado.

Meus pais Lirimar e Rosa, meus irmãos Rosane e Laurivan, que mesmo de longe me deram todo apoio emocional, gratidão pelo amor e carinho incondicional de vocês.

Ao meu marido Cleiton, pelo companheirismo, por todo o apoio, pela compreensão, paciência e por todo o amor.

Aos amigos do laboratório, em especial, Tayana, Bruna, Jéssica, Gustavo, Jardel, Valdieck,

Bruno e Israel e a todos que de alguma forma contribuíram, grata por todo auxílio, contribuições, pelas motivações e amizade.

Aos professores do PPGCIFA por todo aprendizado ao longo desses dois anos e principalmente aos que me auxiliaram com valiosas contribuições para a elaboração da dissertação, como os professores Drs. Marciel Ferreira e João Victor Rodrigues.

A secretária do PPGCIFA Gillieny, por ter sido tão legal comigo, paciente, compreensiva, auxiliando sempre que podia.

A Dana, por ter me acolhido em sua casa quando cheguei em Manaus e pela amizade de longa data.

A todos os amigos que Manaus me deu e que de alguma forma contribuíram nesta jornada, gratidão!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Geral:	3
2.2. Específicos:	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Relação entre os fatores abióticos e a fisiologia das plantas	4
3.2. Importância dos estômatos para fisiologia da planta	6
3.3. Importância da Fotossíntese e da transpiração	6
4. MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1. Área de estudo	8
4.2. Coleta de dados	11
4.3. Trocas gasosas foliares	12
4.4. Variáveis ambientais	13
4.5. Análise de dados	14
5. RESULTADOS	14
5.1. Caracterização micrometeorológica	14
5.2. Fotossíntese, Condutância estomática e Transpiração versus Temperatura foliar	17
5.3. Fotossíntese, Condutância estomática e Transpiração versus DPV	27
5.4. Relação entre as trocas gasosas foliares	34
5.5. Eficiência no uso da água	46
6. DISCUSSÃO	48
6.1. Características micrometeorológicas	48
6.2. Trocas gasosas versus Tfoliar e DPV e seu relacionamento nos dois ambientes estudados	48
6.3. Relacionamento entre as trocas gasosas nos dois ambientes estudados	51
6.4. Carbono interno e eficiência no uso da água	52
7. CONCLUSÃO	53
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo na Estação Experimental de Silvicultura Tropical - ZF2. Fonte: Sampaio-Filho, 2018.	9
Figura 2: Precipitação acumulada (colunas) e temperatura média do ar (linha) na região de Manaus (AM) no período de 1994 a 2017, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018).	10
Figura 3: (a): Torre de monitoramento no platô, com as árvores intactas; (b): galho cortado e recuperado dentro da água.	12
Figura 4: Precipitação na área da torre K34 no período estudado.	15
Figura 5: Precipitação na área da torre B34 no período estudado.	15
Figura 6: Temperatura do ar e DPV no platô (k34) durante o dia no período estudado, Km 34, ZF2.	16
Figura 7: Temperatura do ar e DPV no baixio (B34) durante o dia no período estudado, Km 34, ZF2.	16
Figura 8: Umidade relativa do ar no platô e baixio durante o dia no período estudado, Km 34, ZF2.	17
Figura 9: Padrões das taxas fotossintéticas encontradas nos dois ambientes estudados, sendo lado esquerdo platô e lado direito baixio.	19
Figura 10: Variação das taxas fotossintéticas das espécies no platô e baixio (média das cinco curvas), km 34, ZF2.	21
Figura 11: Curvas de respostas da condutância estomática de cada espécie em função da variação da temperatura foliar no platô (esquerda) e baixio (direita).	23
Figura 12: Taxas médias de condutância estomática no platô e baixio (média das cinco curvas), km 34, ZF2.	25
Figura 13: Padrões das taxas de transpiração encontradas nos dois ambientes estudados, sendo lado esquerdo platô e lado direito baixio.	26
Figura 14: Comportamento das taxas de transpiração foliar no platô e baixio (média das cinco curvas), km 34, ZF2.	27
Figura 15: Valores de fotossíntese relacionados com o déficit de pressão de vapor no platô (esquerda) e baixio (direita).	29
Figura 16: Comportamento da fotossíntese nos dois ambientes estudados relacionados ao déficit de pressão de vapor (média das cinco curvas).	30
Figura 17: Condutância estomática de todas as espécies estudadas no platô (esquerda) e baixio (direita) relacionadas com o DPV.	31
Figura 18: Comportamento da condutância nos dois ambientes estudados relacionados com o déficit de pressão de vapor (média das cinco curvas).	32
Figura 19: Valores de transpiração relacionados com o déficit de pressão de cada espécie no platô (esquerda) e baixio (direita).	33
Figura 20: Comportamento da transpiração com o déficit de pressão de vapor nos dois ambientes (média das cinco curvas).	34

Figura 21: Correlação entre fotossíntese e condutância estomática (média das cinco curvas) no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).	36
Figura 22: Correlação entre fotossíntese e transpiração (média das cinco curvas) nos dois ambientes estudados, no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).	38
Figura 23: Correlação entre condutância estomática e transpiração (média das cinco curvas) no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).	40
Figura 24: Concentrações de C_i/C_a relacionados com T_{foliar} no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).	42
Figura 25: Concentrações de C_i/C_a relacionados com DPV no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).	43
Figura 26: Concentração de carbono interno em função da condutância estomática, sendo lado esquerdo platô e lado direito baixo.....	45
Figura 27: Eficiência no uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) em função do aumento da temperatura foliar, sendo no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espécies selecionadas para o estudo nas áreas de platô e baixo, Amazônia central.	11
Tabela 2: Dados dos picos de fotossíntese (A_{net}) para cada espécie nos dois ambientes e a temperatura foliar (T_{foliar}) onde o máximo de fotossíntese foi alcançado.....	20
Tabela 3: Dados de condutância estomática ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para cada espécie nos dois ambientes e a temperatura foliar (T_{foliar}) onde o máximo de fotossíntese foi alcançado.....	24
Tabela 4: Dados de transpiração ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para cada espécie nos dois ambientes e a temperatura foliar (T_{foliar}) onde o máximo de fotossíntese foi alcançado.....	27

RESUMO

A mudança do clima implica em mudanças na temperatura precipitação e pode afetar os processos fisiológicos das plantas. O objetivo deste estudo foi investigar as respostas das trocas gasosas em função da variação de temperatura foliar (T_{foliar}) e déficit de pressão de vapor (DPV) em dez espécies, sendo cinco no platô e cinco no baixio na Estação Experimental de Silvicultura Tropical na Amazônia Central. Para isso, foram coletados dados de variáveis como fotossíntese (A_{net}), condutância (g_s), transpiração (E), concentrações internas e externas de carbono (C_i/C_a) e eficiência do uso da água, por meio do analisador de gás infravermelho portátil, sendo relacionados com a variação de T_{foliar} e DPV. Realizaram-se análises entre as espécies de cada ambiente, por meio de regressão linear e correlação de Pearson. Como resultados, as espécies tiveram comportamentos diferentes com a variação de temperatura e DPV, tanto no platô quanto no baixio, conseguindo manter altas taxas de A_{net} para algumas espécies, com correlação negativa com a T_{foliar} e DPV. Assim como g_s e C_i/C_a que também tiveram uma correlação negativa com ambos os parâmetros, no entanto, a transpiração obteve uma correlação positiva com os dois parâmetros analisados. Entre as trocas gasosas, os valores foram significativos ($p < 0,05$) para algumas árvores e outras do mesmo ambiente não, sendo que uma variável nem sempre influencia a outra, como no caso de g_s que em algumas árvores não teve a capacidade de limitar A_{net} e E . Já a eficiência do uso da água teve correlação negativa com a T_{foliar} . As árvores, de uma forma geral, tiveram comportamentos diferentes entre as espécies, porém, não significativas entre ambientes, demonstrando que é preciso ter cautela quando se trata da modelagem de um determinado ambiente.

Palavras-chave: trocas gasosas, temperatura foliar, gradiente topográfico.

ABSTRACT

Climate change implies changes in temperature and precipitation and may affect the physiological processes of plants. The objective of this study was to determine the gas exchange responses as a function of leaf temperature variation (T_{foliar}) and vapor pressure deficit (DPV) in ten species five in the plateau and five in the valley in the Experimental Station of Tropical Forestry in the Central Amazonia. In order to do this, data were collected on variables such as photosynthesis (A_{net}), conductance (g_s), transpiration (E), internal and external carbon (C_i/C_a) concentrations and water use efficiency using the portable infrared gas analyzer, being related to the variation of T_{foliar} and DPV. Analyzes were performed between the species of each environment, using linear regression and Pearson correlation. As a result, the species had different behaviors with temperature and DPV variation, both in the plateau and in the valley, being able to maintain high A_{net} rates for some species, with negative correlation with T_{foliar} and DPV. As well as g_s and C_i / C_a that also had a negative correlation with both parameters, however, the transpiration obtained a positive correlation with the two parameters analyzed. Among the gas exchanges, the values were significant ($p < 0.05$) for some trees and others not in the same environment and one variable does not always influence the other, as in the case of g_s that in some trees did not have the ability to limit A_{net} and E . Already the efficiency of water use had a negative correlation with the T_{foliar} . The trees, in general, had different behaviors among the species, but not significant among environments, demonstrating that caution is needed when modeling a given environment.

Keywords: gas exchange, leaf temperature, topographic gradient.

1. INTRODUÇÃO

A mudança do clima implica em mudanças na temperatura, precipitação e composição atmosférica (GRAY; BRADY, 2016). As atividades humanas, incluindo o uso de combustíveis fósseis e o desmatamento, tem aumentado a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera nas últimas décadas, resultando em aquecimento climático na ordem de $0,74 \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ (IC 95%) (IPCC, 2014). Em escala global, a precipitação e o ciclo hidrológico serão diretamente influenciados por essas mudanças (TRENBERTH, 2011). Em relação à floresta amazônica, as consequências poderão ser, por exemplo, uma menor quantidade de chuvas e aumento na temperatura, com clima mais seco, mais quente e mais variável (FEARNSIDE, 2013; MARENGO et al., 2009).

Com a mudança do clima, as plantas poderão passar por estresse hídrico (KIM et al., 2010), assim como, alterações na maioria dos processos fisiológicos da planta (URBAN et al., 2017). Um dos processos fisiológicos afetados são as trocas gasosas, onde são regulados o fluxo de gases dentro e fora das folhas e assim as plantas como um todo (HETHERINGTON; WOODWARD, 2003), que inclui processos como fotossíntese, condutância estomática e transpiração.

A transpiração das plantas representa cerca de 60-80 % da evapotranspiração na Terra, sendo a vegetação terrestre uma força dominante no ciclo global da água, consequentemente, é um dos principais determinantes no microclima local e da precipitação (SCHLESINGER; JASECHKO, 2014). Essa transpiração pode ocorrer tanto através da cutícula das plantas (5%), como pelo processo de absorção do dióxido de carbono (CO_2) para a fotossíntese, onde mais de 90% do CO_2 e do vapor de água trocados entre a planta e o ambiente são realizados por meio dos estômatos (KERBAUY, 2004).

Os estômatos são poros presentes na superfície das folhas com a sua abertura e fechamento regulado pelo turgor das células que compõem a sua estrutura (células guarda). Essa abertura dos estômatos permite a entrada de CO_2 para a fotossíntese e o fechamento para minimizar a perda de água para a atmosfera por transpiração (SUSSMILCH; BRODRIBB; MCADAM, 2017). O mecanismo de minimizar a perda de água é importante para a planta manter sua capacidade de absorção e transporte, pois, caso o potencial hídrico da folha diminua, os estômatos serão fechados e a fotossíntese será reduzida (COSTA; MARENCO, 2007).

Nesta condição, os poros estomáticos contribuem de forma importante para a capacidade da planta de controlar suas relações com a água e para ganhar carbono (HETHE-

RINGTON; WOODWARD, 2003). No entanto, a abertura e fechamento dos estômatos podem ser controlados por sinais ambientais, tais como temperatura, intensidade de luz, concentração de dióxido de carbono atmosférico, déficit de pressão de vapor (DPV), velocidade do vento, umidade relativa do ar (UR) e umidade do solo (GHIMIRE et al., 2018; HETHERINGTON; WOODWARD, 2003).

As plantas terrestres tiveram que desenvolver mecanismos para sobreviver aos ciclos de desidratação e reidratação, devido às variações temporais na disponibilidade de água de acordo com ambiente em que vivem (LIND et al., 2015). Com isso, duas estratégias diferentes de gerenciamento de água evoluíram nas plantas: uma é a isohídrica e a outra é a anisohídrica (SAMPAIO FILHO et al., 2018).

As plantas isohídricas mantêm um gerenciamento rigoroso e conservador do equilíbrio hídrico, limitando a perda de água e restringindo a condutância estomática, consequentemente, reduzindo o risco de ocorrer uma falha hidráulica (SADE; GEBREMEDHIN; MOSHELION, 2012). Portanto, sendo mais sensíveis ao aumento de temperatura e DPV, enquanto que, as plantas anisohídricas mantêm maior condutância estomática e assimilação de carbono mesmo sob condições de seca moderada a alta, tendo, maior probabilidade de falha hidráulica (SADE; GEBREMEDHIN; MOSHELION, 2012).

Exemplos de ambientes com diferentes condições hídricas no solo, em que essas estratégias podem ser adotadas são o platô e o baixio, onde o primeiro encontra-se verticalmente mais distante do lençol freático, podendo ter limitação hídrica em alguns momentos e o segundo ambiente com o lençol freático a poucos metros abaixo do solo, não tendo limitação hídrica (COSME et al., 2017). Devido a isso, as árvores do baixio podem estar associadas a características anisohídricas e as do platô a características isohídricas (SAMPAIO FILHO et al., 2018).

Estudos das respostas fisiológicas das plantas, como fotossíntese líquida (A_{net}), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e concentração de carbono (C_i) que estão diretamente ligadas às trocas gasosas, relacionadas às variáveis ambientais, justificam a condução de pesquisas que visem alcançar o entendimento do efeito de cada ambiente com os padrões de trocas gasosas. Podendo então, contribuir para a elaboração de modelos que se propõem a prever como a vegetação da Amazônia poderá responder as mudanças do clima previstas para as próximas décadas e como responderão as modificações na irradiância, temperatura, déficit de pressão de vapor e/ou déficit hídrico.

Para compreender essas respostas ligadas as mudanças do clima, este estudo está inserido no projeto NGENE – TROPICS, do inglês *Next Generation Ecosystem Experiments* (Nova Geração de Experimentos em Ecossistemas Tropicais), que tem como objetivos entender respostas da floresta frente à seca/estresse hídrico; respostas da absorção e alocação de carbono à temperatura e CO₂; dinâmica da vegetação sob-regime de perturbações naturais; perturbações antropogênicas e recuperações; variabilidade espacial e temporal da água e; disponibilidade de nutrientes e controle sobre os processos ecossistêmicos. E com isso, responder três principais perguntas, onde o presente trabalho se encaixa em: como o ecossistema da floresta tropical responde a mudança de temperatura, precipitação e concentração de CO₂ atmosférico?

Para o presente estudo e, considerando o atual cenário de pesquisa envolvidos nos processos fisiológicos das plantas, são consideradas as seguintes hipóteses: **H1**: Os picos de fotossíntese, condutância estomática e transpiração para a variação de temperatura das espécies estudadas são diferentes entre os dois gradientes topográficos (platô e baixio), pois ambientes com maior disponibilidade de água (baixio) podem estar relacionados às diferentes estratégias hidráulicas da planta, podendo ser encontradas espécies mais resistentes a variação de temperatura. **H2**: Os picos de fotossíntese, condutância estomática e transpiração para a variação do déficit de pressão de vapor das espécies estudadas são diferentes entre os dois gradientes topográficos (platô e baixio), sendo que as árvores do platô são mais sensíveis à variação do DPV.

2. OBJETIVOS

2.1. *Geral:*

Investigar os padrões das trocas gasosas em função da variação de temperatura foliar (T_{foliar}) e déficit de pressão de vapor (DPV) em espécies arbóreas que ocorrem nos ambientes de platô e baixio na Amazônia Central.

2.2. *Específicos:*

- Descrever as respostas das trocas gasosas (fotossíntese líquida, condutância estomática e transpiração) relacionadas ao aumento da temperatura foliar nos dois gradientes topográficos: platô e baixio;
- Descrever as respostas das trocas gasosas em relação à variação do DPV;

- Quantificar a concentração de CO₂ no mesofilo foliar (C_i) e concentração extracelular (C_a);
- Quantificar a eficiência do uso da água das espécies nos dois gradientes topográficos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. *Relação entre os fatores abióticos e a fisiologia das plantas*

A evapotranspiração terrestre (ET) é a soma da evaporação do solo (E_s), transpiração do dossel da planta (E_t) e evaporação da transpiração interceptada pela vegetação (E_i), sendo de grande importância estimar com precisão a ET global. Assim como a produtividade primária bruta (GPP), que é produzida durante a fotossíntese, sendo capaz de fornecer uma fonte chave de alimento e energia para sustentar a grande parte da vida na Terra (ZHANG et al., 2019). Deste modo, ambas devem ser estimadas sob as mudanças do clima e mudanças na cobertura da terra (ZHANG et al., 2019).

As plantas possuem a capacidade de regular continuamente a transpiração, controlando a abertura e fechamento dos poros estomáticos na superfície das folhas, onde o principal determinante atmosférico para a abertura estomática é a umidade do ar (MCADAM; BRODRIBB, 2015). A umidade relativa do ar pode ser entendida como a razão da pressão de vapor ambiente à pressão de vapor de saturação à temperatura do ar, sendo relacionada com o DPV que é a diferença de pressão de vapor entre a folha e a atmosfera, em que ambos são dependentes da temperatura, pois, quando a temperatura aumenta, a pressão de vapor de água saturada aumenta exponencialmente (CAMPBELL GAYLON S.; NORMAN, 1998). Quando a UR e o DPV são alterados, a condutância estomática das plantas é afetada a partir de uma consequência do efeito indireto da temperatura em g_s (TAN et al., 2017).

Portanto, os processos estomáticos desempenham um papel importante na determinação da temperatura ótima, visto que, as alterações em g_s podem influenciar a fotossíntese a partir da alteração de DPV (TAN et al., 2017). Ou seja, o DPV não afeta diretamente a atividade fotossintética e sim, causa uma redução em g_s diminuindo a concentração de CO₂ intercelular, com isso, a taxa de fotossíntese fica limitada por CO₂ (DANG et al., 1997).

De uma forma geral, um alto DPV fecha os estômatos e um baixo DPV abre estômatos (MCADAM; BRODRIBB, 2015). O DPV também está relacionado com a transpiração (E), servindo como força motriz e determinando a taxa na qual a água é perdida na folha,

iniciando assim uma redução na abertura estomática, conseqüentemente, evitando a perda excessiva de água e protegendo as folhas da dessecação (YAARAN; NEGIN; MOSHELION, 2018). Segundo Burkhardt; Pariyar (2016), a transpiração das plantas é capaz de adotar diferentes estratégias para responder a “seca atmosférica”, os aerossóis quando depositados nas superfícies foliares podem interagir com as relações hídricas da planta, podendo influenciar a resposta ao DPV.

É importante que o caule da planta seja hidraulicamente eficiente para fornecer um suprimento de água adequado até que a água perdida pela transpiração possa ser rapidamente substituída. Com isso, garantindo que os déficits hídricos foliares sejam minimizados e os estômatos sejam capazes de permanecerem abertos sem limitar a captação de CO₂, portanto, as propriedades de troca hidráulica e gasosa ser igualmente correlacionadas (BUCCI et al., 2019).

Ainda que os estômatos tenham um papel geral para a conservação da água, algumas espécies mantêm os estômatos abertos, mesmo que a demanda por evaporação seja igual como é ao meio dia, com taxas fotossintéticas baixas. No entanto, manter ou atingir alta g_s sob condição de estresse, pode gerar uma queda acentuada dos potenciais hídricos foliares (BUCCI et al., 2019).

Os estômatos com as células guarda também respondem a outros sinais exógenos (abióticos) e endógenos, incluindo luz, concentração de CO₂, entre outros, permitindo que os estômatos ajustem a abertura e fechamento em resposta às alterações no ambiente em que a planta está presente (CHAVES; COSTA; SAIBO, 2011). Os fatores abióticos influenciam processos fisiológicos como a fotossíntese, o uso dos recursos primários como a água, temperatura, luz, CO₂ e nutrientes e com isso, as taxas de crescimento da planta (MORAIS; ROSSI; HIGA, 2017).

O fechamento dos estômatos pode ocorrer de duas maneiras, através do fechamento "ativo" em resposta ao aumento do déficit de água foliar, envolvendo principalmente o tráfico de íons através da membrana celular de proteção como resposta para o aumento do hormônio vegetal ácido abscísico (ABA) (SAMPAIO FILHO et al., 2018). E o "passivo" de estômatos em resposta ao déficit de água foliar como o cenário em que as células de guarda estão bem conectadas ao sistema hidráulico da planta, nestas circunstâncias, o turgor de células de guarda declina em paralelo com a diminuição do potencial de água na folha, causando o fechamento estomático (SUSSMILCH; BRODRIBB; MCADAM, 2017).

3.2. Importância dos estômatos para fisiologia da planta

Os estômatos ocupam um papel de grande importância, pois funcionam como uma interface entre planta e atmosfera, podendo ser considerados uma ferramenta em que é possível interpretar as mudanças ambientais (BRODRIBB; MCADAM, 2013). A condutância estomática possui um papel fundamental na determinação do equilíbrio de carbono e água nas plantas (MEDLYN et al., 2011). Uma das formas de equilibrar a água é a partir do controle da transpiração, com isso, os estômatos influenciam na temperatura da folha, no fluxo de metabólitos e nas sinalizações químicas à longa distância (CHAVES; COSTA; SAIBO, 2011).

A evolução dos mecanismos para a regulação da condutância estomática é de grande valor, pois facilita o controle, tornando mais preciso e flexível a abertura dos poros, permitindo a dissociação do conteúdo de água da folha e proporcionando uma vantagem competitiva em ambientes secos ou em mudança (SUSSMILCH; MCADAM, 2017). Assim como foi um passo essencial para colonização das plantas na Terra (MERILO et al., 2018).

O comportamento estomático é influenciado pelo ambiente, pois, quando há alguma perturbação, são induzidas reações físicas e químicas dentro da planta e os estômatos regulados por turgor respondem a ambas as reações (BRODRIBB; MCADAM, 2013). Portanto, há uma necessidade de modelos mais robustos sobre a condutância estomática para prever interações entre planta-atmosfera em um clima em mudança e para integrar novos conhecimentos em fisiologia e teoria ecológica (BUCKLEY, 2017; SAMPAIO FILHO et al., 2018).

Os estômatos também controlam a absorção de nutrientes e a entrada de poluentes do ar e patógenos, sendo que a abertura dos poros é determinada pela pressão de turgescência das células-guarda que por sua vez depende do seu conteúdo osmótico (MERILO et al., 2015). Quando o fechamento é necessário, K⁺ e ânions como cloreto e nitrato são liberados e o efluxo de água osmótico que o acompanha esvazia as células guardas e fecha os estômatos (LIND et al., 2015).

3.3. Importância da Fotossíntese e da transpiração

De uma forma geral, a fotossíntese é o meio pelo qual plantas e algumas bactérias sintetizam compostos orgânicos através da luz como fonte de energia, sendo composta de processos biológicos interconectados que estão localizados em diferentes compartimentos de células eucarióticas fotossintetizantes (MARENCO et al., 2014; SHARKEY et al., 2007). Onde a fixação de energia via fotossíntese é armazenada em compostos orgânicos, que são utilizados no metabolismo celular da planta e a energia fixada pelas plantas durante o processo de

fotossíntese forma a base fotossintética do planeta, com ressalva na energia fixada por microrganismos quimiossintetizadores (MARENCO et al., 2014; SHARKEY et al., 2007).

O mesófilo é um dos tecidos fotossintéticos mais ativos das plantas. Nas células dos mesófilos estão os cloroplastos, que possuem as clorofilas, isto é, pigmentos verdes especializados na absorção de luz, e dentro ainda dos cloroplastos estão membranas internas especializadas conhecidas como tilacóides (TAIZ; ZEIGER, 2006). Ao longo do processo da fotossíntese, a energia solar é utilizada pela planta para oxidar água, por conseguinte, oxigênio é liberado, assim como grandes açúcares são formados, reduzindo com isso o dióxido de carbono (TAIZ; ZEIGER, 2006).

Os processos biofísicos que incluem o transporte de CO₂ pelos estômatos e folhas, tanto quanto, os processos bioquímicos localizados nas membranas tilacóides dos cloroplastos, estroma, mitocôndrias e citosol da célula, definem a taxa líquida de assimilação de CO₂, assim como influenciam na capacidade fotossintética da planta (SHARKEY et al., 2007).

Outros fatores internos como fatores genéticos, idade da folha, espessura da lâmina foliar, teor de clorofila e fatores externos como a disponibilidade de água e nutrientes, intensidade da luz, temperatura e concentração de CO₂ também influenciam (SHARKEY et al., 2007). Mas ao mesmo tempo podem causar diferentes efeitos, tornando-se difícil a previsão do quanto à fotossíntese é afetada, principalmente nos aspectos genéticos e condições ambientais.

A análise e divisão de plantas por parte e o cálculo dos parâmetros da fotossíntese, é uma ferramenta importante para compreensão de mudanças, previsões de influências ambientais e genéticas sobre a produtividade das plantas (SHARKEY et al., 2007). De acordo com Slot et al. (2016), as curvas de temperatura-resposta fotossintética não são bem documentadas para as árvores de florestas tropicais, uns dos motivos são por conta das limitações ambientais e pelas restrições ambientais.

A fotossíntese juntamente com a transpiração, estão entre os principais processos fisiológicos que permitem o crescimento e a sobrevivência das plantas, portanto, é de grande importância estudar também o processo de transpiração (DAWSON, 1996). Assim como, relacioná-lo com pouca disponibilidade de água e entender a resposta da vegetação em diferentes tipos de ambientes ou diferentes tipos de clima, em uma escala maior, as árvores dos ecossistemas florestais retratam uma rota significativa pela qual a água nos solos dos aquíferos subterrâneos entra repetidamente no ciclo hidrológico (DAWSON, 1996).

É importante entender também, onde as árvores obtêm, como transportam, perdem e armazenam a água e como os estômatos foliares regulam a perda a partir do processo de transpiração, tanto a níveis de folha e de dossel. Influenciando nas taxas e na magnitude do movimento da água ao longo de sua rota, essas repostas podem ser obtidas a partir da compreensão do padrão e a profundidade em que as árvores estão enraizadas, por exemplo, assim como, as fontes de água absorvidas pelas raízes (DAWSON, 1996).

A transpiração das árvores é importante para a reciclagem da precipitação, sendo que as florestas são capazes de retornar cerca de 57% da precipitação de volta para a atmosfera a partir da transpiração da floresta (1337mm), dados estes para a Amazônia (BRUM et al., 2018).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A área de estudo está localizada na Estação Experimental de Silvicultura Tropical, área da ZF2, gerida pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, situada cerca de 60 km a noroeste de Manaus (MARQUES FILHO; DALLAROSA; PACHÊCO, 2005). O acesso à reserva é feito por meio da rodovia BR-174 que liga Manaus a Boa Vista e 34 quilômetros de estrada de terra no ramal da ZF-2 (Figura 1).

No km 34 encontra-se a área de pesquisa do LBA - Large Biosphere and Atmosphere, que é um projeto de colaboração internacional de grande escala que possui caráter multidisciplinar com objetivo de entender o funcionamento do ecossistema amazônico no cenário das mudanças globais e no uso da terra na região (TRIBUZY, 2005).

Mapa de Localização e Diagrama de Perfil da Área de Estudo

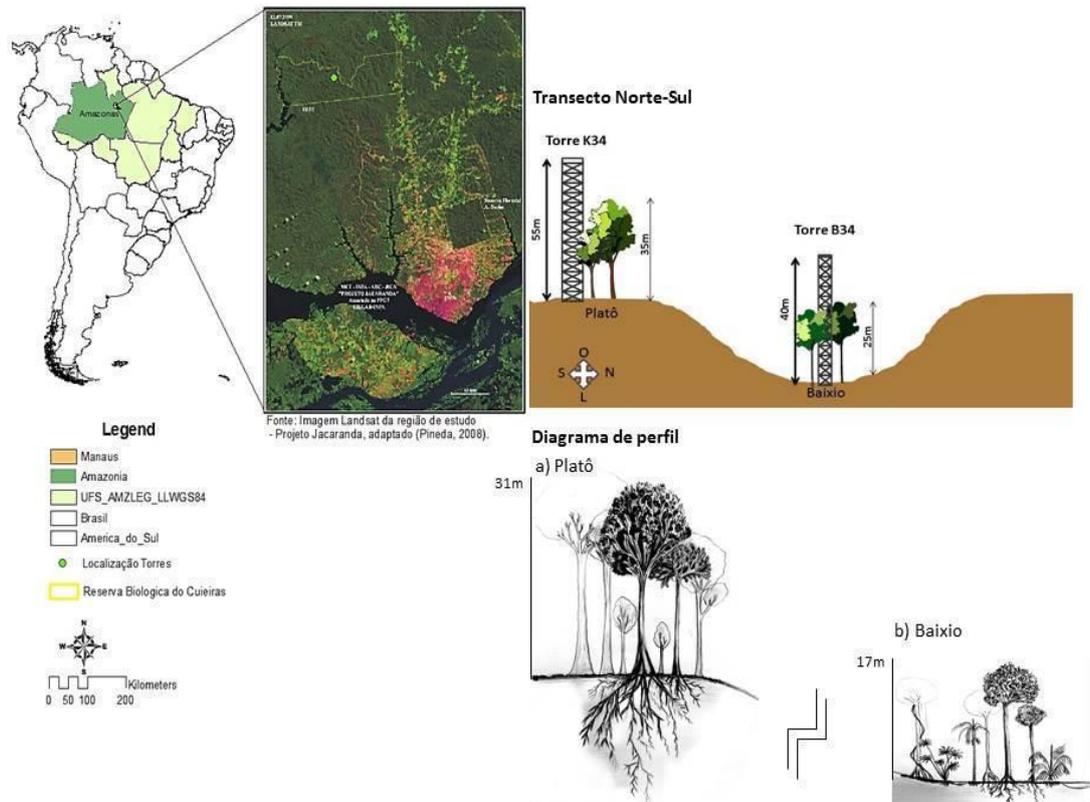


Figura 1: Localização da área de estudo na Estação Experimental de Silvicultura Tropical -ZF2. Fonte: Sampaio-Filho, 2018.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo "Af", caracterizado como tropical chuvoso, apresentando temperatura elevada, com variação térmica diurna maior do que a variação térmica anual, com precipitação elevada e predominantemente forte. A temperatura média anual é de 26,7°C., com pouca variação sazonal entre 25,9 a 27,7 °C (ALVARES et al., 2013), a umidade relativa é de 83 % (ALBUQUERQUE, 1980). As chuvas apresentam um total anual da ordem de 2.420 mm, distribuídos em duas épocas distintas durante o ano, uma chuvosa que ocorre entre novembro e maio e a outra que se estende até outubro, sendo o mês mais seco em agosto, com precipitação mensal por volta de 80 mm (ALVARES et al., 2013; TEIXEIRA et al., 2007) (Figura 2).

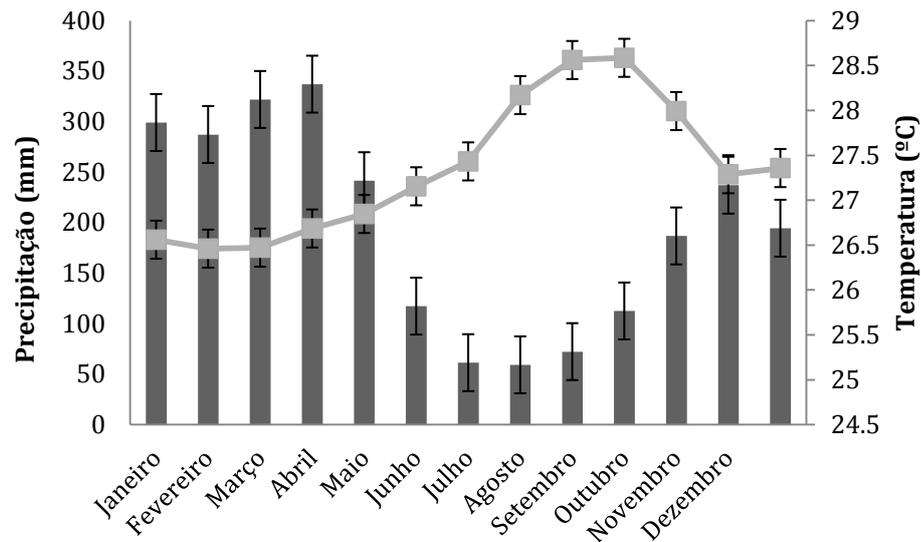


Figura 2: Precipitação acumulada (colunas) e temperatura média do ar (linha) na região de Manaus (AM) no período de 1994 a 2017, dados obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018).

A região da ZF2 se caracteriza pela presença de platôs típicos, compondo dois ou provavelmente três níveis altimétricos, sendo menos extenso o nível mais alto. A diferença entre o nível das calhas dos cursos d'água, denominados igarapés e a superfície dos platôs que ocorrem no curso médio do rio Tarumã, chega a 70-80 cm (RANZANI, 1980).

Os solos dos platôs apresentam textura argilosa; nas encostas, variam de argilo-arenosos próximos aos platôs e areno-argilosos próximos aos baixios e, os solos nas áreas de baixio, apresentam textura arenosa (CARNEIRO, 2004). Os solos são classificados como Latossolos amarelos, Argissolos e Espodosolos nas topografias platô, encosta e baixio respectivamente (FERRAZ; OHTA; SALES, 1998).

A vegetação é de floresta tropical úmida de terra firme, com características típicas da parte central da região amazônica, com grande diversidade de espécies lenhosas e herbáceas. Em um inventário diagnóstico no transecto Norte-Sul, foram amostrados 2.965 indivíduos arbóreos com DAP ≥ 10 cm, distribuídos em 37 famílias botânicas e mais de 218 espécies, onde as espécies com maiores IVI para os dois transectos (N-S e L-O) foram: matamatá (*Eschweilera odorata* (Poepp. Miers.)) e abiurana (*Pouteria* sp.). Na área do platô, as mais importantes foram matamatá (*Eschweilera odora* (Poepp. Miers.)), abiurana (*Pouteria* sp) e ripeiro vermelho (*Corythophora alta* R.Knuth). No baixio foram: seringarana (*Micrandra rossiana* R.E.Schultes), muirapiranga folha grande (*Eperua bijuga* Mart. ex Bth.) e abiurana (*Pouteria* sp.) (HIGUCHI et al., 1997, 1998). Em seu estudo, Carneiro (2004) realizou um inventário, em que foram identificadas 737 espécies arbóreas pertencentes a 59 famílias botâni-

cas, das quais as mais ricas em espécies foram: Sapotaceae, Chrysobalanaceae, Lauraceae, Lecythidaceae e Fabaceae.

4.2. Coleta de dados

As espécies selecionadas para este estudo estão localizadas próximas às torres K34 e B34. A torre de alumínio K34 de 55 metros está localizada na área de platô e a B34 de 40 metros de altura está localizada no baixio, ambas são instrumentadas com sensores e equipamentos que coletam e armazenam informações sobre as condições atmosféricas locais no dossel e pouco acima.

Foram selecionadas dez árvores que estão próximas às torres de monitoramento, levando em consideração os equipamentos nelas instalados para pesquisas anteriores e a acessibilidade ao dossel das árvores a partir das torres. A posição no dossel da floresta também foi um critério, pois, foram selecionadas as que recebem luz solar direta e que não estão sobrepostas por indivíduos adjacentes.

As dez árvores são de diferentes espécies, pertencem as vinte famílias mais abundantes, com maiores índices de dominância relativa (DoR) na área de estudo, contribuindo com 57,3% de área basal da floresta (CARNEIRO, 2004). Sendo cinco espécies próximas da torre K34 (platô) e cinco no entorno da torre B34 no baixio (Tabela 1).

Tabela 1: Espécies selecionadas para o estudo nas áreas de platô e baixio, Amazônia central.

Local	Toposequência	Família	Espécie	Altura (m)	DAP (cm)
K34	Platô	Lecythidaceae	<i>Eschweilera cyathiformis</i>	19,8	14,3
K34	Platô	Lecythidaceae	<i>Eschweilera</i> sp.	26,7	29,7
K34	Platô	Sapotaceae	<i>Pouteria anomala</i>	31	35,3
K34	Platô	Chrysobalanaceae	<i>Couepia longipendula</i>	23,9	28,1
K34	Platô	Sapotaceae	<i>Pouteria erythrochrysa</i>	29,3	36,5
B34	Baixio	Fabaceae	<i>Peltogyne excelsa</i>	19	18,8
B34	Baixio	Euphorbiaceae	<i>Hevea</i> sp.	22	25,7
B34	Baixio	Calophyllaceae	<i>Caraipa rodriguesii</i>	11	10
B34	Baixio	Lecythidaceae	<i>Eschweilera</i> sp.	12	11
B34	Baixio	Chrysobalanaceae	<i>Couepia parillo</i>	18	15,2

Para o acesso às folhas das árvores selecionadas, foi aproveitada a estrutura das torres (Figura), onde foram coletados galhos das árvores, com auxílio de um podão, sendo retirados ramos de dossel que estavam sob a luz solar. Antes das medições das trocas gasosas, os ramos cortados, foram baixados suavemente para o chão, recortados (SANTIAGO; MULKEY, 2003) e recuperados dentro da água imediatamente (Figura 3) (ALBERT et al., 2018;

JARDINE et al., 2016), para preservar a continuidade da água do xilema (BAHAR et al., 2017).



Figura 3: (a): Torre de monitoramento no platô, com as árvores intactas; (b): galho cortado e recuperado dentro da água.

Procedeu-se as medidas de trocas gasosas em folhas completamente expandidas, com aspecto fitossanitário adequado, sem sinais de senescência, em posições de maior incidência de irradiância no dossel. Os dados foram coletados em uma folha por galho, tendo um total de cinco folhas por árvore, que corresponde a cinco curvas por espécie e um total de 25 curvas para cada ambiente, entre 7:00 e 14:00 horas, no período de junho a outubro de 2018. Sendo as coletas realizadas durante uma semana por mês.

4.3. Trocas gasosas foliares

Para a determinação das trocas gasosas, que incluem as taxas de fotossíntese líquida (A_{net}), condutância estomática (g_s) e transpiração (E), as medidas foram realizadas por meio de um analisador de gás infravermelho portátil (Li- 6400XT, Li-Cor®, Lincoln, EUA), de sistema aberto. O Li-Cor foi ajustado para trabalhar com a câmara foliar com fluxo de $400 \pm 1 \mu\text{mol mol}^{-1}$ para concentração de CO_2 , fração de vapor de água em torno de $24 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, irradiância em $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A partir dessa padronização foram feitas curvas de temperatura que iniciavam com 25° , depois aumentadas em sete níveis ($27,5^\circ\text{C}$, 30°C , $32,5^\circ\text{C}$, 35°C , $37,5^\circ\text{C}$, 40°C , $42,5^\circ\text{C}$), sendo ajustadas pela função de temperatura do bloco (T_{blk}) para relacionar os dados de temperatura foliar (T_{foliar}) com os dados de trocas gasosas. Cada curva durou aproximadamente de 30 a 45 min.

Foram obtidos também dados da razão entre a concentração de CO₂ no mesofilo foliar (C_i) e concentração extracelular (C_a), a partir de medidas de C_i/C_a. Que segundo Farquhar; Ehleringer; Hubick (1989), as variações em longo prazo dessa relação influenciam a água intrínseca da planta e o uso eficiente. E para expressar a eficiência do uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA), foram calculadas as razões A/E (fotossíntese/transpiração) para EUA e A/g_s (fotossíntese/condutância) para EIUA.

4.4. Variáveis ambientais

Para a temperatura, umidade do ar e precipitação, utilizou-se de sensores específicos conectados a um datalogger obtidos nas torres B34 e K34. As medições foram realizadas de maneira automática e contínua, com leitura dos dados pelos aparelhos de 15 em 15 minutos com termohigrometro (Campbel-EUA), sendo coletados para temperatura e umidade do ar, enquanto que os dados para a precipitação foram obtidos de um pluviômetro. Já os dados de umidade do solo foram coletados a partir de sondas de nêutrons.

Para o estudo do comportamento das trocas gasosas foliares em relação ao déficit de pressão de vapor, o DPV foi calculado de acordo com a equação 1 (BUCK, 1981). Ela indica que o DPV é a força impulsionadora do movimento da água que sai de dentro da folha para o ambiente, um processo denominado transpiração (E). Quanto maior for o DPV maior quantidade de água sai da folha. Se esta difusão aumenta acima de uma taxa que não pode ser suprida pela estrutura vascular da planta, a folha e a planta inteira podem entrar em uma situação de estresse hídrico. Por conta disso, os estômatos devem regular sua abertura para evitar a desidratação à medida que o DPV aumenta (STRECK, 2003).

$$DPV = e_{s(folha)} - e_{s(ar)} \quad (1)$$

Onde:

DPV: Déficit de Pressão de Vapor (kPa)

$e_{s(folha)}$: pressão de vapor de saturação à temperatura da folha (kPa)

$e_{s(ar)}$: Pressão real de vapor d'água à temperatura ambiente (kPa)

A pressão de vapor de saturação da folha é calculada pela equação 2:

$$e_{s(folha)} = 0,61365 \cdot e^{\left(\frac{17,502 \times T_{folha}}{240,97 + T_{folha}}\right)} \quad (2)$$

$e_{s(folha)}$: pressão de vapor de saturação à temperatura da folha (kPa)

$e_{s(ar)}$: Pressão real de vapor d'água à temperatura ambiente (kPa)

Onde:

$e_{s(folha)}$ = pressão de vapor de saturação à temperatura da folha (kPa)

T_{folha} = temperatura da folha (°C)

A pressão real de vapor de água é calculada pela equação 3:

$$e_{s(ar)} = \frac{UR}{100} 0,61365 \cdot e^{\left(\frac{17,502 \times T_{ar}}{240,97 + T_{ar}}\right)} \quad (3)$$

$e_{s(ar)}$ = pressão real de vapor d'água à temperatura ambiente (kPa)

UR = Umidade relativa

T_{ar} = Temperatura do ar (°C)

4.5. Análise de dados

Foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnoff para testar a normalidade dos dados, quando os dados não seguiram uma distribuição normal, foi feita transformação dos valores para logaritmo neperiano na base 10 (Log 10) para obtenção da normalidade. Quando os dados seguiram uma distribuição normal, foram aplicados testes para estatística descritiva e correlações de Pearson. O coeficiente de correlação de Pearson pode ser avaliado com o seguinte critério: $r = 0$ correlação nula, $0,0 < r < 0,3$ = fraca, $0,3 \leq r \leq 0,6$ = regular ou moderada; $0,6 \leq r \leq 0,9$ = forte; $0,9 \leq r \leq 1$ muito forte e 1 = perfeita (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Associações entre as variáveis: gs, A_{net} , E, EUA, EIUA, Ci/Ca, foram testadas por meio de correlações de Pearson. A regressão linear foi feita para gs, A e E como variável dependente e DPV como variável independente para a sensibilidade das árvores ao DPV, também, a sensibilidade à variação de temperaturas, sendo T_{foliar} independente, por meio de ajustes de modelos lineares e polinomiais. Os programas estatísticos utilizados na análise dos dados foram o STATISTICA versão 7.0 (StatSoft Inc., 2003 East 14th Street, Tulsa, OK, USA) e Igor Pro versão 6.32.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterização micrometeorológica

No período estudado, a precipitação mensal ao redor da torre do platô foi em média de 121 mm, com o mínimo de chuva registrado de 102,36 mm no mês de setembro e o máximo de 163,83 mm em julho. No baixio a média ficou em torno de 121,84 mm, o máximo registrado foi de 140 mm para o mês de junho e o mínimo de 101,40 mm em setembro. O total no platô ficou em torno de 605 mm (Figura 4) e no baixio o total foi de 609,24 mm (Figura 5).

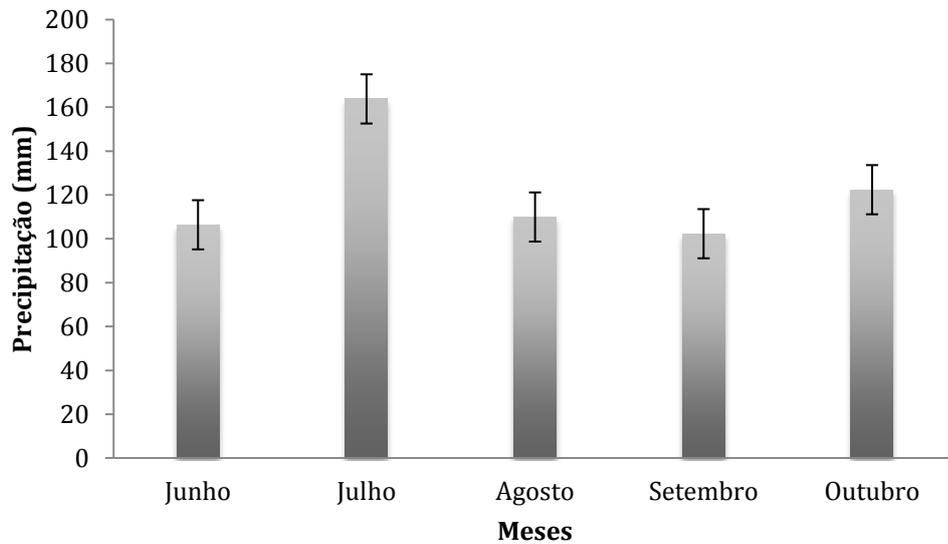


Figura 4: Precipitação na área da torre K34 no período estudado.

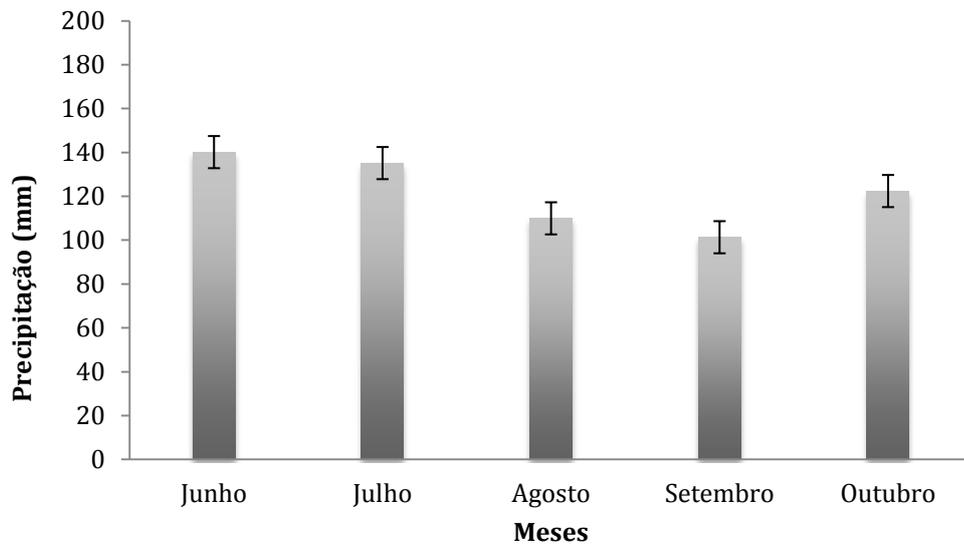


Figura 5: Precipitação na área da torre B34 no período estudado.

A temperatura média do ar encontrada na área do platô foi de $25,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ com desvio padrão de $1,67\text{ }^{\circ}\text{C}$, a mínima de $23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ no horário entre 05h00min e 06h30min e a máxima de $28,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ no horário de 12h30min (Figura 6). No baixo a média também foi de $25,3 \pm 1,58\text{ }^{\circ}\text{C}$, com mínimo de $23,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ entre o horário de 06h00min e máxima de $27,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ no período de 14:00 horas (Figura 7).

O Déficit de Pressão de Vapor teve um valor médio no platô de $2,26 \pm 1,44\text{ kPa}$, com mínimo de $0,51\text{ kPa}$ entre 05h00min e 07h30min e máximo $4,60\text{ kPa}$ entre 12:00 e 14:00

horas (Figura 6), já o baixo teve uma média de $2,29 \pm 1,40$ kPa, mínimo de 0,61 kPa no horário de 05:00 e 08:00 horas e máximo de 4,59 kPa entre 13:00 e 14:00 horas (Figura 7).

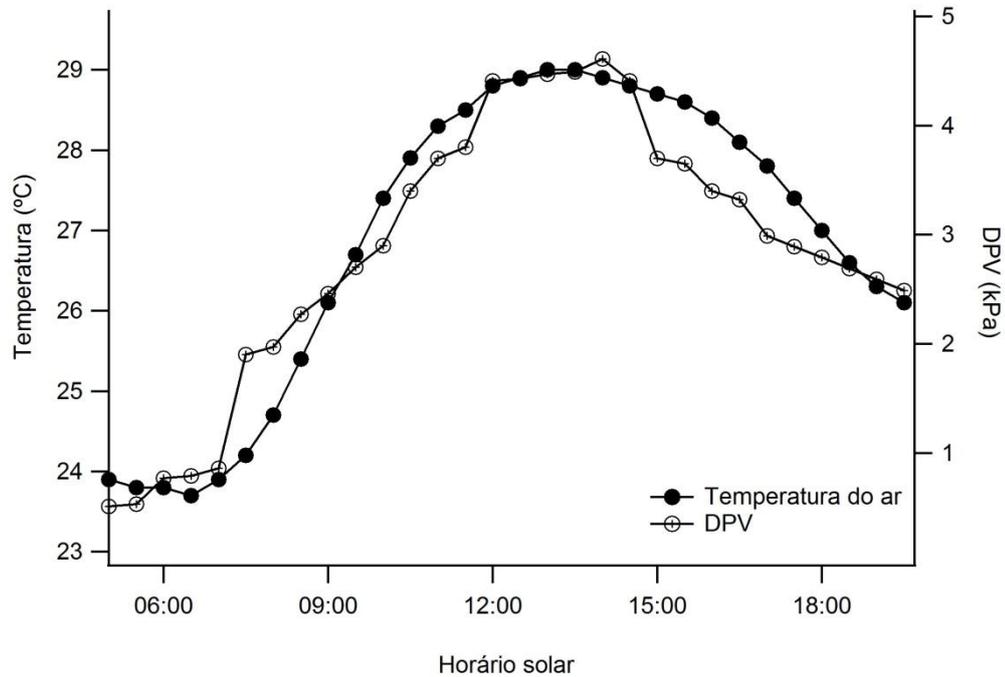


Figura 6: Temperatura do ar e DPV no platô (k34) durante o dia no período estudado, Km 34, ZF2.

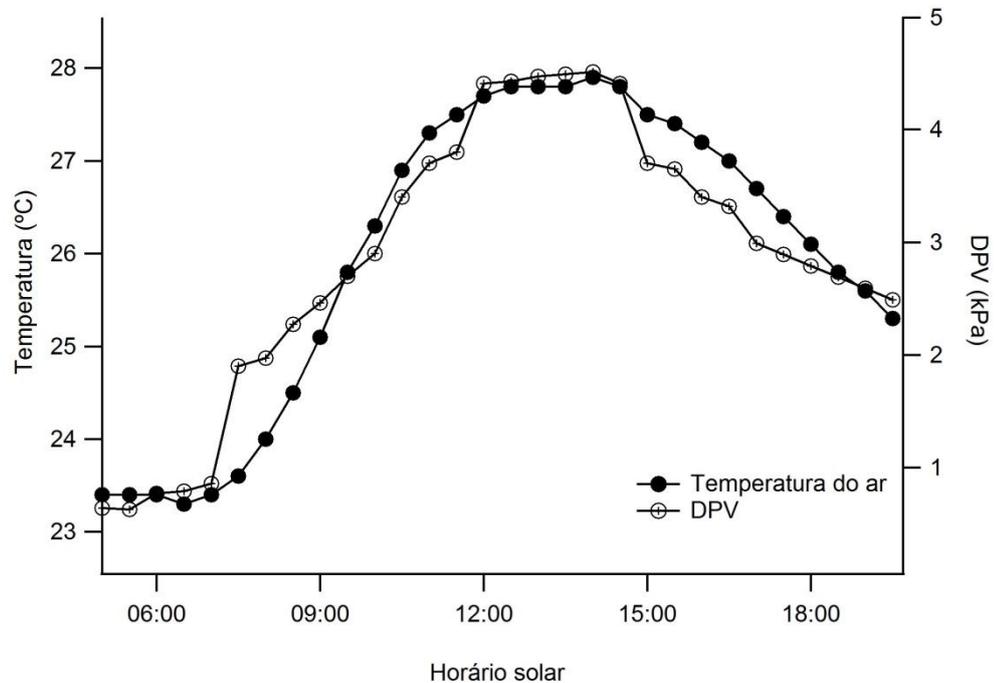


Figura 7: Temperatura do ar e DPV no baixo (B34) durante o dia no período estudado, Km 34, ZF2.

A umidade relativa do ar no platô teve uma média de 87,6 % e desvio padrão de 7,47 %, com um mínimo de 75,2 % e máximo de 96,1%, no baixo a média ficou no valor de

$88 \pm 7,28 \%$, o mínimo em $75,7 \%$ e o máximo em $96,2\%$ (Figura 8). A umidade do solo no platô ficou em torno de $35,55 \text{ m}^3/\text{m}^3$, não foi possível a coleta de umidade do solo no baixio.

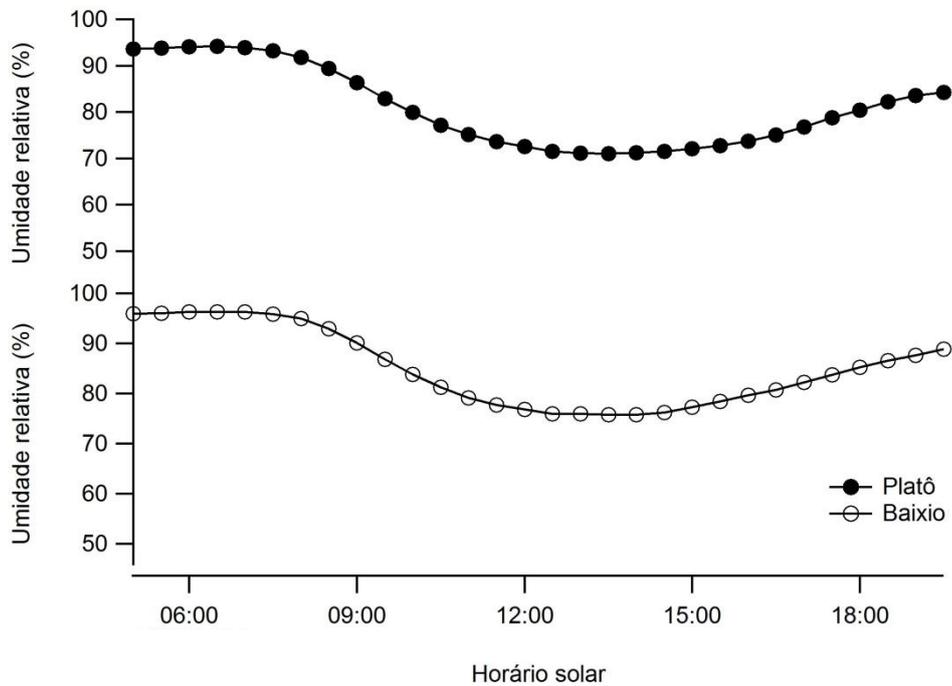


Figura 8: Umidade relativa do ar no platô e baixio durante o dia no período estudado, Km 34, ZF2.

5.2. Fotossíntese, Condutância estomática e Transpiração versus Temperatura foliar

Nos oito níveis de temperatura ajustados, a temperatura do bloco nem sempre foi similar a foliar, os valores foram variáveis, em algumas espécies não foi possível chegar aos $40 \text{ }^\circ\text{C}$, portanto, foram feitas médias das temperaturas foliares para cada ambiente, assim como a média da fotossíntese.

Para o platô, na T_{foliar} de $25,3 \text{ }^\circ\text{C}$ a média de fotossíntese foi de $7,86 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com desvio padrão de $0,67 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou em média $7,58 \pm 0,91 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, já em $29,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou com $7,68 \pm 0,85 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em $32 \text{ }^\circ\text{C}$ obteve a média de $7,68 \pm 0,95 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em $34,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou entre $7,85 \pm 0,83 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em $36,4 \text{ }^\circ\text{C}$ foi de $7,70 \pm 0,76 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em $38,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou com $7,25 \pm 0,75 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e aos $40,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou em torno de $6,63 \pm 1,07 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

No baixio, em $25,9 \text{ }^\circ\text{C}$ foi de $7,56 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ com desvio padrão de $1,14 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em $27,8 \text{ }^\circ\text{C}$ a fotossíntese ficou em média $7,47 \pm 1,06 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, já em $29,8 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou com $7,49 \pm 1,35 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em $31,8 \text{ }^\circ\text{C}$ obteve a média de $7,42 \pm 1,40 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em $33,9 \text{ }^\circ\text{C}$ ficou entre $7,18 \pm 1,17 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em $36 \text{ }^\circ\text{C}$ foi de $6,77 \pm 1,29 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{ s}^{-1}$,

em 38,1 °C ficou com $6,25 \pm 1,20 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e aos 40,4 °C ficou em torno de $5,61 \pm 0,85 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

O valor da fotossíntese alcançado no platô, o máximo foi de $8,86 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *Couepia longipendula* e o mínimo de $5,11 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *Eschweilera cyathiformis*. No baixio, o máximo foi 9,78 e o mínimo $4,58 \mu\text{mol.m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo para *Couepia parillo* e *Eschweilera* sp., respectivamente, tendo em ambos os locais uma grande variação de amplitude, cerca de 38,79% no platô e 53,19% no baixio.

Na Figura 9, é possível observar os comportamentos de cada espécie com o aumento da temperatura foliar nos dois ambientes, as respostas de acréscimo e decréscimo da fotossíntese foram diferentes para cada planta. No platô, as espécies *Eschweilera cyathiformis* e *Eschweilera* sp. obtiveram o máximo das taxas fotossintéticas para as folhas medidas em 25 °C, a partir daí os valores decresceram, já *Pouteria anomala* teve redução em 34,4 °C, *Couepia longipendula* foi em 32,5 °C e *Pouteria erythrochrysa* em 35 °C.

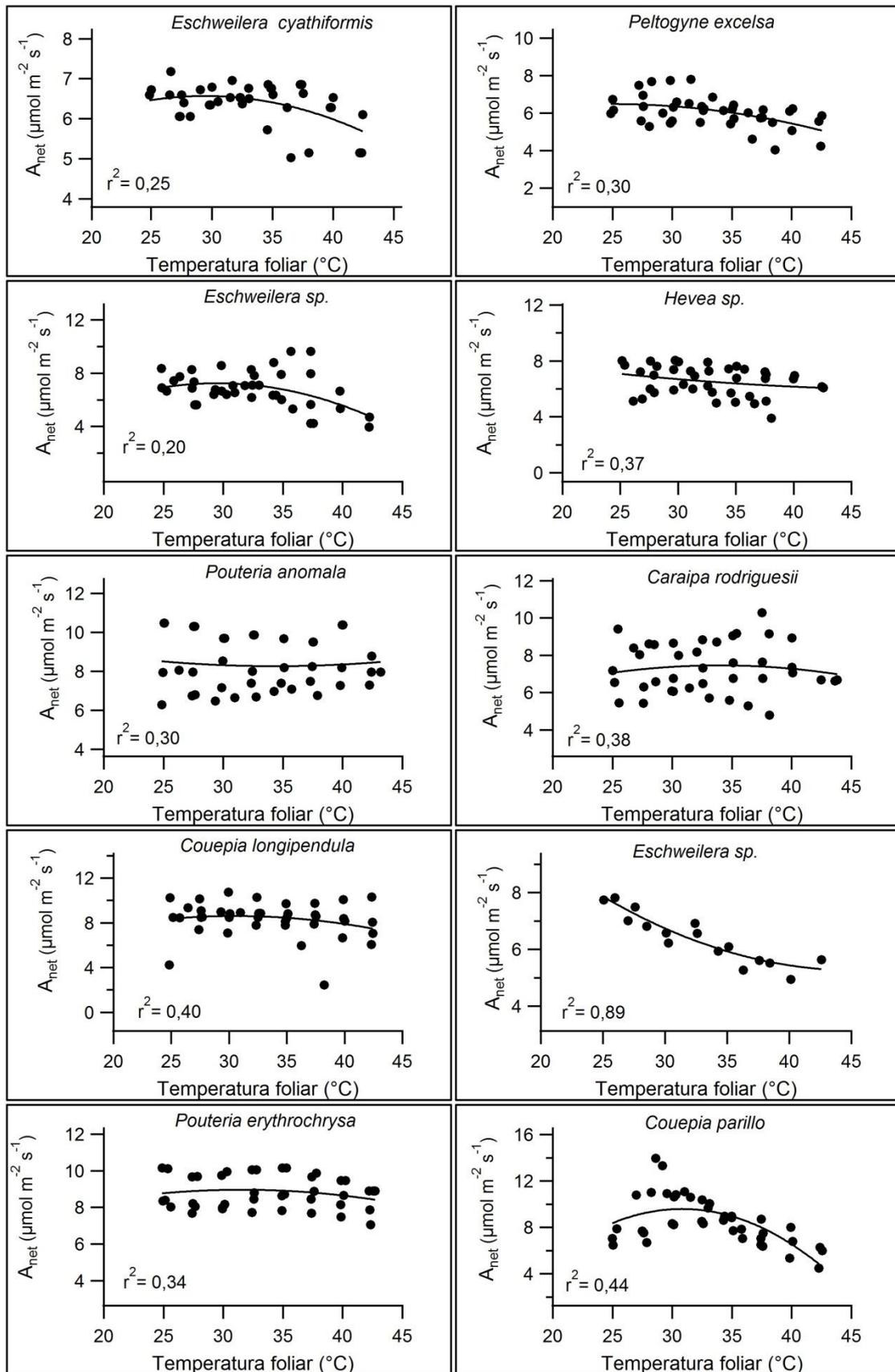


Figura 9: Padrões das taxas fotossintéticas encontradas nos dois ambientes estudados, sendo lado esquerdo platô e lado direito baixo.

No baixo, *Peltogyne excelsa* teve suas taxas de A_{net} crescendo até 28 °C, *Hevea* sp. e *Couepia parillo* em 30 °C, *Caraipa rodriguesii* seu ótimo de fotossíntese foi em 35,9 °C, *Eschweilera* sp. foi em 25 °C. A média do pico de A_{net} tanto para o primeiro quanto para o segundo ambiente foi em torno de 30 °C, tendo uma variação entre a maior e menor temperatura de 10 °C e 10,9 °C, respectivamente, não sendo encontrada relação entre as duas variáveis ($p < 0,78$), consistindo em muito improvável e com coeficiente de determinação de $r^2 = 0,01$ (Tabela 2).

Tabela 2: Dados dos picos de fotossíntese (A_{net}) para cada espécie nos dois ambientes e a temperatura foliar (T_{foliar}) onde o máximo de fotossíntese foi alcançado.

Ambiente	Árvore	$T_{\text{(foliar)}}$	A_{net}
Platô	<i>Eschweilera cyathiformis</i>	25	6,83
Platô	<i>Eschweilera</i> sp.	25	7,61
Platô	<i>Pouteria anomala</i>	34,4	8,31
Platô	<i>Couepia longipendula</i>	32,2	8,86
Platô	<i>Pouteria erythrochrysa</i>	35	8,15
Baixo	<i>Peltogyne excelsa</i>	28	6,52
Baixo	<i>Hevea</i> sp.	30	7,12
Baixo	<i>Caraipa rodriguesii</i>	35,9	8,05
Baixo	<i>Eschweilera</i> sp.	25	7,79
Baixo	<i>Couepia parillo</i>	30	9,78

As plantas de uma forma geral, mesmo aos 40 °C, tiveram valores iguais ou maiores que $5,00 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. No platô, entre a maior e menor temperatura, a espécie com maior perda de fotossíntese foi *Eschweilera* sp. com $1,98 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de perda, seguida de *Couepia longipendula* com $1,79 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, depois *Eschweilera cyathiformis* tendo $1,41 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, depois *Pouteria anomala* com $0,47 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e por último *Pouteria erythrochrysa* que obteve apenas $0,47 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ de perda. Já no baixo, as perdas de maiores a menores valores foram de *Couepia parillo*, *Eschweilera* sp., *Peltogyne excelsa*, *Hevea* sp. e *Caraipa rodriguesii*, com 3,30, 3,21, 1,28, 1,00 e $0,98 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, respectivamente.

Na figura 10, é possível visualizar os padrões de cada ambiente, a partir de médias das cinco curvas realizadas para as espécies, sendo possível observar as diferenças de comportamento em cada ambiente. A diminuição de A_{net} para o grupo do platô foi de 15,51% e do segundo grupo foi de 25,85 %.

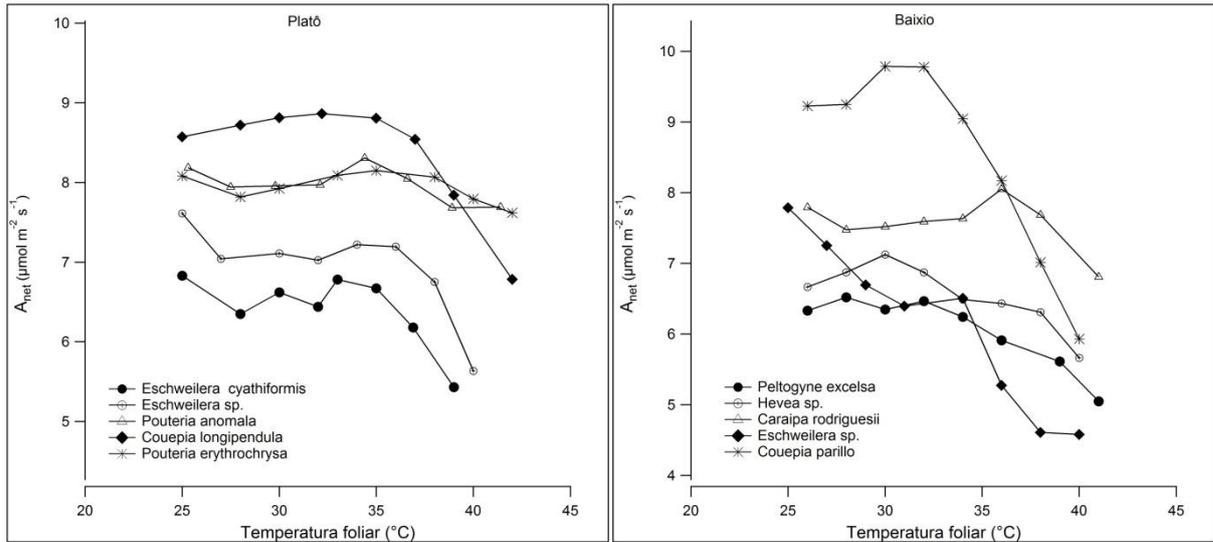


Figura 10: Variação das taxas fotossintéticas das espécies no platô e baixo (média das cinco curvas), km 34, ZF2.

Para a condutância estomática, os valores médios nos dois ambientes considerando todas as temperaturas variaram entre $0,361$ e $0,042 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com uma diferença muito provável entre $T_{\text{foliar}} \times g_s$ ($p < 0,001$ e $r^2=0,075$). Sendo que para cada nível de temperatura no platô, em $25,3 \text{ }^\circ\text{C}$ g_s teve uma média de $0,267 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com desvio padrão de $0,073 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $27,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a média foi de $0,153 \pm 0,035 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $29,8 \text{ }^\circ\text{C}$ de $0,115 \pm 0,018 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $32 \text{ }^\circ\text{C}$ de $0,100 \pm 0,010 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, já em $34,3 \text{ }^\circ\text{C}$ foi $0,087 \pm 0,009 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $36,4 \text{ }^\circ\text{C}$ obteve $0,081 \pm 0,008 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, nos $38,5 \text{ }^\circ\text{C}$ a média de $0,071 \pm 0,010 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e na temperatura de $40,8 \text{ }^\circ\text{C}$ obteve $0,059 \pm 0,015 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

No baixo, em $25,9 \text{ }^\circ\text{C}$ g_s teve uma média de $0,234 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com desvio padrão de $0,085 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $27,8 \text{ }^\circ\text{C}$ a média foi de $0,147 \pm 0,045 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $29,8 \text{ }^\circ\text{C}$ de $0,122 \pm 0,049 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $31,8 \text{ }^\circ\text{C}$ de $0,104 \pm 0,042 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, já em $33,9 \text{ }^\circ\text{C}$ foi $0,088 \pm 0,031 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, em $36 \text{ }^\circ\text{C}$ obteve $0,077 \pm 0,023 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, nos $38,1 \text{ }^\circ\text{C}$ a média de $0,069 \pm 0,019 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e na temperatura de $40,4 \text{ }^\circ\text{C}$ obteve $0,060 \pm 0,017 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

Os comportamentos de cada planta de acordo com o aumento da temperatura foliar variaram nos dois ambientes. No platô é possível observar que a espécie *Eschweilera cyathiformis* teve uma queda na condutância entre a T° de 25 a $28 \text{ }^\circ\text{C}$ de $0,068 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, cerca de 39% e manteve relativamente estável até $36,9 \text{ }^\circ\text{C}$, depois teve uma redução de 31% , sendo que a variação total de perda foi de $0,125 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ou 71% . A espécie *Eschweilera sp.* teve uma perda entre o primeiro e segundo nível de T° de $0,093 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ou 43% , a variação total foi de 77% , já *Pouteria anomala* teve uma redução de $0,135 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, cerca de 44% após a primeira temperatura, a partir daí os valores ficaram próximos uns dos outros, tendo uma

variação total de $0,228 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ou 74%. Em *Couepia longipendula* os valores decresceram cerca de $0,101 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ entre as duas primeiras temperaturas (38%), a variação total foi de $0,221 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (82%) e *Pouteria erythrochrysa* conseguiu uma redução de $0,169 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de g_s , cerca de 47% nos primeiros pontos e uma redução o total de $0,298 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ou 82%.

No baixio, as espécies *Peltogyne excelsa*, *Hevea* sp., *Caraipa rodriguesii*, *Eschweilera* sp. e *Couepia parillo* entre a primeira e segunda temperatura tiveram uma redução de $0,031$, $0,014$, $0,098$, $0,180$ e $0,109 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sendo 24%, 9%, 37%, 61% e 34%, respectivamente, já as variações totais foram de $0,084$, $0,074$, $0,197$, $0,252$ e $0,262 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, com perdas percentuais de 64%, 48%, 73%, 86% e 82%. Os maiores decréscimos de g_s foram para *Couepia longipendula* e *Pouteria erythrochrysa* no platô e *Eschweilera* sp. e *Couepia parillo* no baixio (Figura 11).

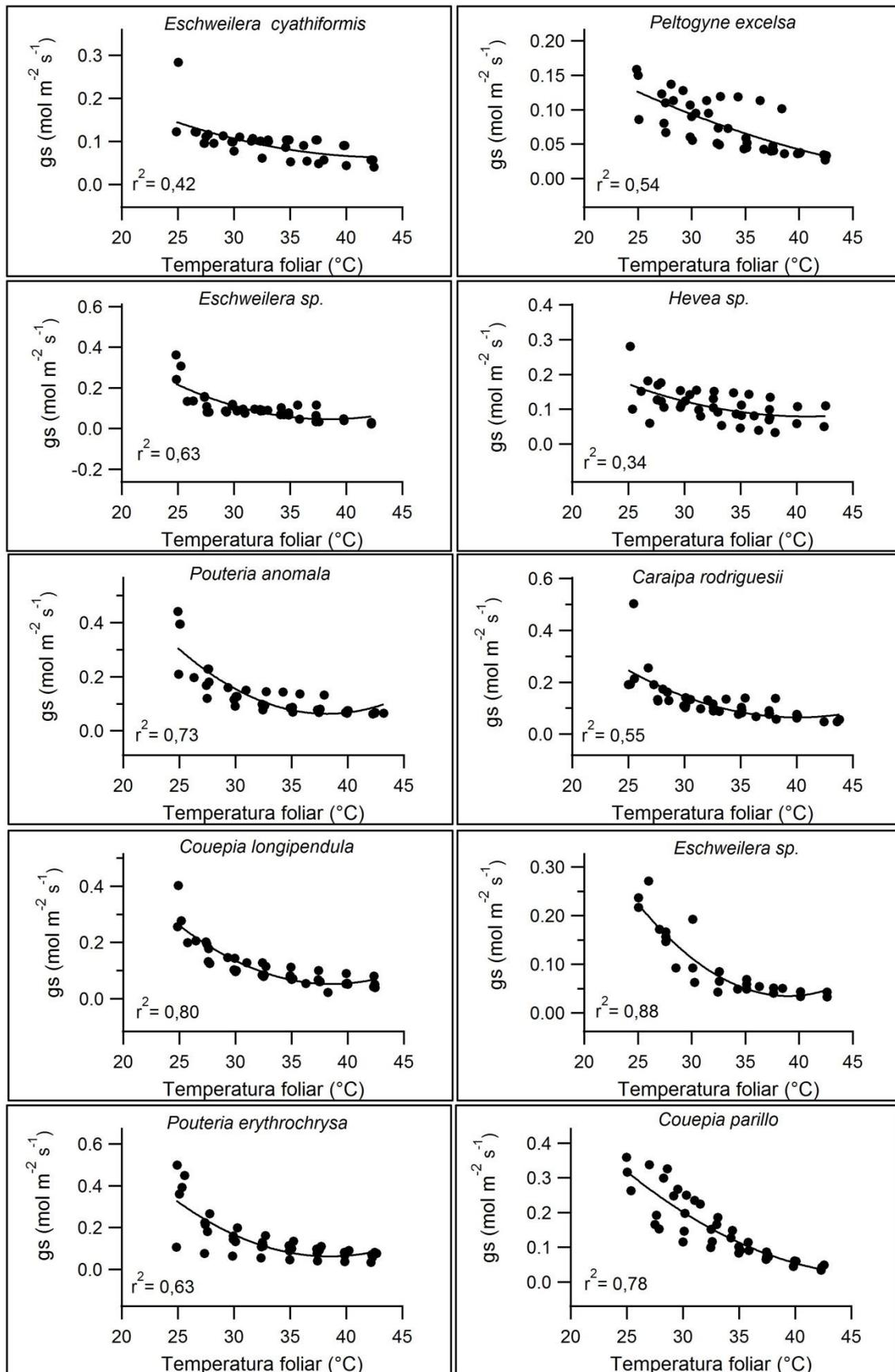


Figura 11: Curvas de respostas da condutância estomática de cada espécie em função da variação da temperatura foliar no platô (esquerda) e baixo (direita).

Para cada ambiente, g_s obteve uma variação de amplitude diferenciada, no platô o máximo alcançado foi de $0,361 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na espécie *Pouteria erythrochrysa* e o mínimo de $0,047 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para *Eschweilera* sp. No baixio, os valores ficaram entre 0,320 e $0,042 \text{ mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para *Couepia parillo* e *Eschweilera* sp., respectivamente. Entre os maiores e menores valores, as perdas no total foram de 87,01 % para o primeiro ambiente e 86,94% para o segundo ambiente. Os picos de fotossíntese, assim como a temperatura foliar ótima foram considerados para condutância estomática (Tabela 3).

Tabela 3: Dados de condutância estomática ($\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para cada espécie nos dois ambientes e a temperatura foliar (T_{foliar}) onde o máximo de fotossíntese foi alcançado.

Ambiente	Árvore	T_{foliar}	Condutância	Fotossíntese
Platô	<i>Eschweilera cyathiformis</i>	25	0,176	6,83
Platô	<i>Eschweilera</i> sp.	25	0,218	7,61
Platô	<i>Pouteria anomala</i>	34.4	0,096	8,31
Platô	<i>Couepia longipendula</i>	32.2	0,101	8,86
Platô	<i>Pouteria erythrochrysa</i>	35	0,097	8,15
Baixio	<i>Peltogyne excelsa</i>	28	0,100	6,52
Baixio	<i>Hevea</i> sp.	30	0,128	7,12
Baixio	<i>Caraipa rodriguesii</i>	35.9	0,095	8,05
Baixio	<i>Eschweilera</i> sp.	25	0,294	7,79
Baixio	<i>Couepia parillo</i>	30	0,195	9,78

Para os padrões de condutância nos dois ambientes, é possível observar que as curvas entre as médias das espécies no platô e baixio são bem parecidas. A redução no primeiro grupo foi de 77,93% e do segundo grupo de 74,38%, não tendo diferença significativa ($p > 0,05$) (Figura 12).

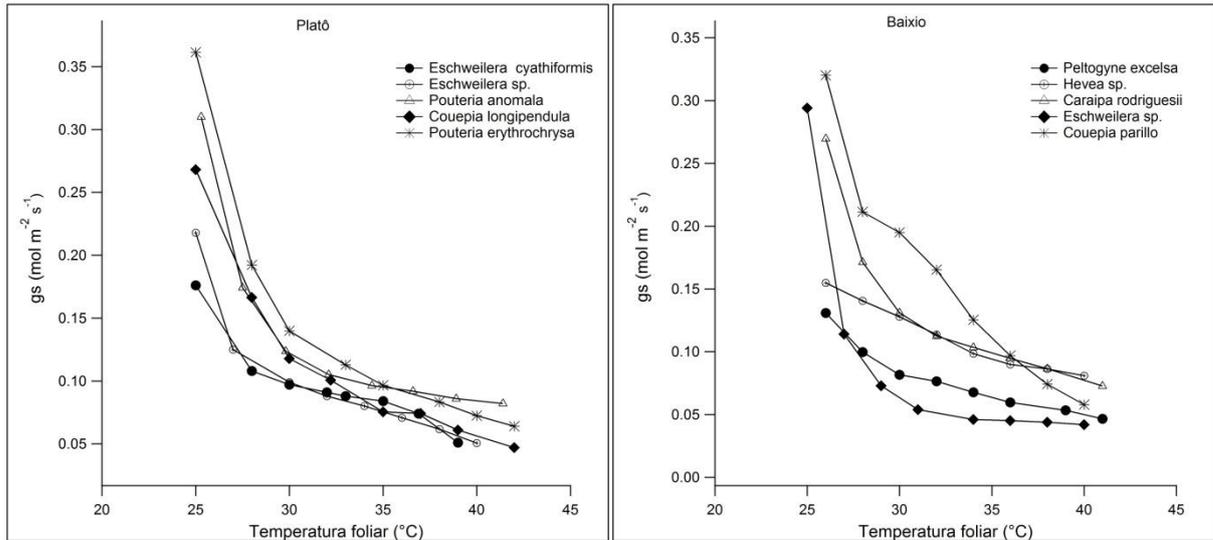


Figura 12: Taxas médias de condutância estomática no platô e baixo (média das cinco curvas), km 34, ZF2.

A transpiração que também é uma variável importante de ser estudada variou em média entre 3,576 e 0,758 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. Quando comparada ao aumento de temperatura, é possível perceber que à medida que a temperatura aumenta a transpiração também aumenta para a maioria das espécies, tendo uma correlação positiva e provável tanto no platô: $p < 0,05$, $r^2 = 0,984$ quanto no baixo de $p < 0,05$, $r^2 = 0,998$.

No platô, para *Eschweilera cyathiformis* os valores variaram entre as temperaturas estudadas em 1,172 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, para *Eschweilera sp.* variou em 0,791 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Pouteria anomala* o valor foi de 2,200 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Couepia longipendula* 1,557 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, a árvore *Pouteria erythrochrysa* teve 1,973 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. No baixo, *Peltogyne excelsa* obteve uma variação de 0,985 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Hevea sp.* foi de 1,731 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, já *Caraipa rodriguesii* 1,804 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, *Eschweilera sp.* 0,837 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ e *Couepia parillo* obteve 0,996 $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, sendo 61%, 40%, 62%, 63%, 57%, 49%, 59%, 60%, 46% e 39%, respectivamente (Figura 13).

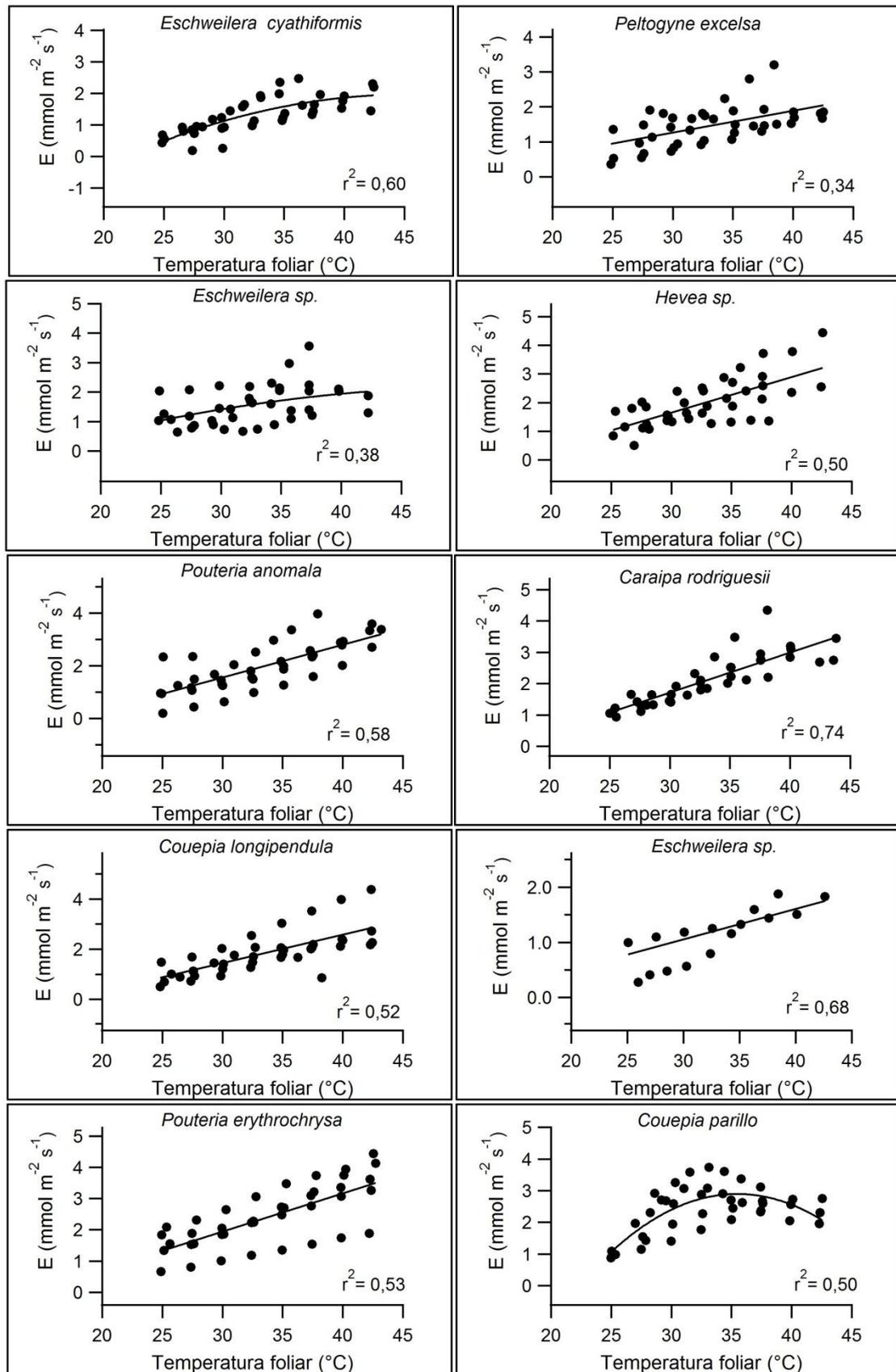


Figura 13: Padrões das taxas de transpiração encontradas nos dois ambientes estudados, sendo lado esquerdo plátô e lado direito baixo.

As espécies de uma forma geral aumentaram a transpiração juntamente com o aumento da temperatura, as árvores que não seguiram esse padrão foram *Eschweilera cyathiformis*, *Eschweilera* sp. e *Couepia longipendula* no platô, reduzindo em 9%,6% e 1%, respectivamente. No baixo, apenas *Couepia parillo* com 9% de redução a partir de 34 °C. Para transpiração também foram considerados os picos de fotossíntese relacionados com a temperatura da folha onde o máximo foi alcançado (Tabela 4).

Tabela 4: Dados de transpiração ($\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) para cada espécie nos dois ambientes e a temperatura foliar (T_{foliar}) onde o máximo de fotossíntese foi alcançado.

Ambiente	Árvore	T_{foliar}	Transpiração	Fotossíntese
Platô	<i>Eschweilera cyathiformis</i>	25	0,758	6,83
Platô	<i>Eschweilera</i> sp.	25	1,200	7,61
Platô	<i>Pouteria anomala</i>	34,4	2,144	8,31
Platô	<i>Couepia longipendula</i>	32.2	1,759	8,86
Platô	<i>Pouteria erythrochrysa</i>	35	2,547	8,15
Baixio	<i>Peltogyne excelsa</i>	28	1,132	6,52
Baixio	<i>Hevea</i> sp.	30	1,635	7,12
Baixio	<i>Caraipa rodriguesii</i>	35,9	2,639	8,05
Baixio	<i>Eschweilera</i> sp.	25	0,994	7,79
Baixio	<i>Couepia parillo</i>	30	2,376	9,78

Na figura 14 é possível observar as curvas nos dois ambientes, sendo parecidas até aproximadamente 34 °C, depois havendo uma pequena variação. O aumento da transpiração para o primeiro grupo foi de 57,21% e para o segundo foi de 51,49%.

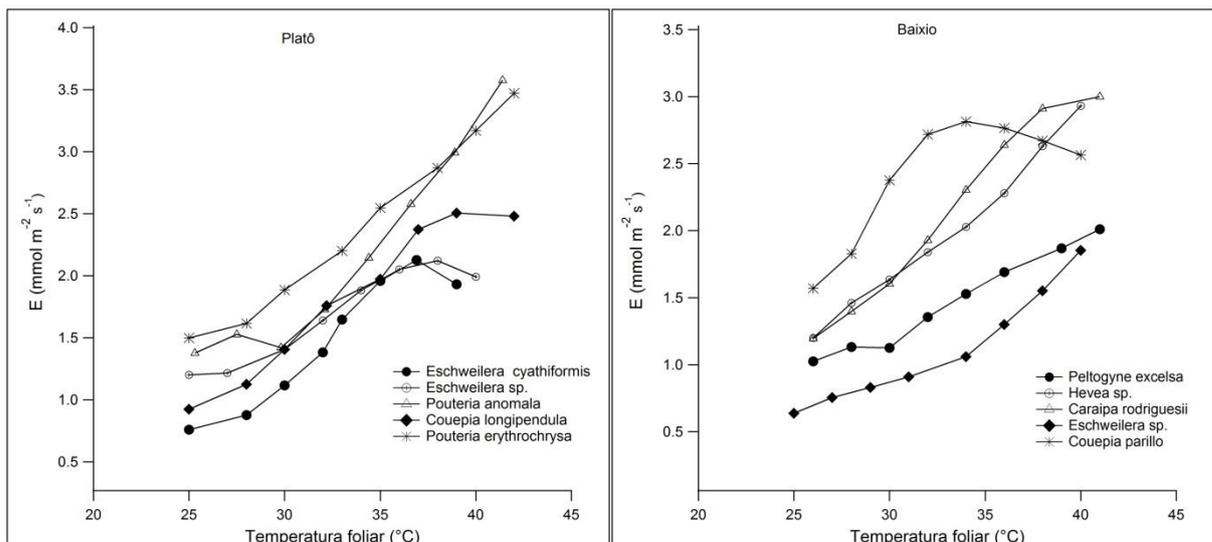


Figura 14: Comportamento das taxas de transpiração foliar no platô e baixo (média das cinco curvas), km 34, ZF2.

5.3. Fotossíntese, Condutância estomática e Transpiração versus DPV

A fotossíntese quando relacionada com o déficit de pressão de vapor, observa-se que as taxas fotossintéticas decresceram com o aumento do DPV, tendo uma relação muito provável entre as duas variáveis ($r^2= 0,74$, $p < 0,01$). No platô, a espécie *Eschweilera cyathiformis* decresceu suas taxas de A_{net} em 2,46 kPa, *Eschweilera* sp. em 3,01 kPa, já *Pouteria anomala* em 2,92 kPa, *Couepia longipendula* em 2,54 kPa e *Pouteria erythrochrysa* teve uma queda em 2,65 kPa. No baixio, *Peltogyne excelsa* teve uma decréscimo em 1,85 kPa, *Hevea* sp. em 1,30 kPa, já *Caraipa rodriguesii* em 2,86 kPa, *Eschweilera* sp. teve uma queda em 2,23 kPa e *Couepia parillo* teve o decréscimo em suas taxas em 1,27 kPa (Figura 15).

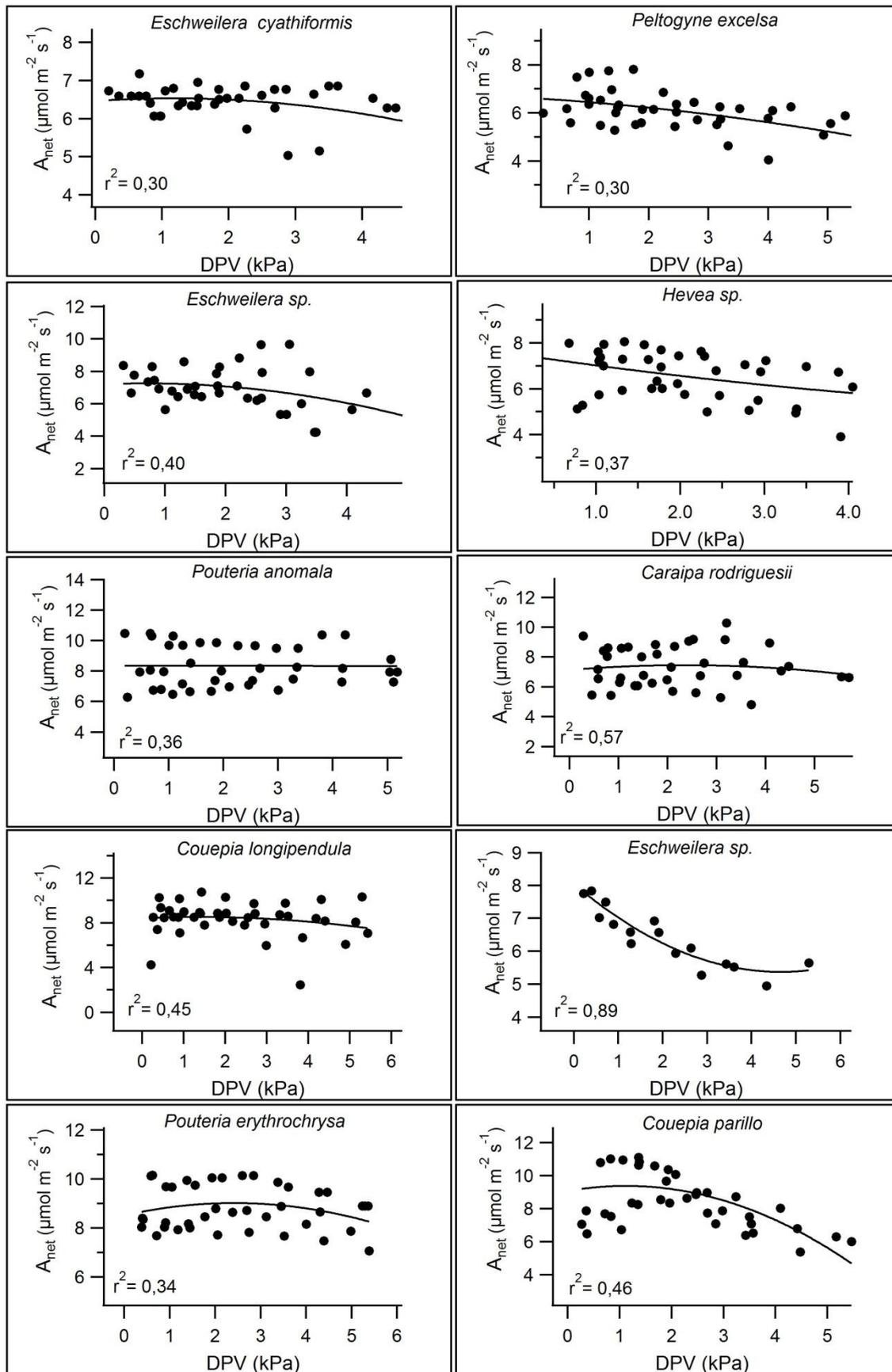


Figura 15: Valores de fotossíntese relacionados com o déficit de pressão de vapor no platô (esquerda) e baixo (direita).

Para os dois ambientes, observa-se que as espécies estudadas do platô conseguiram manter uma leve estabilidade nas taxas fotossintéticas, tendo um decréscimo em 2,37 kPa de DPV, enquanto que a média das árvores do baixo foi em 1,77 kPa e reduções de 15,6 e 25,8%, respectivamente. Tendo correlações negativas (r de Pearson = -0,86, no platô e -0,96 no baixo) (Figura 16).

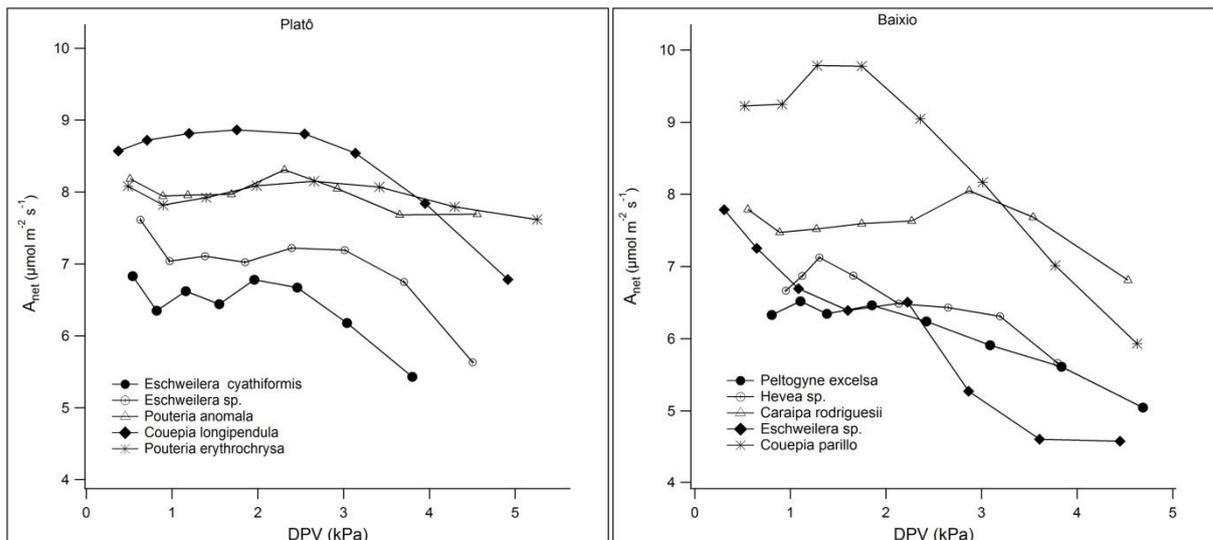


Figura 16: Comportamento da fotossíntese nos dois ambientes estudados relacionados ao déficit de pressão de vapor (média das cinco curvas).

Com a condutância, os valores também decresceram, sendo que é muito provável a relação entre os dois tratamentos ($r^2 = 0,86$, $p < 0,01$). No platô, a árvore *Eschweilera cyathiformis* manteve estabilidade entre 1,16 e 2,46 kPa, *Pouteria anomala* entre 1,69 e 3,65 kPa, já no baixo, a espécie *Hevea sp.* se manteve estável entre 2,13 e 3,79 kPa, *Eschweilera sp.* entre 1,60 e 4,45 kPa, já *Caraipa rodriguesii* manteve sua estabilidade entre 1,74 e 2,86 kPa, as demais árvores apenas decresceram seus valores, sem demonstrarem momentos de estabilidade (Figura 17).

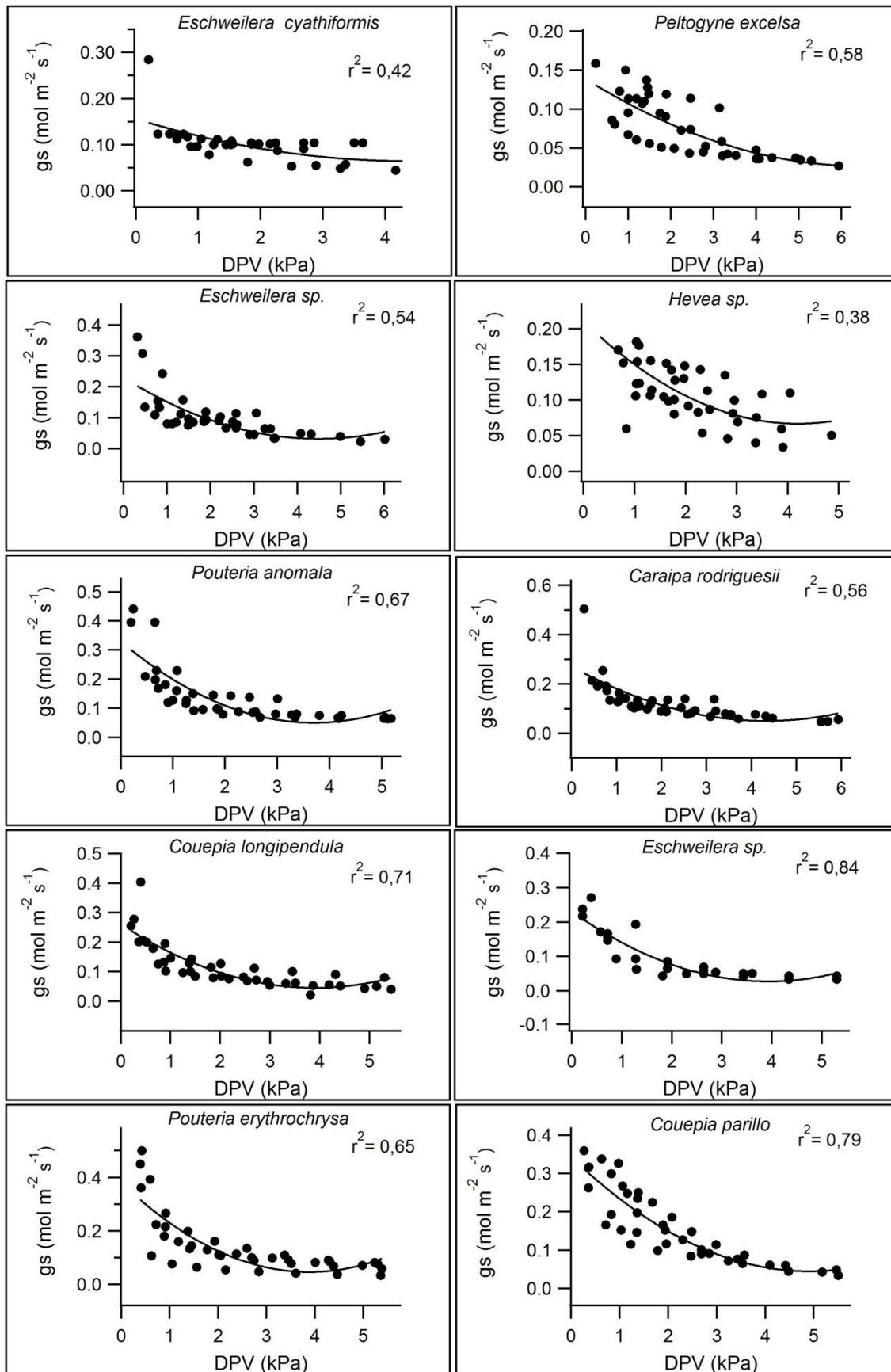


Figura 17: Condutância estomática de todas as espécies estudadas no platô (esquerda) e baixo (direita) relacionadas com o DPV.

Para os dois ambientes, as espécies do baixio aparentemente mantiveram uma estabilidade maior em relação às taxas de DPV, de forma geral, as árvores do primeiro ambiente diminuíram suas taxas entre 0,50 a 0,85 kPa, já as do baixio diminuíram suas taxas de g_s entre 0,61 e 0,95 kPa, já. As relações também foram negativas, ou seja, à medida que o DPV aumenta as taxas de g_s diminuíram (r de Pearson = -0,93, no platô e -0,92 no baixio) (Figura 18).

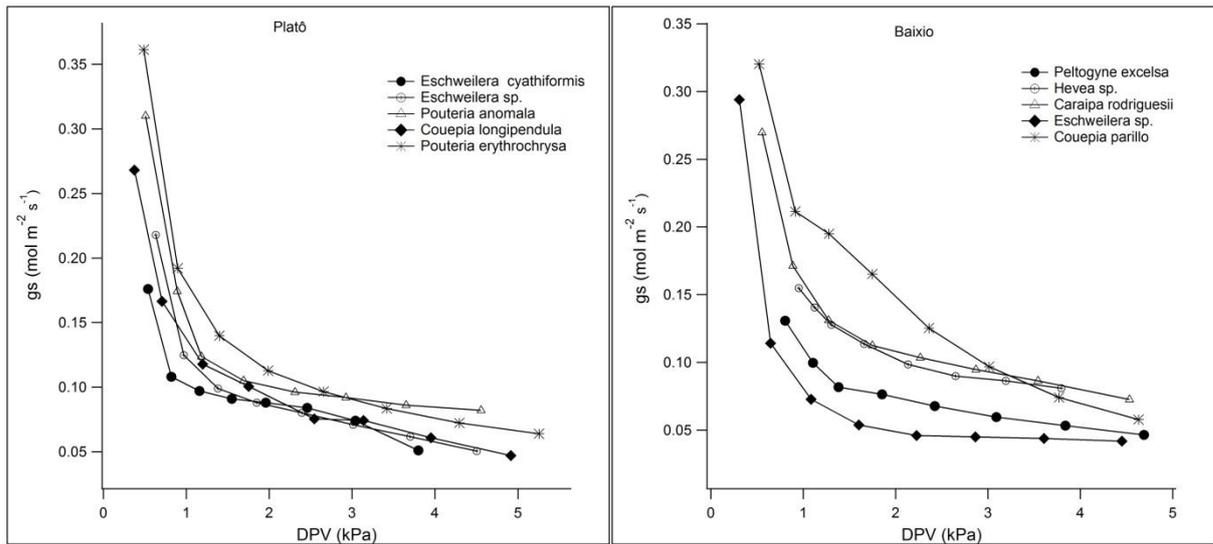


Figura 18: Comportamento da condutância nos dois ambientes estudados relacionados com o déficit de pressão de vapor (média das cinco curvas).

Os valores de transpiração para o aumento do DPV, ao contrário do que acontece com A_{net} e g_s , seguem um padrão juntamente com a curva do DPV, quando um aumenta o outro também aumenta, tendo uma relação muito provável entre os dois ($r^2 = 0,93$, $p < 0,01$). No platô, as árvores *Pouteria anomala* e *Pouteria erythrochrysa* foram as que aumentaram suas taxas linearmente, a árvore *Eschweilera cyathiformis* teve decréscimo em 3,04 kPa, *Eschweilera sp.* teve em 3,70 kPa e *Couepia longipendula* teve um decréscimo em 3,95 kPa. Enquanto isso, no baixio somente a espécie *Couepia parillo* teve decréscimo em seus valores em 2,36 kPa, as outras espécies seguiram a curva de DPV (Figura 19).

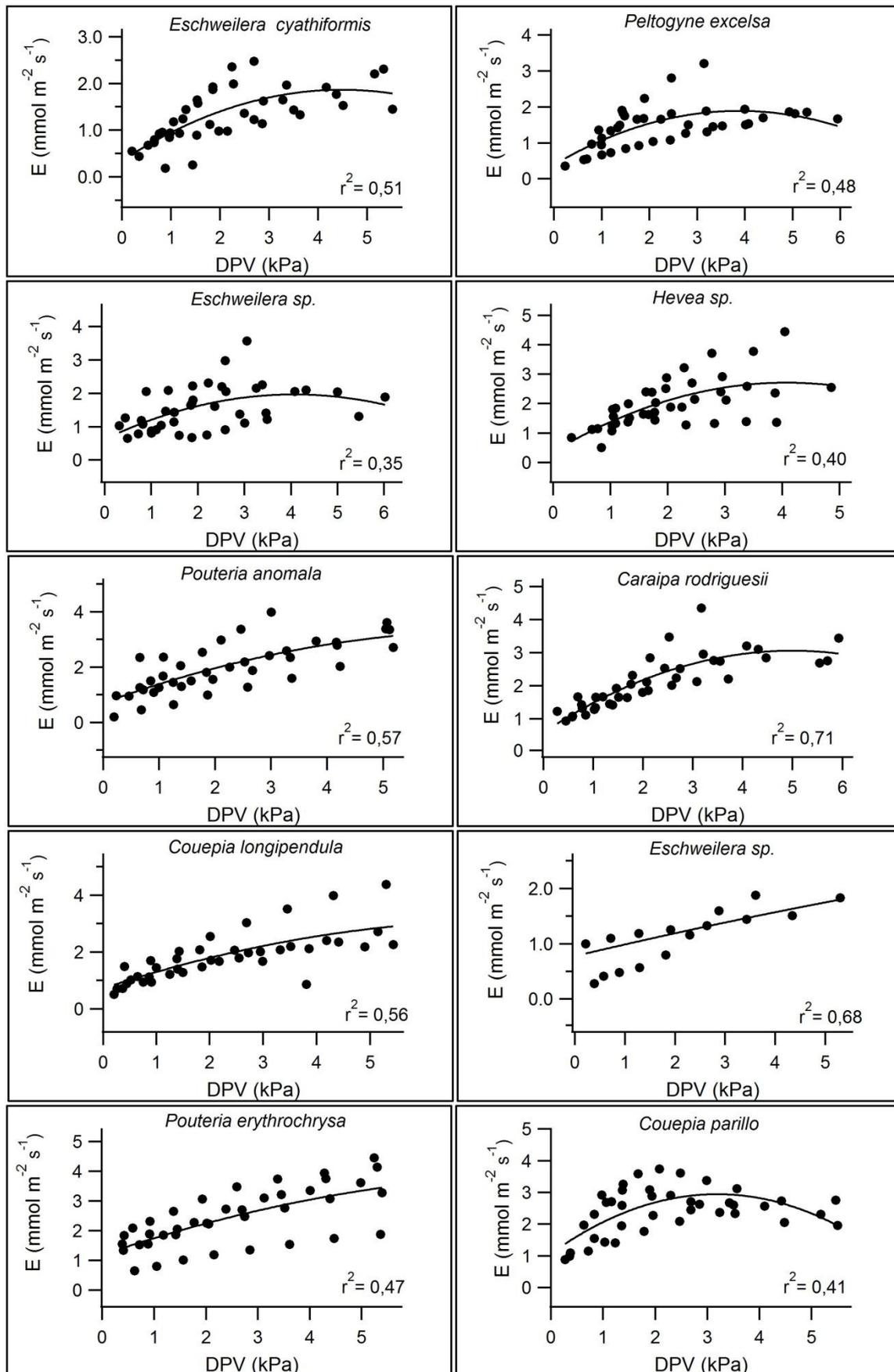


Figura 19: Valores de transpiração relacionados com o déficit de pressão de cada espécie no platô (esquerda) e baixo (direita).

As espécies dos dois ambientes tiveram comportamentos diferenciados, sendo que a espécie *C. parillo* obteve uma curva mais acentuada entre todas as árvores, diminuiu a transpiração mais rapidamente. Ao visualizar as médias de cada grupo em ambos os lugares, o platô conseguiu maiores taxas de E ao longo da curva de DPV (Figura 20).

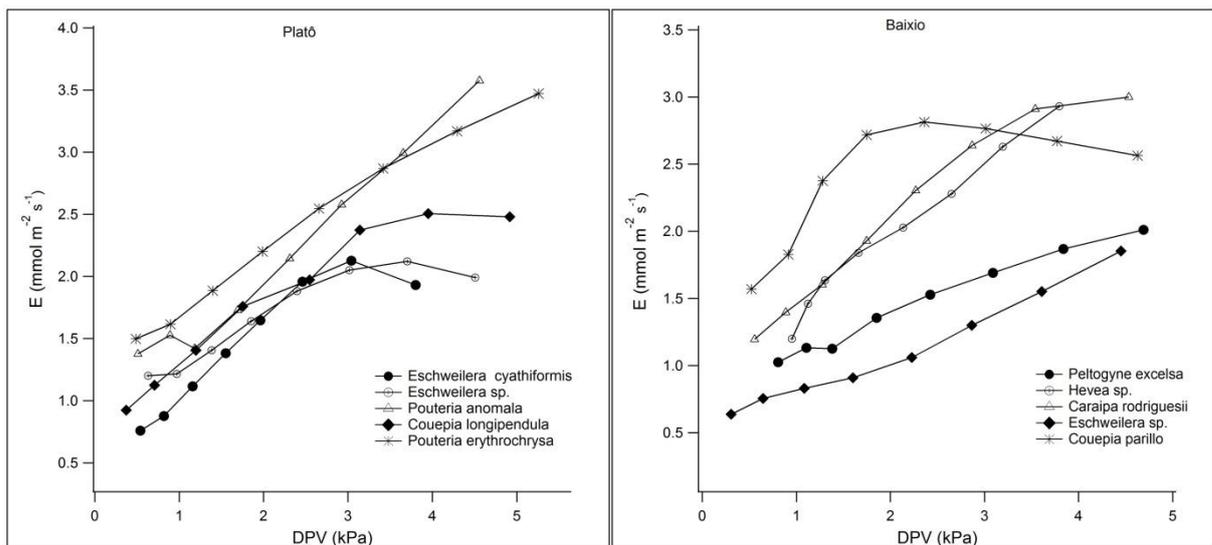


Figura 20: Comportamento da transpiração com o déficit de pressão de vapor nos dois ambientes (média das cinco curvas).

5.4. Relação entre as trocas gasosas foliares

Com os resultados é possível observar que à medida que os valores de g_s aumentam, os valores de A_{net} também crescem, tendo, portanto, segundo teste de Pearson uma correlação positiva para o platô e baixo (0,79 e 0,84, respectivamente), no geral. Por espécie, no platô, *Eschweilera cyathiformis* teve uma correlação de $r = 0,66$, $p = 0,07$, *Eschweilera sp.* o valor foi de 0,64, $p = 0,08$, enquanto que *Pouteria anomala* teve uma correlação de 0,42, $p = 0,30$, *Couepia longipendula* obteve um valor de 0,42, $p = 0,30$ e *Pouteria erythrochrysa* 0,30, $p = 0,46$.

No baixo, o valor para *Peltogyne excelsa* foi $r = 0,70$, $p < 0,05$, para *Hevea sp.* 0,71, $p < 0,05$, *Caraipa rodriguesii* 0,30, $p = 0,48$, *Eschweilera sp.* 0,71, $p < 0,05$ e *Couepia parillo* 0,71, $p < 0,05$. As espécies do platô tiveram correlações que variaram de fraca a moderada, enquanto isso no baixo, apenas *C. rodriguesii* não teve correlação significativa e uma correlação fraca.

No intervalo entre a média do menor e maior valor de g_s (0,047 e 0,361 mol m⁻²s⁻¹) no primeiro ambiente, houve um acréscimo em de média 3,44 μmol.m⁻²s⁻¹ de fotossíntese,

cerca de 38,79%. No segundo ambiente, entre o intervalo de 0,042 e 0,320 mol m⁻²s⁻¹ houve um aumento nas taxas fotossintéticas de 5,20 μmol.m⁻².s⁻¹ ou 53,19% (Figura 21).

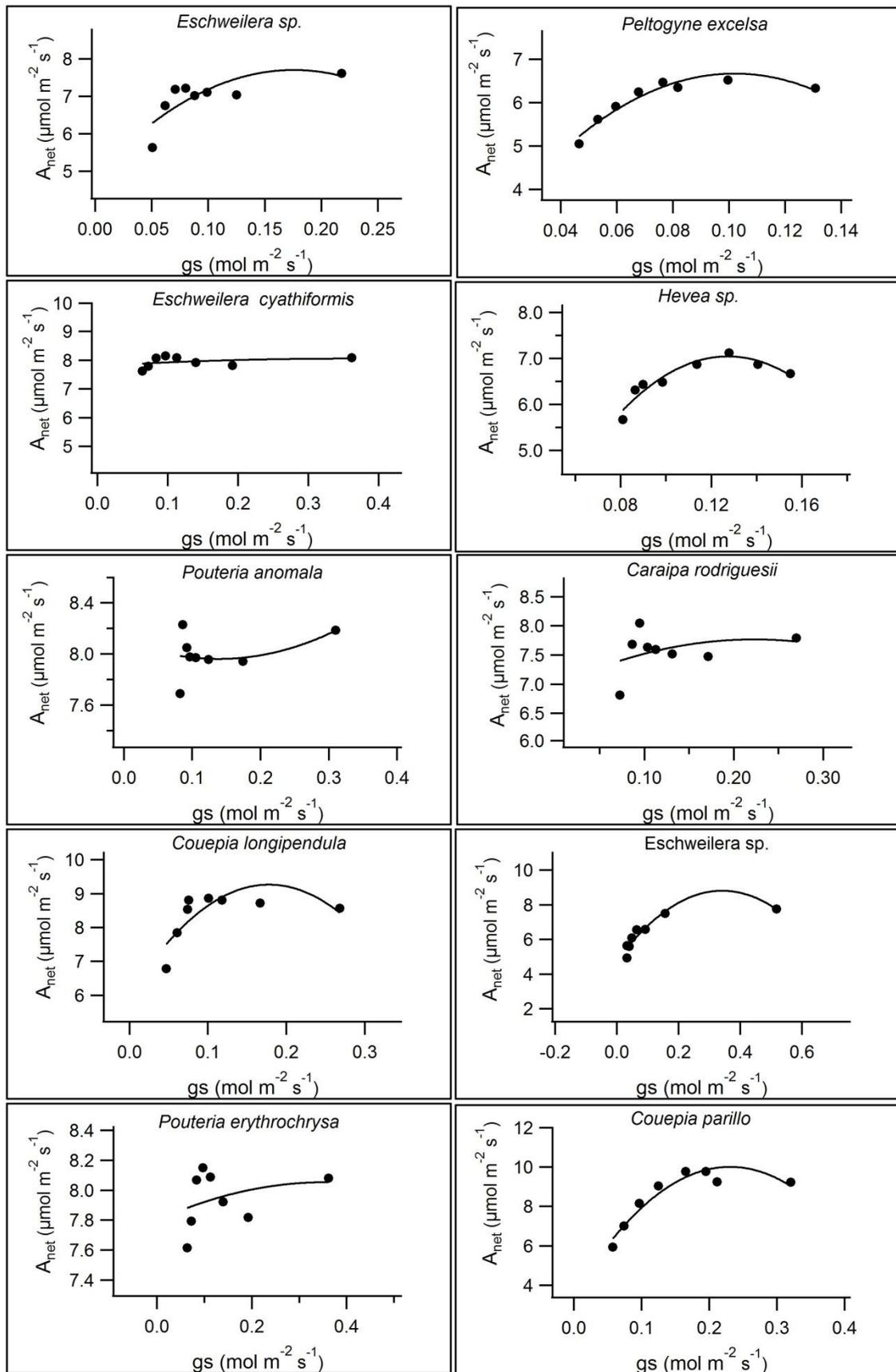


Figura 21: Correlação entre fotossíntese e condutância estomática (média das cinco curvas) no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).

Outra variável correlacionada é a transpiração, que pode influenciar as respostas das plantas no ambiente. Há relação significativa entre fotossíntese e transpiração de acordo com a análise de regressão linear (platô $r^2=0,75$, $p < 0,05$; baixio $r^2= 0,97$, $p < 0,05$), à medida que a transpiração aumentou, as taxas fotossintéticas diminuíram.

De acordo com a correlação de Pearson por espécie, no platô, *Eschweilera cyathiformis* teve uma correlação de $r= -0,45$, $p= 0,25$ *Eschweilera* sp., o valor foi de $-0,49$, $p= 0,21$ enquanto que *Pouteria anomala* teve uma correlação de $-0,61$, $p= 0,11$ *Couepia longipendula* obteve um valor de $-0,60$, $p= 0,11$ e *Pouteria erythrochrysa* $-0,44$, $p= 0,27$. No baixio, o valor para *Peltogyne excelsa* foi $-0,89$, $p < 0,05$, para *Hevea* sp. $-0,83$, $p < 0,05$ *Caraipa rodriguesii* $-0,25$, $p= 0,55$ *Eschweilera* sp. $-0,93$, $p < 0,05$ e *Couepia parillo* $-0,30$, $p= 0,46$. As árvores do platô tiveram uma correlação fraca entre $A_{net}XE$, enquanto as do baixio, apenas *C. rodriguesii* e *C. parillo* tiveram correlações fracas e não significativas (Figura 22).

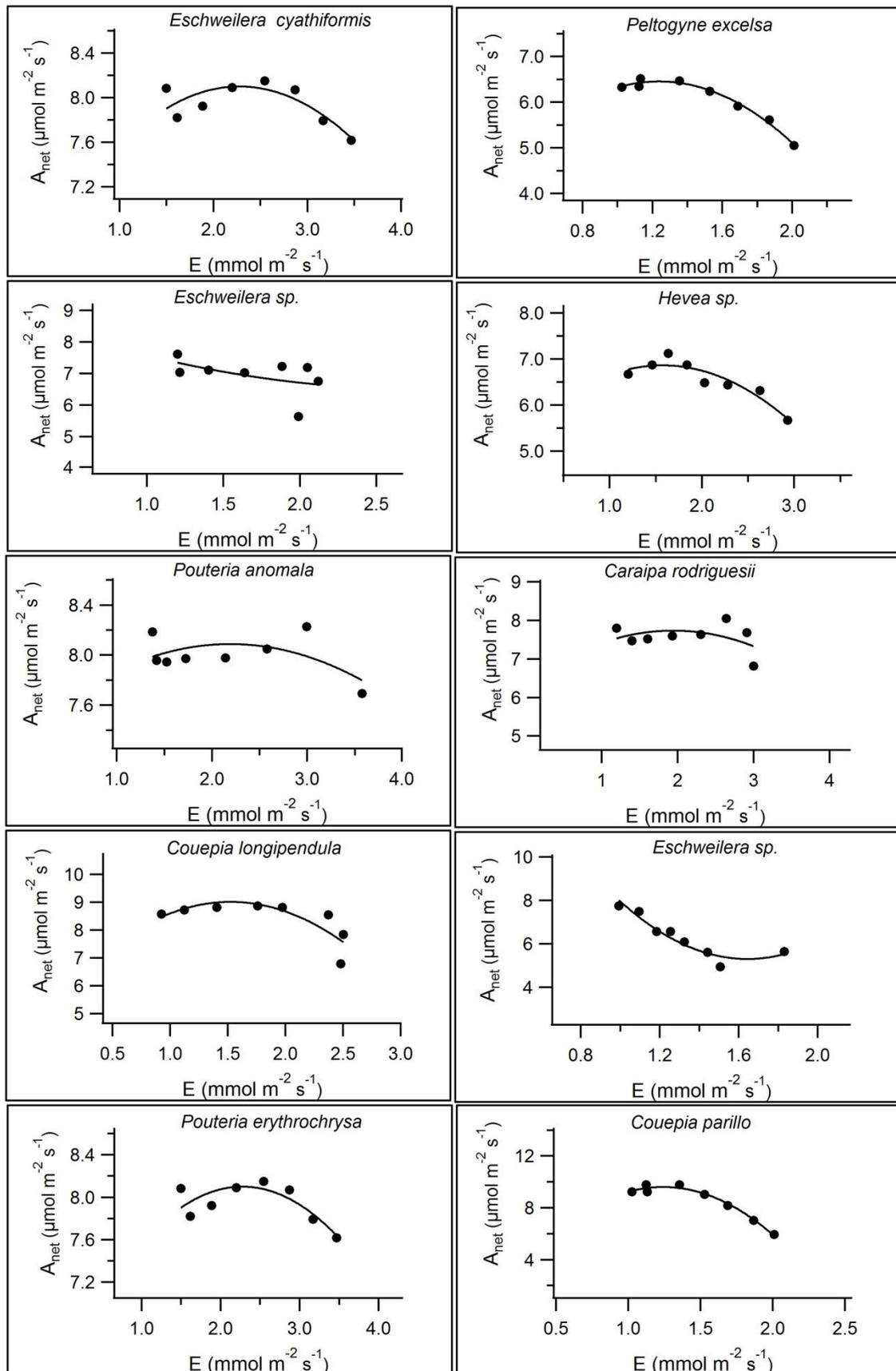


Figura 22: Correlação entre fotossíntese e transpiração (média das cinco curvas) nos dois ambientes estudados, no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).

Os valores de g_s também diminuíram com aumento da E (platô $r^2= 0,68$, $p < 0,05$, baixio $r^2= 0,80$, $p < 0,05$). Para cada uma das árvores em estudo, os resultados da correlação foram: *Eschweilera cyathiformis* teve $r= -0,80$, $p < 0,05$, *Eschweilera* sp. o valor foi de $-0,82$, $p < 0,05$, enquanto que *Pouteria anomala* teve uma correlação de $-0,62$, $p= 0,09$ *Couepia longi pendula* obteve um valor de $-0,90$, $p < 0,05$ e *Pouteria erythrochrysa* $-0,80$, $p < 0,05$.

No baixio, o valor para *Peltogyne excelsa* foi $-0,89$, $p < 0,05$, para *Hevea* sp. $-0,95$, $p < 0,05$, *Caraipa rodriguesii* $-0,85$, $p < 0,05$, *Eschweilera* sp. $-0,66$, $p= 0,07$ e *Couepia parillo* $-0,85$, $p < 0,05$. Nos dois ambientes as correlações foram fortes para a maioria das espécies, sendo que no platô apenas *P. anomala* e no baixio *Eschweilera* sp. tiveram correlações moderadas (Figura 23).

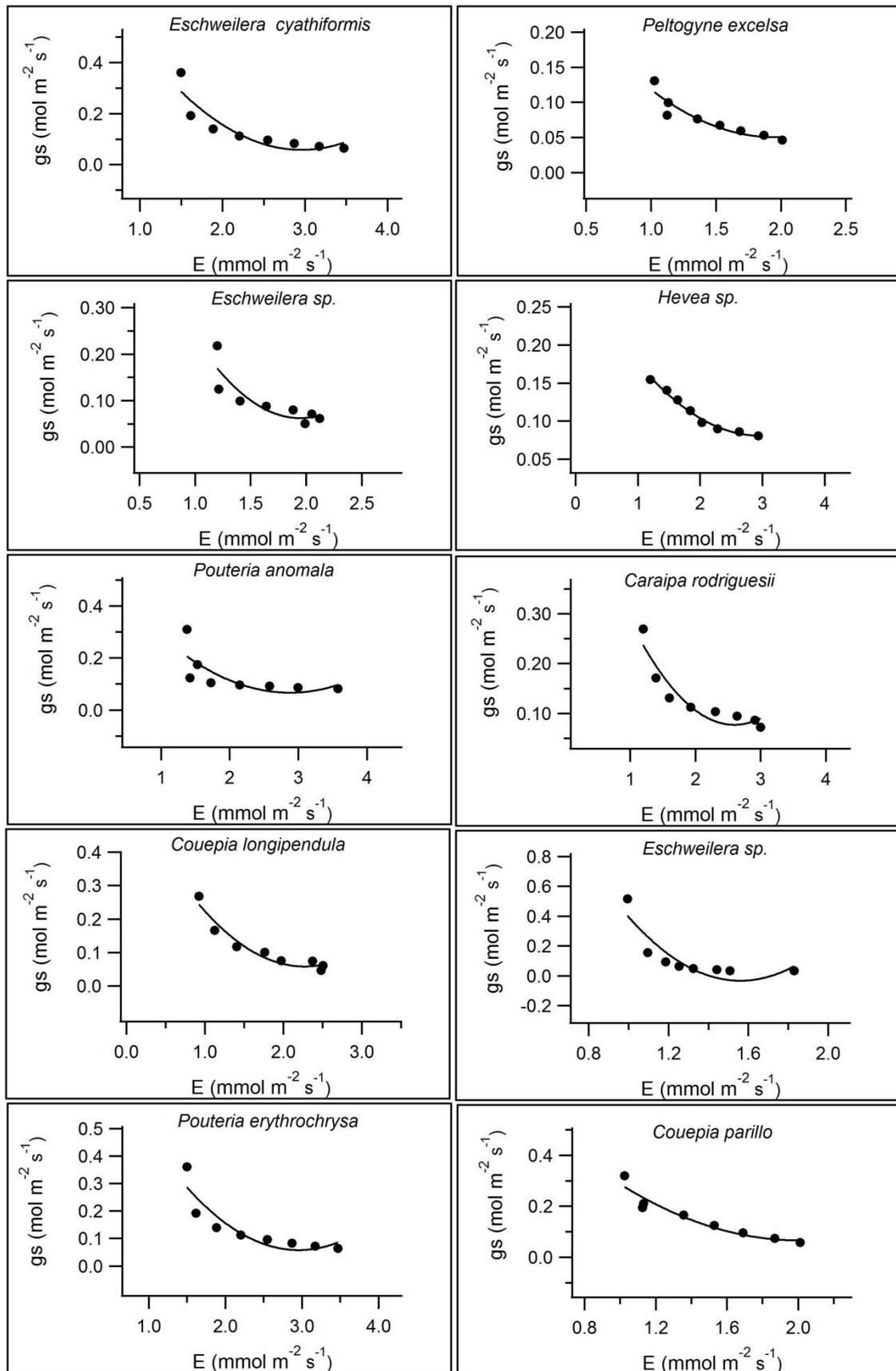


Figura 23: Correlação entre condutância estomática e transpiração (média das cinco curvas) no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).

As medidas da concentração de CO₂ no mesofilo foliar (C_i) e concentração extracelular (C_a) demonstraram que houve uma relação inversa dos dados quando relacionados à temperatura foliar e o déficit de pressão ($r^2= 0,99$, $p < 0,01$). No platô e baixio foram observados que progressivos aumentos em T_{foliar} e DPV causaram decréscimos em C_i/C_a, o que fica bem claro ao observar o comportamento em cada espécie (Figura 24 e 25).

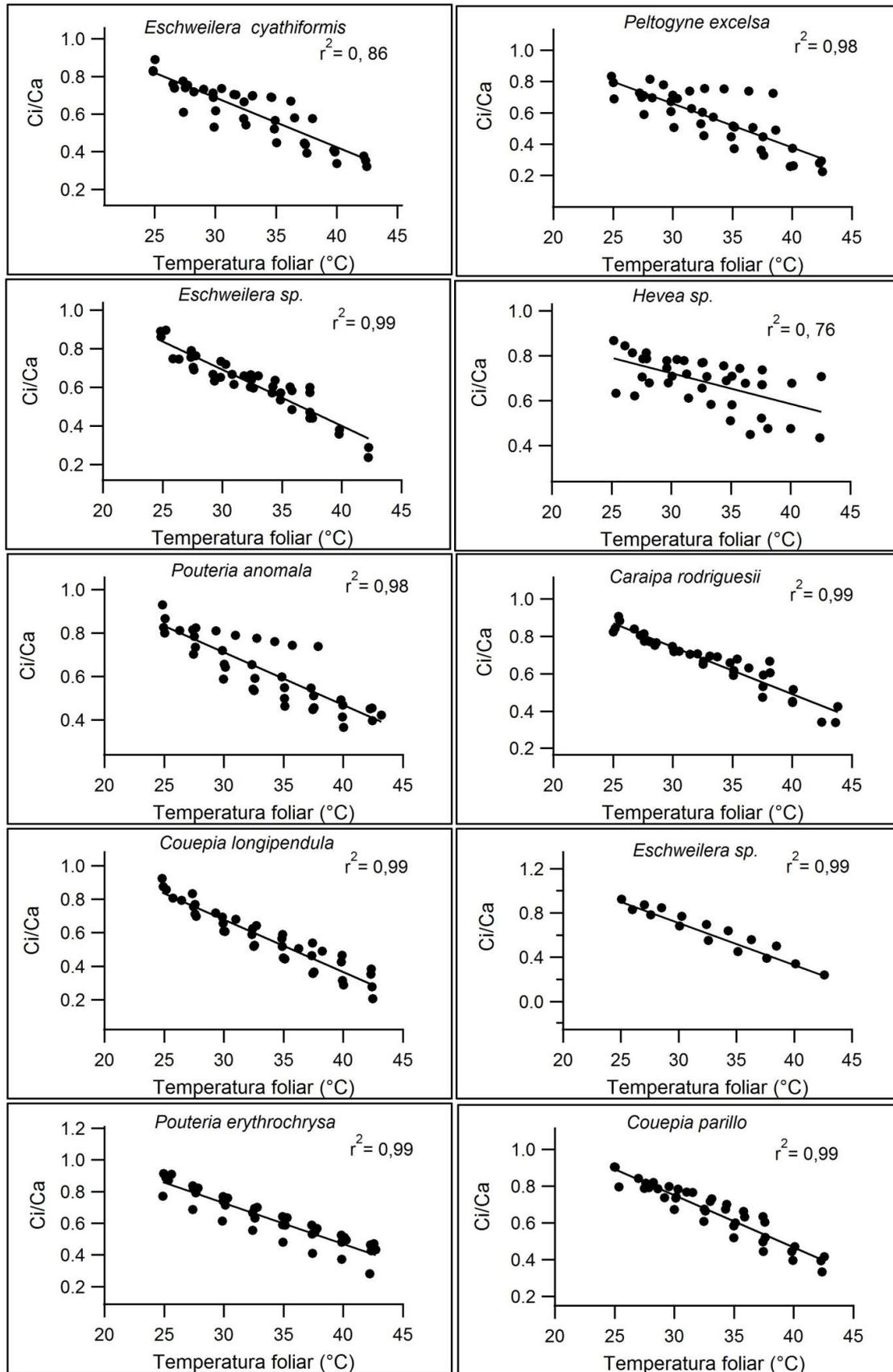


Figura 24: Concentrações de Ci/Ca relacionados com T_{foliar} no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).

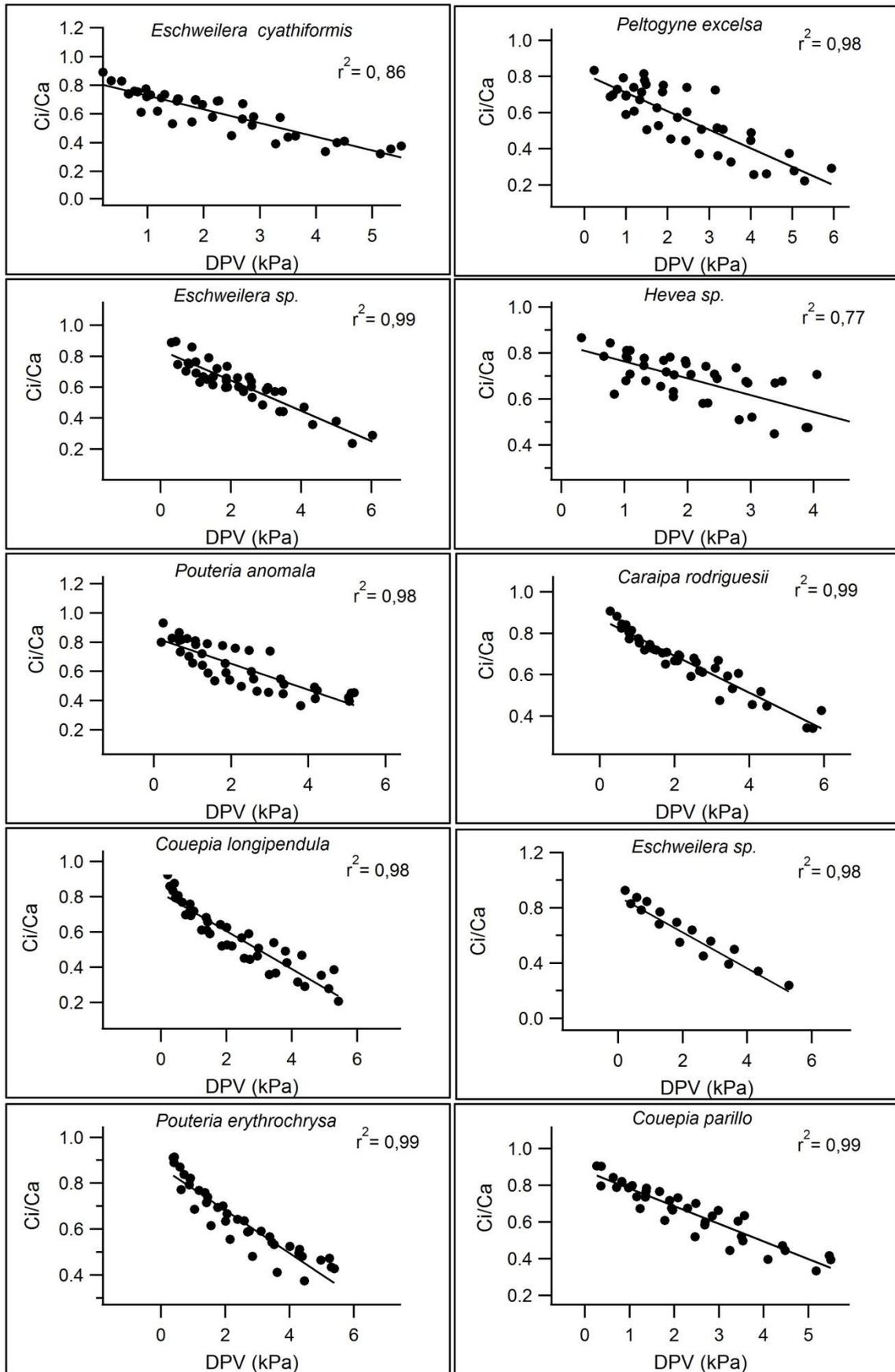


Figura 25: Concentrações de Ci/Ca relacionados com DPV no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).

Os valores de carbono interno aumentaram com aumento de g_s , para cada uma das árvores em estudo, os resultados da correlação foram: *Eschweilera cyathiformis* teve uma correlação de 0,91, *Eschweilera* sp. o valor foi de 0,88, enquanto que *Pouteria anomala* teve uma correlação de 0,90, *Couepia longipendula* obteve um valor de 0,94 e *Pouteria erythrochrysa* 0,88.

No baixio, o valor para *Peltogyne excelsa* foi 0,97, para *Hevea* sp. 0,96, *Caraipa rodriguesii* 0,89, *Eschweilera* sp. 0,72 e *Couepia parillo* 0,97, sendo todos significativos $p < 0,05$ para os dois ambientes. Seguindo a mesma sequência, as árvores a partir do aumento de g_s tiveram um acréscimo de Ci em 37,9%, 51,63%, 41,57%, 60%, 52,55%, 47,91%, 19,90%, 42,02%, 58% e 43,09%. Sendo que a espécie com maior absorção de carbono foi *Couepia longipendula* (platô) e a com menor *Hevea* sp. do baixio (Figura 26).

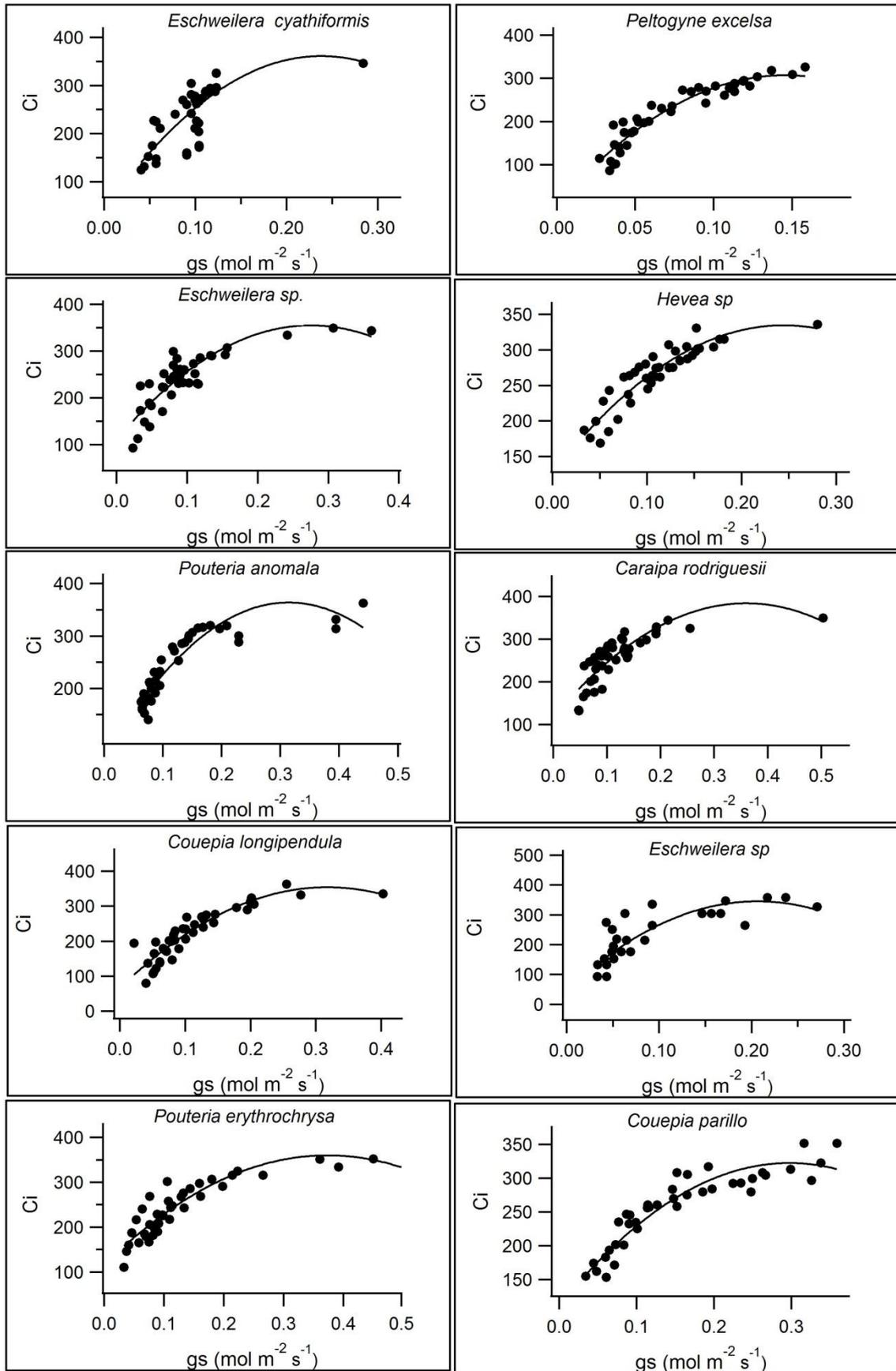


Figura 26: Concentração de carbono interno em função da condutância estomática, sendo lado esquerdo platô e lado direito baixo.

5.5. Eficiência no uso da água

Os resultados da relação entre eficiência do uso (EUA) da água e eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) para as árvores em estudo foram: *Eschweilera cyathiformis* teve uma correlação de 0,91, -0,95, respectivamente, *Eschweilera* sp. o valor foi de 0,90, -0,94 enquanto que *Pouteria anomala* teve uma correlação de 0,73, -0,94, *Couepia longipendula* obteve um valor de 0,96, -0,94 e *Pouteria erythrochrysa* 0,89, -0,89. No baixio, o valor para *Peltogyne excelsa* foi 0,91, -0,99 para *Hevea* sp. 0,99, -0,99 *Caraipa rodriguesii* 0,95, -0,94 *Eschweilera* sp. 0,82, -0,90 e *Couepia parillo* 0,98, -0,97, respectivamente, com todos os valores significativos $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

Os resultados de EUA foram positivamente e altamente relacionados com gs, mas a EIUA foi negativamente correlacionada, ou seja, enquanto há diminuição de gs, aumenta a eficiência intrínseca do uso da água pela planta. As médias de EUA no platô variaram de 3,60 a 5,29 $\text{mmol}(\text{CO}_2)\text{mol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$, onde *Couepia longipendula* obteve a maior média, já no baixio, variou de entre 3,59 a 6,57 $\text{mmol}(\text{CO}_2)\text{mol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$, com destaque para *Eschweilera* sp. que obteve maior média. Para EIUA, no primeiro ambiente, a variação de 71,11 a 94,06 $\text{mmol}(\text{CO}_2)\text{mol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$, enquanto no segundo ambiente, foi de 61,10 a 96,74 $\text{mmol}(\text{CO}_2)\text{mol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$, obtendo maior variação entre os valores, com as mesmas espécies sendo destaques (Figura 27).

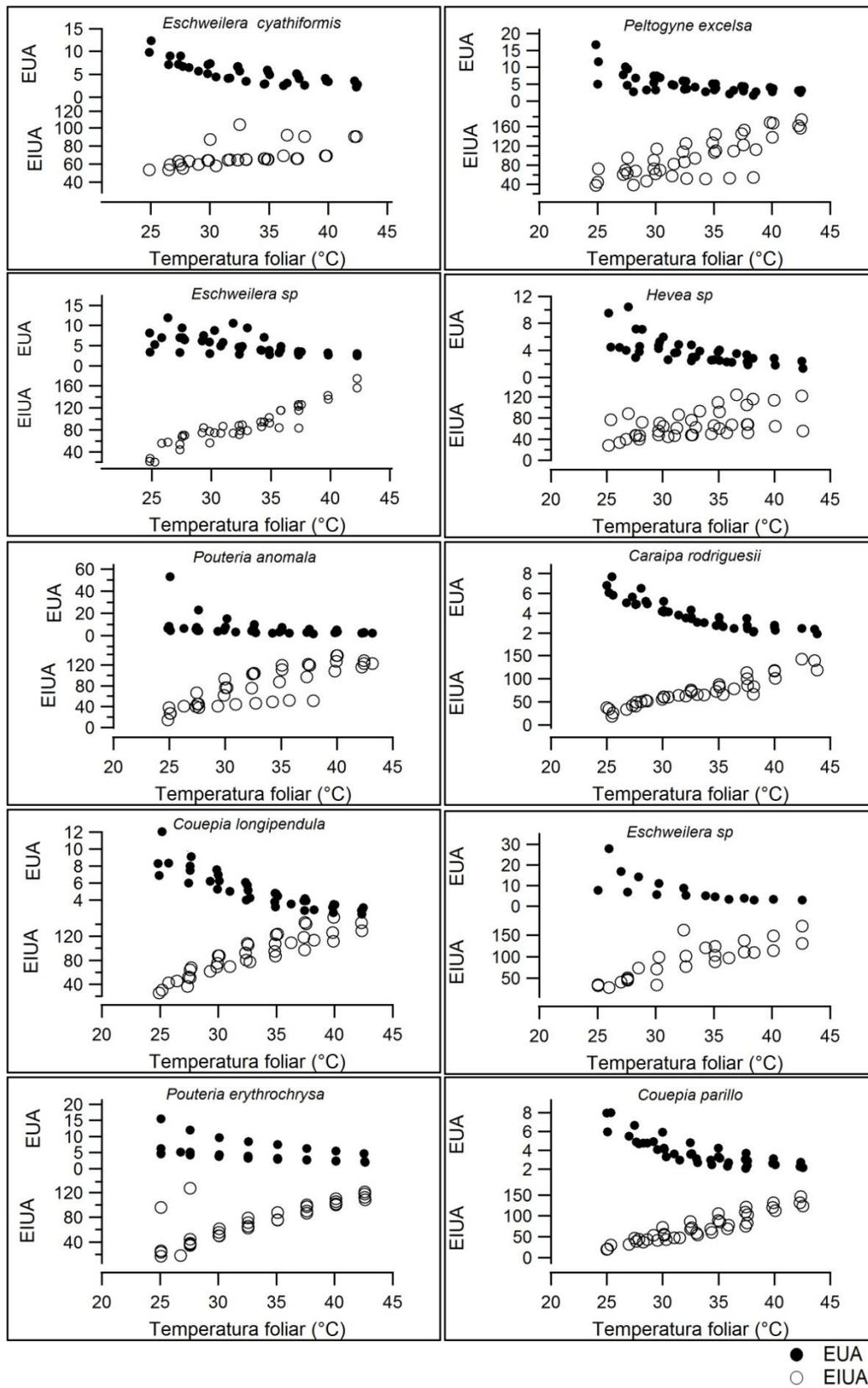


Figura 27: Eficiência no uso da água (EUA), eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) em função do aumento da temperatura foliar, sendo no platô (lado esquerdo) e baixo (lado direito).

6. DISCUSSÃO

6.1. Características micrometeorológicas

A temperatura é considerada um dos principais fatores que tem controle sobre a distribuição e a produtividade das plantas, exercendo grandes efeitos sobre a atividade fisiológica em todas as escalas espaciais e temporais (SAGE; KUBIEN, 2007). A temperatura foliar está diretamente relacionada com as condições climáticas do lugar e, é determinada pela quantidade de energia que chega à folha, assim como os mecanismos fisiológicos disponíveis na folha para dissipar o calor (TRIBUZY, 2005).

Os dados de temperatura, umidade e precipitação do presente estudo estão de acordo com os dados da série histórica para a região (INMET, 2018). No trabalho de Magalhães (2010) também na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – ZF2, foram encontrados dados parecidos, com uma temperatura média de 25,2 °C no período seco e a umidade relativa em 96,2 % e precipitação média de 106 mm.

Os valores de temperatura do ar e déficit de pressão de vapor são positivamente correlacionados, seguindo uma curva semelhante, conseqüentemente, tendo respostas de trocas gasosas também parecidas. O DPV é um dos fatores que contribuem para o aumento da T_{foliar} , pois a partir do decréscimo da umidade relativa e aumento da temperatura do ar, o DPV aumenta e interfere nas respostas estomáticas, afetando a transpiração e fotossíntese e aumentando a temperatura foliar (FELSEMBURGH, 2009).

No presente estudo, os valores micrometeorológicos encontrados foram parecidos para os dois ambientes, sendo que a precipitação ficou acima de 100 mm durante o período seco, portanto, as plantas não passaram por estresse hídrico. Ourique (2014) na mesma área de estudo, relacionando a umidade do solo e a precipitação encontrou que há uma fraca correlação entre esses dois parâmetros, tanto no platô ($r= 0,13$, $p= 0,69$) quanto no baixio ($r= 0,31$, $p= 0,12$). Sendo que os solos do platô por possuírem uma textura argilosa conseguem reter uma maior quantidade de umidade durante o ano, enquanto os solos do baixio por possuírem uma textura arenosa têm menor capacidade de reter umidade (MARQUES et., 2010).

6.2. Trocas gasosas versus T_{foliar} e DPV e seu relacionamento nos dois ambientes estudados

Os valores de fotossíntese encontrados assemelham-se aos dos trabalhos de Felseburgh (2009) e Tribuzy (2005) o primeiro na Floresta Nacional do Tapajós e o segundo na Reserva Biológica do Cuieiras - ZF2. As taxas fotossintéticas quando relacionadas com as

médias de temperatura, apresentam diferenças estatísticas, demonstrando um efeito muito provável da T_{foliar} ($p < 0,05$). Espécies do mesmo ambiente topográfico tiveram resultados diferenciados, um dos motivos, pode estar relacionado com o fato das árvores estudadas possuírem diferentes diâmetros a altura do peito. Geralmente as árvores do baixio são caracterizadas como tendo menores diâmetros, enquanto as árvores do platô maiores diâmetros. As maiores classes diamétricas estão diretamente relacionadas com maiores incrementos diamétricos (OURIQUE, 2014), ou seja, tendo também relação com maior absorção de CO_2 e fotossíntese (MARENCO et al., 2015).

Segundo Tan et al., (2017), a fotossíntese líquida é fortemente influenciada pelos efeitos indiretos da alta temperatura, assim como pelo elevado déficit de pressão de vapor e consequentes decréscimos na condutância estomática. Portanto, o aumento da temperatura afeta primeiramente o DPV, que por sua vez interfere na condutância estomática, limitando assim a fotossíntese. Mas as respostas de A_{net} também estão relacionadas aos fatores químicos como alteração no fotossistema II, que é um dos componentes mais sensíveis da planta (SLOT; WINTER, 2017). Assim como mudanças na atividade da principal enzima carboxilante da fotossíntese (ribulose-1,5-carboxilase/oxigenase) e em processos associados à regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato (Rubisco) pelo ciclo de Calvin no fotossistema I (LLOYD; FARQUHAR, 2008).

Essa relação também pode estar ligada a um conjunto de fatores, visto que as plantas respondem concomitantemente a esse conjunto e interação de forma coordenada e altamente complexa (COSTA; MARENCO, 2007). O máximo de fotossíntese obteve uma média para as espécies em $30,05\text{ }^\circ\text{C}$, valor mais baixo do que o encontrado por Tribuzy (2005) ($31,1\text{ }^\circ\text{C}$), mais alto que de Tan et al. (2017) ($28,1\text{ }^\circ\text{C}$), ambos na mesma área de estudo, próximo do encontrado por de Felseburgh (2009) ($29,9\text{ }^\circ\text{C}$) e próximo do estudo de Slot; Winter (2017) ($29,8\text{ }^\circ\text{C}$) em uma floresta tropical no Panamá.

O maior valor de A_{net} foi para a espécie do baixio *C. parillo* e os menores valores para *E. cyathiformis* e *Eschweilera* sp. (platô e baixio, respectivamente). Nos níveis de temperatura acima 40 de graus, as espécies *P. anomala* e *P. erythrochrysa*, ambas do platô, conseguiram manter a fotossíntese acima de $7\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$, reduzindo em 6 e 5,76%, respectivamente. Demonstrando que com o aquecimento da atmosfera, essas espécies mesmo situadas em um ambiente mais distante do lençol freático, podem não sofrer tantos danos.

Padrões parecidos seguiram-se também para a resposta da fotossíntese relacionada ao déficit de pressão de vapor, onde houve variações de respostas para as árvores dos dois

ambientes, sendo que as mesmas espécies com destaques em relação ao aumento de temperatura também se destacaram com a variação de DPV (Figuras 9 e 15). É importante destacar que as espécies com comportamentos inferiores *E. cyathiformis* e *Eschweilera* sp. (platô e baixio, respectivamente), são as que possuem menores diâmetros dentre as outras espécies selecionadas em cada ambiente, podendo ter relação com o DAP essa menor eficiência, como tratado anteriormente, mas são necessárias maiores investigações.

Para as curvas de g_s , elas são similares na maior parte das taxas de temperatura nos dois ambientes, demonstrando a sensibilidade de g_s com o aumento da T_{foliar} na maioria das árvores (Figura 11). Com valores baixos nas temperaturas mais altas, porém, não sendo suficientes para o fechamento total dos estômatos para ambas as topografias, tendo ampla variação em todas as espécies. As árvores do platô conseguiram uma média 0,117 e do baixio de 0,113 mol m⁻²s⁻¹, no entanto, sem diferença provável ($p > 0,05$).

A resposta estomática quando relacionada com a temperatura permite para as plantas o beneficiamento pelo aumento do resfriamento evaporativo durante as ondas de calor. Em sua pesquisa, Urban et al., (2017) observou que as plantas de folhas largas e coníferas não são prejudicadas pelo aumento da temperatura e não sofrem limitações na fotossíntese, mas podem sofrer pelo esgotamento mais rápido da água do solo, no entanto, este experimento foi conduzido em laboratório. Como a temperatura média global está subindo e temperaturas extremas tornando-se cada vez mais frequentes e graves, é importante compreender melhor o efeito sobre a condutância estomática, assim como a modelagem dessa relação.

A temperatura e o DPV estão diretamente relacionados, ou seja, à medida que um aumenta o outro também aumenta, influenciando, portanto, na condutância estomática, causando decréscimo com os sucessivos aumentos. De acordo com Eamus; Shanahan (2002), a razão desse declínio pode ser uma redução no volume da célula-guarda, em consequência do aumento da transpiração para a maioria das espécies. A transpiração teve esse acréscimo pelo fato das variáveis micrometeorológicas não terem passado por déficit hídrico, pois no período estudado, ambos os ambientes não tiveram a precipitação menor que 100 mm.

Deste modo, é importante destacar também a relação com a transpiração que segue um padrão juntamente com o DPV, somente quando g_s obteve valores bem baixos, foi possível observar a diminuição da transpiração para algumas árvores, sendo a maioria para árvores do platô. Um baixo déficit de pressão de vapor mantém os estômatos abertos e, a partir do aumento desta variável eles diminuem o turgor de água da célula, tanto na cavidade subestomática quanto na atmosfera. No presente estudo, o aumento do DPV foi insuficiente

para o fechamento total dos estômatos, por isso foi observado o aumento da transpiração até certos valores de temperatura e DPV para algumas espécies (EAMUS; SHANAHAN, 2002).

No geral, as árvores que seguiram o padrão de redução (*E. cyathiformis*, *Eschweilera* sp. e *C. longipendula* – platô e *C. parillo* - baixio), são as árvores que também tiveram reduções superiores às demais árvores em g_s entre a penúltima e última temperaturas medidas (31%, 18%, 23% e 22%, respectivamente). Na mesma área de estudo do presente trabalho, também foram encontradas altas taxas de transpiração na pesquisa de Gimenez et al. (2019), sendo essas respostas relacionadas aos altos valores de DPV.

Padrões parecidos também foram encontrados por Brum et al. (2018) em pesquisa no município de Tailândia, Pará, Brasil, onde os autores destacam a sensibilidade da E e g_s para temperatura e déficit de pressão de vapor e demonstram que o DPV tem maior influência quando comparado a umidade do solo. Assim como Ghimire et al. (2018) onde confirmam em seus resultados a regulação da transpiração sendo maior pelo DPV ao invés da umidade do solo. Compreender como espécies de diferentes ambientes regulam a transpiração pode auxiliar em informações sobre a tolerância dessas espécies para um futuro de mudança do clima (BOURNE; HAIGH; ELLSWORTH, 2015).

6.3. Relacionamento entre as trocas gasosas nos dois ambientes estudados

A correlação entre A_{net} e g_s variou entre as árvores e ambientes, no platô as espécies tiveram correlações de fraca a moderada e não foram prováveis, já no baixio, os valores de quatro árvores foram fortes e significativos, apenas a árvore *C. rodriguesii* teve fraca correlação e não significativa. Isto pode indicar que a resistência estomática varia para cada espécie e proporciona um controle significativo nas trocas gasosas, exercendo para algumas maiores influências, essa relação também sugere que o padrão de assimilação de CO_2 pode estar relacionado com a eficiência hidráulica, podendo resultar em queda na T_{foliar} com a diminuição de g_s (BUCCI et al., 2019).

As respostas de cada árvore, como a redução de g_s , além dos fatores ambientais, também podem estar relacionadas com o fator endógeno ácido abscísico, pois o mesmo desempenha um papel importante na termotolerância. Tendo a capacidade de aumentar as condutividades hidráulicas e diminuir a condutância estomática das plantas, e então, auxiliar na reposição de reservas de água e decrescer o estresse oxidativo, consequentemente, fazendo com que haja contínua assimilação de carbono via fotossíntese (SAMPAIO FILHO et al., 2018).

Estudando várias espécies, Caemmerer; Evans (2015) encontraram respostas altamente variáveis de A_{net} e g_s , assim como observado no presente estudo, onde algumas respostas de g_s nas árvores foram independentes da bioquímica fotossintética. Sendo mais relacionada com o aumento da temperatura para algumas e outras nem tanto, ressaltando a importância da inclusão de mais parâmetros para o entendimento de tais respostas.

A correlação entre A_{net} e E foi negativa e não provável para o platô, já no baixo duas árvores não tiveram correlações prováveis/fracas (*C. rodriguesii* e *C. parillo*). Essas respostas podem ter sido negativas para a maioria das árvores, pelo fato da transpiração ter seguido os padrões de T_{foliar} e DPV, ou seja, aumentando concomitantemente. No trabalho de Eamus; Shanahan (2002) foi observado que altas taxas de transpiração podem resultar na geração de gradientes localizados de potencial hídrico que reduzem o turgor das células protetoras e, portanto g_s , causando a redução de carbono interno.

A correlação entre g_s e E foi negativa para ambos os ambientes topográficos, podendo indicar maior influência de fatores externos (não estomáticos) ou internos como citado anteriormente, o ABA. Esses resultados foram parecidos com os encontrados no trabalho de Jones (1998), onde estudou o controle estomático para transpiração e fotossíntese com os principais métodos disponíveis para quantificar o controle dos estômatos.

6.4. Carbono interno e eficiência no uso da água

Em relação à razão da concentração de CO_2 intra/extracelular e o aumento de temperatura, os valores obtiveram uma correlação negativa e altamente significativa para os dois ambientes. Diminuíram a partir do acréscimo de T_{foliar} , sendo que essas concentrações quando são superiores ao ambiente intervêm o fechamento dos poros estomatais e quando são inferiores ao ambiente, causam a abertura dos estômatos, portanto, o aumento no CO_2 atmosférico provoca um aumento na concentração interna das folhas (ENGINEER et al., 2016). A relação também foi negativa para o DPV, onde todas as espécies demonstram ter um padrão parecido nos dois ambientes (Figura 24 e 25).

Segundo Miner; Bauerle; Baldocchi (2017), a razão C_i/C_a é uma das estruturas úteis para prever ou interpretar as diferenças nas estratégias de uso da água entre as espécies ou tipos de vegetação/ambiente. A eficiência no uso da água e a eficiência intrínseca no uso da água também tiveram comportamentos parecidos para todas as espécies em estudo, onde a primeira variável teve correlação negativa com a temperatura foliar, enquanto EIUA teve correlação positiva com T_{foliar} (Figura 27).

A EUA é considerada como o componente mais importante de adaptação à seca (SILVA e al., 2011), sendo um comportamento momentâneo de trocas gasosas. Neste estudo foram observados valores mais altos tanto de EUA, quanto de EIUA, que é a capacidade das plantas em maximizar o ganho de carbono por molécula de água liberada para a atmosfera, quando comparados ao trabalho de Marengo; Gonçalves; Vieira (2001). Isto pode estar relacionado ao fato de a transpiração também ter tido altos valores para a maioria das espécies, no caso de *C. longipendula* (platô) e *Eschweilera* sp. (baixio) que tiveram altos valores de transpiração, assim como de fotossíntese.

No trabalho realizado por Cosme et al. (2017), os autores encontraram diferenças prováveis nas características de arquitetura hidráulica, onde as espécies do baixio tiveram valores associados com elevada eficiência hidráulica e as do platô com menores eficiências. Isto, devido às características hídricas de cada ambiente. No presente trabalho, não foi possível observar diferenças prováveis entre as espécies nos dois ambientes estudados na maioria das correlações. Segundo Tomasella et al. (2008) dependendo da profundidade do solo, os ambientes de platô e baixio não possuem diferença significativa quanto a retenção de água, e em profundidades como de 1 a 4 metros. Em seu trabalho, o solo do platô obteve maior retenção de água que o baixio, pelo fato de o baixio possuir uma textura arenosa, o seja, com uma menor capacidade de retenção de líquidos.

A diversidade no dossel da floresta Amazônica é muito grande e cada indivíduo possui, provavelmente, um mecanismo próprio para responder as altas temperaturas e mudanças no ambiente, por isso, torna-se importante elucidar os processos fisiológicos com mais pesquisas para compreensão dos mecanismos utilizados pelas plantas. Tornando-se de grande importância a presença de projetos como o NGEET Tropics, que busca diminuir as incertezas dos modelos climáticos atuais para as regiões tropicais.

7. CONCLUSÃO

Para os dois gradientes topográficos quando as árvores foram relacionadas à variação de temperatura e déficit de pressão de vapor, apresentaram comportamentos diferenciados entre as espécies. No entanto, sem diferença entre os ambientes, não sendo possível observar grandes diferenças entre platô e baixio e não sendo possível a conclusão se há maiores ou menores resistências ao aumento T_{foliar} e DPV. Pois, as condições micrometeorológicas não apresentaram diferenças em ambos os lugares e de acordo com alguns trabalhos na literatura.

tura, a umidade do solo não é um fator de grande influência para as respostas fisiológicas das plantas.

A fotossíntese, condutância, C_i/C_a e EUA tiveram correlações negativas com T_{foliar} e o DPV, já a transpiração e EIUA tiveram correlação positiva com os dois parâmetros, sendo alguns comportamentos semelhantes e outros não. Constatando que se deve ter cautela durante modelagens de um determinado ambiente e é importante também considerar para os próximos estudos o aumento no número de amostras estudadas.

Com este trabalho é possível observar a importância de se conhecer os comportamentos fisiológicos e padrões de árvores em diferentes ambientes, visto que, compreender tais variações, pode auxiliar entender e no futuro modelar essas respostas. Pois com o avanço da mudança do clima prevista para as próximas décadas, tornam-se cada vez mais necessários estudos que avaliem e tornem possível a diminuição da incerteza climática.

Para tais entendimentos, são necessárias mais análises que envolvam maiores características de cada ambiente, assim como mais espécies, pois há uma interação entre os fatores ambientais e fisiológicos, para então auxiliar os trabalhos de modelagem do clima e assim melhorar a parametrização de modelos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, L.P.; WU, J.; PROHASKA, N.; CAMARGO, P.B. de; HUXMAN, T.E.; TRIBUZY, E.S.; IVANOV, V.Y.; OLIVEIRA, R.S.; GARCIA, S.; SMITH, M.N.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; RESTREPO-COUBE, N.; SILVA, R. da; STARK, S.C.; MARTINS, G.A.; PENHA, D.V.; SALESKA, S.R. Age-dependent leaf physiology and consequences for crown-scale carbon uptake during the dry season in an Amazon evergreen forest. **New Phytologist**, 2018.
- ALBUQUERQUE, L.P. Identificação de plantas invasoras de cultura da região de Manaus. **Acta Amazônica**, v.10, n. 1969, p. 47-95, 1980.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- BAHAR, N.H.A.; ISHIDA, F.Y.; WEERASINGHE, L.K.; GUERRIERI, R.; O'SULLIVAN, O.S.; BLOOMFIELD, K.J.; ASNER, G.P.; MARTIN, R.E; LLOYD, J.; MALHI, Y; PHILLIPS, O.L.; MEIR, P.; SALINAS, N.; COSIO, E.G.; DOMINGUES, T.F.; QUESADA, C.A.; SINCA, F.; VEGA, A.E.; CCORIMANYA, P.P.Z.; AGUILA-PASQUEL, J.D.; HUAYPAR, K.Q.; TORRES, I.C.; LOAYZA, R.B.; TAPIA, Y.P.; OVALLE, J.H.; LONG, B.M.; EVANS, J.R.; ATKIN, O.K. Leaf-Level Photosynthetic Capacity In Lowland Amazonian And High-Elevation Andean Tropical Moist Forests Of Peru. **New Phytologist**, V.214, N.3, P.1002-1018, 2017.

- BOURNE, A.E.; HAIGH, A.M.; ELLSWORTH, D.S. Stomatal sensitivity to vapour pressure deficit relates to climate of origin in Eucalyptus species. **Tree Physiology**. v.35, p. 266-278, 2015.
- BRODRIBB, T.J.; MCADAM, S.A.M. Abscisic Acid Mediates a Divergence in the Drought Response of Two Conifers. **Plant Physiology**, v.162, n.3, p. 1370-1377, 2013.
- BRUM, M.; LÓPEZ, J.G.; ASBJORNSEN, H.; LICATA, J.; PYPKER, T.; SANCHEZ, G.; OLIVEIRA, R.S. ENSO effects on the transpiration of eastern Amazon trees. **Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**. v. 373, n. 1760, p. 1471-2970, 2018.
- BUCCI, S.J.; SILLETTA, L.M.C; GARRÉ, A.; CAVALLARO, A.; EFRON, S.T.; ARIAS, N.S.; GOLDSTEIN, G.; SCHOLZ, F.G. Functional relationships between hydraulic traits and the timing of diurnal depression of photosynthesis. **Plant, Cell & Environment**, v. 42, n. 5, 2019.
- BUCK, A.L. New Equations for Computing Vapor Pressure and Enhancement Factor. **Journal of Applied Meteorology**, v. 20, n. 12, p. 1527-1532, 1981.
- BUCKLEY, T.N. Modeling Stomatal Conductance. **Plant Physiology**, v.174, n.2, p. 572-582, 2017.
- BURKHARDT, J.; PARIYAR, S. How does the VPD response of isohydric and anisohydric plantas dependo n leaf surface particles? **Plant Biology**, v. 18, n. 1, p. 91-100, 2016.
- CAEMMERER, S.V.; EVANS, J.R. Temperature responses of mesophyll conductance differ greatly between species. **Plant, Cell & Environment**, v. 38, n.4, p.629-637, 2015.
- CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e aplicações**. Porto Alegre, RS: Artmed Editora, 2003.
- CAMPBELL GAYLON S.; NORMAN, J. M. Wind. In: **An Introduction to Environmental Biophysics**: 2 ed. New York: Springer, 1998.
- CARNEIRO, V.M.C. **Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme na bacia do rio Cuieiras, Manaus-AM**. 2004. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciências biológicas). Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM.
- CHAVES, M.M.; COSTA, J.M.; SAIBO, N.M. Recent Advances in Photosynthesis Under Drought and Salinity. **Advances in Botanical Research**, v. 57, p. 49-104, 2011.
- COSME, L.H.M.; SCHIETTI, J.; COSTA, F.R.C.; OLIVEIRA, R.S. The importance of hydraulic architecture to the distribution patterns of trees in a central Amazonian forest. **New Phytologist**, v.215, n. 1, p. 113-125, 2017.
- COSTA, G.F.da; MARENCO, R.A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.
- DANG, Q.-L.; MARGOLIS, H.A.; COYEA, M.R.; SY, M.; COLLATZ, G.J. Regulation of branch-level gas exchange of boreal trees: roles of shoot water potential and vapor pressure difference. **Tree Physiology**, v. 17, n. 8-9, p. 521-535, 1997.
- DAWSON, T.E. Determining water use by trees and forests from isotopic , energy balance and transpiration analyses : the roles of tree size and hydraulic lift. **Tree Physiology**, v. 16, p. 263-272, 1996.

- EAMUS, D.; SHANAHAN, S. A rate equation model of stomatal responses to vapour pressure deficit and drought. **BMC Ecology**, v. 2, n. 8, p. 1–14, 2002.
- ENGINEER, C.B.; HASHIMOTO-SUGIMOTO, M.; NEGI, J.; ISRAELSSON-NORDSTRÖM, M.; AZOULAY-SHEMER, T.; RAPPEL, W.-J.; IBA, K.; SCHROEDER, J.I. CO₂ sensing and CO₂ regulation of stomatal conductance: advances and open questions. **Trends in Plant Science**, v. 21, n. 1, p. 16–30, 2016.
- FARQUHAR, G. D.; EHLERINGER, J. R.; HUBICK, K. . Carbon isotope discrimination and photosynthesis. **Annual review of plant physiology and plant molecular biology**, v. 40, p. 503–537, 1989.
- FEARNSIDE, P. M. Climate Change as a Threat to Brazil’s Amazon Forest. **International Journal of Social Ecology and Sustainable Development**, v. 4, n. 3, p. 1–12, 2013.
- FELSEMBURGH, C. A. **Respostas fotossintéticas à variação da temperatura foliar do dossel na Flona do Tapajós** - PA. 2009. 117f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada). Programa de Pós-graduação em Ecologia Aplicada Interunidades, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.
- FERRAZ, J.; OHTA, S.; SALES, P. C. DE. Distribuição dos solos ao longo de dois transectos em floresta primária ao Norte de Manaus (AM). In: **Pesquisas florestais para a conservação da floresta e reabilitação de áreas degradadas da Amazônia**. p. 111–143, 1998.
- GHIMIRE, C. P.; BRUIJNZEEL, L.A.; LUBCZYNSKI, M.W.; ZWARTENDIJK, B.W.; ODONGO, V.O.; RAVELONA, M.; MEERVELD, H.J.V. Transpiration and stomatal conductance in a young secondary tropical montane forest: Contrasts between native trees and invasive understorey shrubs. **Tree Physiology**, v. 38, n. 7, p. 1053–1070, 2018.
- GIMENEZ, B.O.; JARDINE, K.J.; HIGUCHI, N.; NEGRON-JUAREZ, R.; SAMPAIO FILHO, I.; COBELLO, L.O.; FONTES, C.G.; DAWSON, T.E.; VARADHARAJAN, C.; CHRISTIANSON, D.S. Hysteresis patterns as a proxy for leaf temperature and ecophysiological interactions during the 2015–2016 El Niño event in the Amazon forest. **Funct. Ecol**, v. Em revisão, 2019.
- GRAY, S. B.; BRADY, S. M. Plant developmental responses to climate change. **Developmental Biology**, v. 419, n. 1, p. 64–77, 2016.
- HETHERINGTON, A. M.; WOODWARD, F. I. The role of stomata in sensing and driving environmental change. **Nature**, v. 424, n. 6951, p. 901–908, 2003.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; FREITAS, J.V.de; VIEIRA, G.; CÖIC, A.; MINETTE, L.J. Crescimento e incremento de uma floresta amazônica de terra-firme manejada experimentalmente. **BIONTE - Relatório Final**, p. 87–132, 1997.
- HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L.J.; BIOT, Y. Biomassa da parte aérea da vegetação da Floresta Tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 28, n. 2, p. 153–153, 1998.
- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 14 dez. 2018.
- IPCC. Summary for Policymakers. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability - Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report**, p. 1–32, 2014.
- JARDINE, K. J.; JARDINE, A.B.; SOUZA, V.F.; CARNEIRO, V.; CERON, J.V.; GIMENEZ, B.O.; SOARES, C.P.; DURGANTE, F.M.; HIGUCHI, N.; MANZI, A.O.; GONÇAL-

- VES, J.F.C.; GARCIA, S.; MARTIN, S.T.; ZORZANELLI, R.F.; PIVA, L.R.; CHAMBERS, J.Q. Methanol and isoprene emissions from the fast growing tropical pioneer species *Vismia guianensis* (Aubl.) Pers. (Hypericaceae) in the central Amazon forest. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 16, n. 10, p. 6441–6452, 2016.
- JONES, H. G. Stomatal control of photosynthesis and transpiration. **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. July 1997, p. 387–398, 1998.
- KERBAUY, G. B. *Fisiologia Vegetal*. Editora Guanabara Koogan S.A., v. 1, p. 472, 2004.
- KIM, T.-H.; BÖHMER, M.; HU, H.; NISHIMURA, N.; SCHROEDER, J.I. Guard cell signal transduction network: advances in understanding abscisic acid, CO₂, and Ca²⁺ signaling. **Annual Review of Plant Biology**, v. 61, p. 561–591, 2010.
- LIND, C.; DREYER, I.; LÓPEZ-SANJURJO, E.J.; MEYER, K.V.; ISHIZAKI, K.; KOHCHI, T.; LANG, D.; ZHAO, Y.; KREUZER, I.; AL-RASHEID, K.A.S.; RONNE, H.; RESKI, R.; ZHU, J.-K.; GEIGER, D.; HEDRICH, R. Stomatal Guard Cells Co-opted an Ancient ABA-Dependent Desiccation Survival System to Regulate Stomatal Closure. **Current Biology**, p. 928–935, 2015.
- LLOYD, J.; FARQUHAR, G. D. Effects of rising temperatures and [CO₂] on the physiology of tropical forest trees. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1811–1817, 2008.
- MAGALHÃES, N.S. **Crescimento e variação diurna da condutância estomática e taxas fotossintéticas de cinco espécies arbóreas da flora amazônica**. 2010. 91f. Dissertação (Mestrado em Botânica). Programa de Pós-graduação em Botânica, Instituto de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM.
- MARENCO, R. A.; GONÇALVES, J. F. D. E. C.; VIEIRA, G. I. L. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional status in two light environments in central Amazonia. **Tree Physiology**, v. 21, p. 1311–1318, 2001.
- MARENCO, R. A.; ANTEZANA-VERA, S.A.; GOUVÊA, P.R.S.; CAMARGO, M.A.B.; OLIVEIRA, M.F.de.; SANTOS, J.K.S. Fisiologia de espécies florestais da Amazônia: Fotossíntese, respiração e relações hídricas. **Revista Ceres**, v. 61, p. 786–799, 2014.
- MARENCO, R.A.; MAGALHÃES, N.S.; GOUVÊA, P.R.S.; ANTEZANA-VERA, S.A. Juvenile tree growth correlates with photosynthesis and leaf phosphorus content in central Amazonia. **Revista Ceres**, v. 62, n. 2, p. 175–183, 2015.
- MARENGO, J. A. JONES, R.; ALVES, L.M.; VALVERDE, M.C. Future change of temperature and precipitation extremes in south america as derived from the precis regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241–2255, 2009.
- MARQUES FILHO, A. O.; DALLAROSA, R. G.; PACHÊCO, V. B. Radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta Reserva Biológica do Cuieiras ZF2, Manaus. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 4, p. 427–436, 2005.
- MARQUES, J. D. O.; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M.; JUNIOR, O.F.C.; BATISTA, S.M.; AFONSO, M.A.C.B. Atributos químicos, físico-hídricos e mineralogia da fração argila em solos do baixo Amazonas: Serra de Parintins. **Acta Amazônica**, vol. 40, n. 1, p. 1–12, 2010.
- MCADAM, S. A. M.; BRODRIBB, T. J. The Evolution of Mechanisms Driving the Stomatal Response to Vapor Pressure Deficit. **Plant Physiology**, v. 167, n. 3, p. 833–843, 2015.

- MEDLYN, B. E.; DUURSMA, R.A.; EAMUS, D.; ELLSWORTH, D.S.; PRENTICE, I.C.; BARTONS, C.V.M.; CROUS, K.Y.; ANGELIS, P. de.; FREEMAN, M.; WING AT E, L. Reconciling the optimal and empirical approaches to modelling stomatal conductance. **Global Change Biology**, v. 17, n. 6, p. 2134–2144, 2011.
- MERILO, E.; JALAKAS, P.; LAANEMETS, K.; MOHAMMADI, O.; HÖRAK, H.; KOLLIST, H.; BROSCHE, M. Abscisic acid transport and homeostasis in the context of stomatal regulation. **Molecular Plant**, v. 8, n. 9, p. 1321–1333, 2015.
- MERILO, E.; YARMOLINSKY, D.; JALAKAS, P.; PARIK, H.; TULVA, I.; RASULOV, B.; KILK, K.; KOLLIST, H. Stomatal VPD response: there is more to the story than ABA. **Plant Physiology**, v. 176, p. 851-864, 2018.
- MINER, G. L.; BAUERLE, W. L.; BALDOCCHI, D. D. Estimating the sensitivity of stomatal conductance to photosynthesis: a review. **Plant Cell and Environment**, v. 40, n. 7, p. 1214–1238, 2017.
- MORAIS, R. R. DE; ROSSI, L. M. B.; HIGA, R. C. V. Trocas gasosas de plantas jovens de taxi-branco submetidas à variação de temperatura foliar e suspensão da irrigação. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 97, 2017.
- OURIQUE, L.K. de. **Produção de serapilheira e incremento diamétrico em uma Floresta de Terra Firme na Amazônia Central**. 2014. 69f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Programa de Pós graduação em Ciências de Florestas Tropicais. Instituto de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM.
- RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. **Acta Amazonica**, v. 10, n. 1, p. 7–41, 1980.
- SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, n. 9, p. 1086–1106, 2007.
- SADE, N.; GEBREMEDHIN, A.; MOSHELION, M. Risk-taking plants: anisohydric behavior as a stress-resistance trait. **Plant signaling & behavior**, v. 7, n. 7, p. 767- 770, 2012.
- SAMPAIO FILHO, I. D. J.; JARDINE, K.J.; OLIVEIRA, R.C.A. de.; GIMENEZ, B.O.; COBELLO, L.O.; PIVA, L.R.O.; CANDIDO, L.A.; HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.Q. Below versus above Ground Plant Sources of Abscisic Acid (ABA) at the Heart of Tropical Forest Response to Warming. **Int. J. Mol. Sci**, v. 19, n. 7, 2018.
- SANTIAGO, L. S.; MULKEY, S. S. A test of gas exchange measurements on excised canopy branches of ten tropical tree species. **Photosynthetica**, v. 41, n. 3, p. 343–347, 2003.
- SCHLESINGER, W. H.; JASECHKO, S. Transpiration in the global water cycle. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 189–190, p. 115–117, 2014.
- SHARKEY, T. D.; BERNACCHI, C.J.; FARQUHAR, G.D.; SINGSAAS, E.L. Fitting photosynthetic carbon dioxide response curves for C₃ leaves. **Plant, Cell and Environment**, v. 30, p. 1035–1040, 2007.
- SILVA, M. D. A.; SANTOS, C.M. dos.; LABATE, C.A.; GUIDETTI-GONZALEZ, S.; BORGES, J.S.; FERREIRA, L.C.; DELIMA, R.O.; FRITSCHÉ-NETO, R. Melhoramento para eficiência no uso da água. In: **Melhoramento de Plantas para Condições de Estresses Abióticos**. p. 127-149, 2011.
- SLOT, M.; WINTER, K. In situ temperature response of photosynthesis of 42 tree and liana species in the canopy of two Panamanian lowland tropical forests with contrasting rainfall regimes. **New Phytologist**, v. 214, n. 3, p. 1103–1117, 2017.

- STRECK, N. A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, p. 317–322, 2003.
- SUSSMILCH, F. C.; BRODRIBB, T. J.; MCADAM, S. A. M. What are the evolutionary origins of stomatal responses to abscisic acid in land plants? **Journal of Integrative Plant Biology**, v. 59, n. 4, p. 240–260, 2017.
- SUSSMILCH, F.; MCADAM, S. Surviving a Dry Future: Abscisic Acid (ABA)-Mediated Plant Mechanisms for Conserving Water under Low Humidity. **Plants**, v. 6, n. 4, p. 54, 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. **Artmed editora S.A.** v. 3, 722p, 2004.
- TAN, Z.-H.; ZENG, J.; ZHANG, Y.-J.; SLOT, M.; GAMO, M.; HIRANO, T.; KOSUGI, Y.; ROCHA, H.R. DA; SALESKA, S.R.; GOULDEN, M.L.; WOFSEY, S.C.; MILLER, S.D.; MANZI, A.O.; NOBRE, A.D.; CAMARGO, P.B.D. DE; RESTREPO-COUBE, N. Optimum air temperature for tropical forest photosynthesis: mechanisms involved and implications for climate warming. **Environmental Research Letters**, v. 12, n. 5, 2017.
- TEIXEIRA, L. M.; CHAMBERS, J.Q.; SILVA, A. R.; LIMA, A.J.N.; CARNEIRO, V.M.C.; SANTOS, J. dos; HIGUCHI, N. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 3, p. 377–384, 2007.
- TOMASELLA, J.; HODNETT, M.G.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, A.D.; WATERLOO, M.J.; OLIVEIRA, S.M. The water balance of an Amazonian micro-catchment: the effect of inter-annual variability of rainfall on hydrological behaviour. **Hydrological Processes**, v. 22, p. 2133-2147, 2008.
- TRENBERTH, K. E. Changes in precipitation with climate change. **Climate Research**, v. 47, n. 1–2, p. 123–138, 2011.
- TRIBUZY, E. S. Variações da temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO₂ na Amazônia Central. 2005. 102f. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas). Programa de Pós-graduação em Ecologia de Agroecossistemas, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.
- URBAN, J.; INGWERS, M.; MCGUIRE, M.A.; TESKEY, R.O. Stomatal conductance increases with rising temperature. **Plant Signaling and Behavior**, v. 12, n. 8, 2017.
- YAARAN, A.; NEGIN, B.; MOSHELION, M. Role of guard-cell ABA in determining steady-state stomatal aperture and prompt vapor-pressure-deficit response. **Plant Science**, 2019.
- ZHANG, Y.; KONG, D.; GAN, R.; CHIEW, F.H.S.; MCVICAR, T.R.; ZHANG, Q.; YANG, Y. Coupled estimation of 500 m and 8-day resolution global evapotranspiration and gross primary production in 2002 – 2017. **Remote Sensing of Environment**, v. 222, p. 165–182, 2019.

