

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**SENSIBILIDADE DE *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ÀS
CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO CERRADO: ANÁLISE DA
DINÂMICA DE USO DE ÁGUA E DO DÉFICIT HÍDRICO DO
CAULE**

NELSON MÁRIO BANGA

Orientador: **Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo**

Cuiabá, MT
Julho/2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**SENSIBILIDADE DE *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ÀS
CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO CERRADO: ANÁLISE DA
DINÂMICA DE USO DE ÁGUA E DO DÉFICIT HÍDRICO DO
CAULE**

NELSON MÁRIO BANGA

*Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso,
como parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em Física
Ambiental.*

Orientador: **Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo**

Cuiabá, MT
Julho/2020

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

B216s Banga, Nelson Mário.
 SENSIBILIDADE DA *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (JATOBÁ) ÀS
 CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO CERRADO: ANÁLISE DA DINÂMICA DE
 USO DE ÁGUA E DO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE / Nelson Mário Banga. --
 2020
 66 f. : il. color. ; 30 cm.

 Orientador: Francisco de Almeida Lobo.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física,
 Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2020.
 Inclui bibliografia.

 1. Fluxo de seiva. 2. Variação do diâmetro do caule. 3. Jatobá. 4. Cerrado. I.
 Título.

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

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: SENSIBILIDADE DA *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ÀS CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO CERRADO: ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO DE ÁGUA E DO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE

AUTOR: DOUTORANDO NELSON MÁRIO BANGA

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 20 de julho de 2020, pela comissão julgadora:

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo - Examinador Interno - Faculdade de Agronomia e Zootecnia /UFMT
2. Profa. Dra. Carmen Eugenia Rodríguez Ortíz - Examinadora Interna - Instituto de Biociências/UFMT
3. Profa. Dra. Luciana Sanches - Examinadora Interna - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia/UFMT
4. Prof. Dr. José de Souza Nogueira - Examinador Interno - Instituto de Física/UFMT
5. Prof. Dr. Fernando da Silva Sallo - Examinador Externo - Universidade de Cuiabá - UNIC/Cuiabá
6. Profa. Dra. Bárbara Luísa Corradi Pereira - Examinadora Externa - Faculdade de Engenharia Floresta/UFMT

Cuiabá-MT, 20/07/2020



Documento assinado eletronicamente por **SERGIO ROBERTO DE PAULO, Coordenador(a) de Programas de Pós-Graduação em Física Ambiental - IF/UFMT**, em 20/07/2020, às 13:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando da Silva Sallo, Usuário Externo**, em 20/07/2020, às 13:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE DE SOUZA NOGUEIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/07/2020, às 14:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **BARBARA LUISA CORRADI PEREIRA, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/07/2020, às 14:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **CARMEN EUGENIA RODRIGUEZ ORTIZ, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/07/2020, às 15:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **LUCIANA SANCHES, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/07/2020, às 15:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 20/07/2020, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufmt.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2672911** e o código CRC **6FDB5F3F**.

Dedicatória

À minha esposa Anabela e à nossas filhas, bem como ao Prof. Emerson por constituírem a minha fonte de inspiração ao longo destes quatro anos de formação.

Agradecimentos

Agradeço a Deus em primeiro lugar;

Ao Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo, pela ótima orientação e pela amizade, carinho e compreensão, ajudou-me bastante na superação dos obstáculos encarados nesta caminhada pelo doutorado;

À Profa. Dra. Carmen Eugenia Rodríguez Ortiz, pelo carinho de mãe oferecido, bem como, no acompanhamento em todas atividades realizadas queira seja no laboratório como em campo;

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira e a Profa. Dra. Marta de Albuquerque Nogueira, pela minha acolhida no Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental.

Estendo os meus agradecimentos a todos professores do programa de Física Ambiental, que contribuíram direta e indiretamente na minha formação;

Ao Fernando Sallo, Rafael Palácios, Tony Jader, Thiago Rangel, Lucas Rothmund, Élio Júnior e João Basso;

Aos colegas e amigos do laboratório de Ecofisiologia Vegetal: Magdiel Prado, Simoni Guarnieri, Vanessa, Silmara, Robson, João, Letieri e Wender;

À Soilce e Cesário, pela sua contribuição técnica dentro deste programa de Pós-graduação.

À Universidade Zambeze pela liberação a fim de participar neste programa de formação em nível de doutorado.

Ao Instituto de Bolsa de Estudos de Moçambique (IBE) pelo auxílio financeiro, e ao CNPq pelo provisionamento de meios e infraestruturas necessária para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE ABREVIATURAS E DE SÍMBOLOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. JUSTIFICATIVA	2
1.3. OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. CARACTERÍSTICAS DO BIOMA DO CERRADO.....	4
2.2. <i>A Hymenaea stigonocarpa</i> MART. ex HAYNE	5
2.3. CONTROLE AMBIENTAL SOBRE A DENSIDADE DE FLUXO DE SEIVA.....	5
2.4. CONTROLE AMBIENTAL SOBRE O CRESCIMENTO DO DIÂMETRO E SOBRE O ESTADO HÍDRICO DAS ÁRVORES.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.1. LOCAL DE ESTUDO	9
3.2. MEDIÇÕES E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS	10
3.3. MEDIÇÕES DE FLUXO DE SEIVA E ESTIMATIVA DO USO DE ÁGUA.....	11
3.3.1. Análise da dinâmica diária e sazonal dos padrões de uso de água por cada árvore	13
3.3.2. Análise das estratégias de uso de água entre as árvores	17
3.3.3. Análise dos efeitos do CONTEÚDO DE ÁGUA NO solo (CAS) e do déficit de pressão de vapor (DPV) no DÉFICIT HÍDRICO DO caule (TWD)	18

3.3.4. Análise da sensibilidade de cada árvore às variações ambientais	19
3.3.5. Análise dos efeitos DO DÉFICIT HÍDRICO DO caule (TWD) sobre o fluxo de seiva (F_s).....	20
3.4. ANÁLISE DOS DADOS.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1. CONDIÇÕES AMBIENTAIS	20
4.2. DINÂMICA SAZONAL E DIÁRIA DO FLUXO DE SEIVA.....	22
4.3. SENSIBILIDADE DO FLUXO DE SEIVA ÀS VARIAÇÕES AMBIENTAIS.....	27
4.4. VARIAÇÃO SAZONAL NO DIÂMETRO E O DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE	32
4.5. SENSIBILIDADE DO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE AS VARIAÇÕES AMBIENTAIS	34
4.6. SENSIBILIDADE DO FLUXO AO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE.....	37
5. CONCLUSÃO.....	39
6. RECOMENDAÇÕES	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos da árvore, tronco e folhas de <i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	5
Figura 2. Localização da área experimental.....	10
Figura 3. Localização das árvores de <i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex	12
Figura 4. Localização espacial das árvores de <i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex no dossel.....	12
Figura 5. Extração de amostras para efeitos de estimativa da área do xilema ativo.	14
Figura 6. Visão macroscópica dos vasos difusos da espécie <i>Hymenaea stigonocarpa</i> : vasos não obstruídos identificados pela região circular.	15
Figura 7. Demarcação dos raios em torno da área sem obstrução de vasos. R_2 e R_4 indicam o raio da circunferência maior e r_1 e r_3 os raios menores interno (equivalente à área do cerne).	16
Figura 8. Relação entre a área do xilema ativo (A_s) e o diâmetro do caule n altura do peito (DBH- Diameter at Breast Height). Os pontos indicam os pares de dados e a linha sólida é correspondente à curva de regressão ajustada.	16
Figura 9. Curva característica da retenção de umidade de solo, em nosso local de estudo.	17
Figura 10. Dendrômetro de cinta modelo DRL26A.	18
Figura 11. Curso sazonal de: (a) radiação global diária total (R_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); (b) temperatura do ar diária média (T_a , $^{\circ}\text{C}$); (c) déficit de pressão de vapor diário médio (DPV, kPa); (d) precipitação diária acumulada (PPT, mm d^{-1}); (e) e conteúdo de água no solo diário médio (CAS, %).	22
Figura 12. Curso sazonal do fluxo diário total de seiva as médias diárias do fluxo de seiva (F_s , kg d^{-1}): (a) F_{s1} -fluxo para HS1; (b) F_{s2} -fluxo para HS2; (c) F_{s3} -fluxo para HS3; (d) F_{s4} -fluxo para HS4; (e) F_{s5} -fluxo para HS5; (f) F_{s6} -fluxo para HS6; (g) F_{s7} - fluxo para HS7; (h) F_{s8} -fluxo para HS8; (c) F_{s9} -fluxo para HS9.....	23
Figura 13. Desenvolvimento foliar da <i>Hymenaea stigonocarpa</i> durante o período de estudo.	24
Figura 14. Curso diurno do fluxo de seiva (F_s), radiação global (R_g , linha preta) e deficit de pressão de vapor (DPV, linha azul). Dados selecionados para as seguintes	

condições ambientais: Dias sem precipitação; R_g ($1,5-2,5 \text{ MJ m}^{-2}$); DPV ($1,5-2,5 \text{ kPa}$) e $CAS \geq 4,0\%$ 25

Figura 15. Curso diurno do fluxo de seiva (F_s), radiação global (R_g , linha preta) e deficit de pressão de vapor (DPV , linha azul). Dados selecionados para as seguintes condições ambientais: Dias sem precipitação; R_g ($1,5-2,5 \text{ MJ m}^{-2}$); DPV ($1,5-2,5 \text{ kPa}$) e $CAS \leq 2,9\%$ 26

Figura 16. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (F_s , kg d^{-1}) às alterações diárias no conteúdo de água no solo (CAS , %): (a) F_{s1} -fluxo para $HS1$; (b) F_{s2} -fluxo para $HS2$; (c) F_{s3} -fluxo para $HS3$; (d) F_{s4} -fluxo para $HS4$; (e) F_{s5} -fluxo para $HS5$; (f) F_{s6} -fluxo para $HS6$; (g) F_{s7} -fluxo para $HS7$; (h) F_{s8} -fluxo para $HS8$; (c) F_{s9} -fluxo para $HS9$ 28

Figura 17. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (F_s , kg d^{-1}) as variações diárias no déficit de pressão de vapor (DPV , kPa): (a) F_{s1} -fluxo para $HS1$; (b) F_{s2} -fluxo para $HS2$; (c) F_{s3} -fluxo para $HS3$; (d) F_{s4} -fluxo para $HS4$; (e) F_{s5} -fluxo para $HS5$; (f) F_{s6} -fluxo para $HS6$; (g) F_{s7} -fluxo para $HS7$; (h) F_{s8} -fluxo para $HS8$; (c) F_{s9} -fluxo para $HS9$ 30

Figura 18. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (F_s , kg d^{-1}) as variações na radiação solar diária total (R_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$): (a) F_{s1} -fluxo para $HS1$; (b) F_{s2} -fluxo para $HS2$; (c) F_{s3} -fluxo para $HS3$; (d) F_{s4} -fluxo para $HS4$; (e) F_{s5} -fluxo para $HS5$; (f) F_{s6} -fluxo para $HS6$; (g) F_{s7} -fluxo para $HS7$; (h) F_{s8} -fluxo para $HS8$; (c) F_{s9} -fluxo para $HS9$ 31

Figura 19. Séries temporais de: (a) variação diária média no diâmetro do caule (VD , mm); (b) déficit hídrico diário acumulado no caule (TWD , mm) e (c) crescimento diário acumulado no diâmetro do caule (GRO , mm). Em que, $VD1$ - variação diária média no diâmetro para $HS1$; $VD2$ - variação diária média no diâmetro para $HS2$; $VD4$ - variação diária média no diâmetro para $HS4$; $TWD1$ - déficit hídrico diário acumulado para $HS1$; $TWD2$ - déficit hídrico diário acumulado para $HS2$; $TWD4$ - déficit hídrico diário acumulado para $HS4$; $GRO1$ - crescimento diário acumulado no diâmetro para $HS1$; $GRO2$ - crescimento diário acumulado no diâmetro para $HS2$ e $GRO4$ - crescimento diário acumulado no diâmetro para $HS4$ 33

Figura 20. Resposta do esgotamento da água no caule (TWD) às variações do conteúdo de água no solo (CAS): (a) TWD1- esgotamento para HS1; (b) TWD2- esgotamento para HS2 e (c) TWD4- esgotamento para HS4..... 35

Figura 21. Resposta do esgotamento da água no caule (TWD) às variações do déficit de pressão de vapor (DPV): (a) TWD1- esgotamento para HS1; (b) TWD2- esgotamento para HS2 e (c) TWD4- esgotamento para HS4..... 37

Figura 22. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (Fs) ao esgotamento de água no caule (TWD): (a) Fs1-fluxo para HS1; (b) Fs2-fluxo para HS2; (c) Fs4-fluxo para HS4. 38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Caraterísticas das árvores da <i>Hymenaea Stigonocarpa</i> (HS) escolhidas para a medição do uso da água nas árvores	24
Tabela 2. Modelos ajustados que descrevem a resposta do Fs às variações do CAS.	28
Tabela 3. Modelos ajustados que descrevem a resposta do Fs às variações do DPV.	30
Tabela 4. Modelos ajustados que descrevem a resposta do Fs às variações de Rg... 31	
Tabela 5. Modelos ajustados que descrevem a resposta do TWD às variações do CAS.	35
Tabela 6. Modelos ajustados que descrevem a resposta do TWD às variações do DPV.	37
Tabela 7. Modelos ajustados que descrevem a resposta do Fs às variações do TWD.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SÍMBOLOS

<i>AIC</i>	: Critérios de informação de Akaike
<i>A_s</i>	: Área do xilema ativo
<i>CAS</i>	: Conteúdo de água no solo
<i>D</i>	: Diâmetro do caule
<i>DPV</i>	: Déficit de pressão de vapor
<i>dT</i>	: Diferença de temperatura entre os termopares no sensor de Granier
<i>dT_{max}</i>	: Diferença de temperatura máxima entre os termopares no sensor Granier
<i>F_s</i>	: Fluxo de seiva
<i>GRO</i>	: Crescimento do caule
<i>HS</i>	: <i>Hymenaea Stigonocarpa</i>
<i>J_D</i>	: Densidade de fluxo de seiva
<i>K</i>	: Constante empírica adimensional definida por Granier
<i>P</i>	: Perímetro do caule
<i>PAR</i>	: Radiação fotossinteticamente ativa
<i>PPT</i>	: Precipitação
<i>R_g</i>	: Radiação solar global
<i>T_a</i>	: Temperatura do ar
<i>TDR</i>	: Sondas de refletrometria no domínio do tempo
<i>TWD</i>	: Esgotamento de água no caule
<i>V</i>	: Velocidade do fluxo de seiva
<i>VDC</i>	: Variação no diâmetro do caule

RESUMO

BANGA, N.M. **Sensibilidade de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. às Condições Ambientais do Cerrado: Análise da Dinâmica de Uso de Água e do Déficit Hídrico do Caule.** Cuiabá-MT. 2020. 66p. Tese (doutorado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A avaliação de como as condições ambientais afetam o uso de água em uma determinada espécie vegetal é fundamental para compreender os limites de sua capacidade de sobrevivência em condições de estresse. *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (jatobá) é uma espécie de arbórea dominante no cerrado brasileiro, que cresce em condições ambientais estressantes como baixa disponibilidade de água no solo, alta demanda evaporativa atmosférica e a incapacidade do jatobá em acessar as camadas mais profundas do solo. Para esclarecer como as condições ambientais do cerrado afetam o uso diário de água no jatobá, monitoramos a velocidade de fluxo de seiva no caule (V) e a variação no diâmetro do caule (VDC) durante os anos de 2018 e 2019. As variações contínuas do diâmetro do caule foram particionadas de modo a estimar o déficit hídrico no caule (TWD), um indicador do seu grau de hidratação. Também foram medidas variáveis meteorológicas e o conteúdo de água no solo. A resposta de F_s e TWD às variações ambientais foi avaliada aplicando modelos de regressão. As condições ambientais do cerrado estão causando restrições no uso diário de água no jatobá; essas restrições foram observadas sob condições de déficit de pressão de vapor (DPV) maior que 1,5 kPa e de radiação solar global (R_g) maior que $10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Não existe uma variabilidade interespecífica na resposta de cada árvore às variações ambientais. O fluxo de seiva reduziu em quase 50% durante a estação seca, o que sugere maior sensibilidade à seca do solo. Este estudo fornece suporte para o entendimento da dinâmica de uso diário de água em árvores expostas ao estresse hídrico do solo e de uma atmosfera cada vez mais seca.

Palavras-chave: Fluxo de seiva, Variação no diâmetro do caule, Jatobá, Cerrado.

ABSTRACT

BANGA, N.M. **Sensitivity of *Hymenaea stigonocarpa* Mart. to Cerrado Environmental Conditions: Analysis of Water Use Dynamics and Stem Water Deficit.** Cuiabá-MT. 2020. 66p. Thesis (Doctorate in Environmental Physic)- Institute of Physic, Federal University of Mato Grosso.

The assessment of how environmental conditions affect tree water use is essential to understand the limits of its ability to survive under stress conditions. *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (jatoba) is a dominant tree species in the Brazilian cerrado, which grows stressful environmental conditions such as low water availability in the soil, high atmospheric evaporative demand and the inability of the jatoba to access the deeper layers of the soil. To clarify how the environmental conditions of the cerrado affecting the daily use of water in the jatoba, sap flow velocity in the stem (V) and stem diameter variation (VDC) were monitored using thermal dissipation probes and dendrometer, respectively. Continuous variations in stem diameter were partitioned in order to estimate water deficit in the stem (TWD), as tree water status indicator. Also, meteorological variables and soil water content were measured during 2018 and 2019. The response of Fs and TWD to environmental variations was assessed using several regression models. The environmental conditions of the cerrado are causing restrictions on the daily use of water in the jatobá; these restrictions were observed under conditions of vapor pressure deficit (VPD) above 1.5 kPa and global solar radiation (Rg) above 10 MJ m⁻² d⁻¹. There is no interspecific variability in response to environmental variations among the trees. The sap flow was reduced by almost 50% during the dry season, which suggests greater sensitivity to soil drought. This study provides support for understanding the dynamics of daily water use in trees exposed to frequent soil drought and dry atmosphere.

Keywords: Sap flow, Stem diameter variation, Jatobá, Cerrado.

1. INTRODUÇÃO

Na região central do continente sul-americano, encontra-se um dos maiores biomas do mundo, as savanas do centro do Brasil. Essas são designadas pelo termo Cerrado, o qual ocupa uma extensa área com cerca de 2.000.000 km², coberta por vegetação variada de acordo com a fitofisionomia, a qual engloba formação florestal, savânica e campestre (OLIVEIRA e MARQUIS, 2002; OLIVEIRA-FILHO e RATER, 2002). O Cerrado é caracterizado por um regime de chuvas com duração de quatro a cinco meses, alta demanda evaporativa e solos caracterizados com altos níveis de saturação de alumínio, que afetam diretamente os sistemas radiculares e inibem indiretamente a captação de cálcio e fósforo, acidez e o conteúdo de matéria orgânica e a baixa disponibilidade de nutrientes (DE ASSIS et al., 2011). Além disso, as condições climáticas são caracterizadas por altas temperaturas e alta demanda evaporativa da atmosfera.

1.1. PROBLEMÁTICA

O Cerrado Brasileiro apresenta uma forte sazonalidade climática. Associada a essa sazonalidade, as plantas experimentam regularmente situações estressantes, associadas à intensificação dos incêndios, ao déficit de umidade nas camadas superficiais do solo, principalmente durante a estação seca, quando a demanda evaporativa da atmosfera é alta. É assim que, pela força da seleção natural, muitas espécies lenhosas do Cerrado têm se mostrado tolerantes aos incêndios e ao déficit hídrico pré-existente. A intensificação de eventos extremos relacionados à seca na região do Cerrado é mediada pelo aumento previsto na temperatura do ar de 4 a 6°C, pelo aumento do déficit de pressão de vapor e pela redução na precipitação de 20 a 50% (BUSTAMANTE et al., 2012). Esses fatores podem restringir o intercâmbio gasoso das plantas e influenciar negativamente no fluxo de seiva, determinando uma nova pressão seletiva das espécies nessa região.

A espécie *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne, vulgarmente conhecida por jatobá ou jatobá do cerrado, é uma espécie arbórea dominante no Cerrado, sobre a região centro-oeste do Brasil e pertence à família Fabaceae. Cresce principalmente em formações de campos abertos do Cerrado; sob condições de baixa disponibilidade de água e nutrientes no solo (CARVALHO, 2007). Esta espécie constitui um recurso

florestal valioso para a região, muito usado para recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2000).

Na Baixada Cuiabana, no Estado de Mato Grosso, onde normalmente o jatobá cresce, o solo é pedregoso, o que não permite que a espécie possa desenvolver um sistema radicular profundo e ser capaz de acessar a água nas camadas mais profundas do solo. Isso, leva a planta a experimentar uma situação de estado hídrico crítica durante a estação seca. No entanto, ainda permanecem desconhecidas as possíveis implicações que as flutuações nas condições ambientais como baixa disponibilidade de água no solo e elevada demanda evaporativa da atmosfera podem afetar o uso da água em árvores do Cerrado. Daí a necessidade em saber *como as condições ambientais nessa porção do Cerrado podem afetar o uso de água no jatobá?*

1.2. JUSTIFICATIVA

Ao longo dos anos foram debatidos aspectos sobre os efeitos dos incêndios na manutenção de plantas lenhosas com baixa densidade de madeira, e a importância da disponibilidade de nutrientes no solo sobre as características e traços funcionais das plantas do Cerrado (LAMBERS et al., 2010; MIATTO et al., 2016), efeitos da temperatura e alta demanda evaporativa sobre as relações hídricas (MEINZER et al., 1999; COSTA et al., 2015). No entanto, as implicações das diferentes alterações climáticas sobre o uso da água em árvores sujeitas a limitações hídricas, como é o caso daquelas que crescem no Cerrado, ainda permanecem não esclarecidas. Portanto, o entendimento de estratégias de uso de água sob diferentes condições de estresse ambiental é necessário não só para o entendimento das diferenças no uso da água no jatobá sob diferentes condições de disponibilidade de água no solo, como também para identificar padrões específicos de sensibilidade à seca, seu potencial de resiliência à eventos de seca extrema e frente às mudanças climáticas.

O uso de água pelas árvores pode ser quantificado com base em medições simultâneas da taxa de fluxo de seiva e da variação no diâmetro do caule (KOCHER et al., 2013 ; SEVANTO et al., 2008). Essas medidas permitem avaliar o consumo da água pela planta, assim como aferir sobre o seu estado hídrico por meio da avaliação da dinâmica de esgotamento e recarga nos diferentes compartimentos de

armazenamento de água (ZWEIFEL et al., 2001; ČERMÁK et al., 2007; SCHOLZ et al., 2008; STEPPE et. al, 2015).

1.3. OBJETIVOS E HIPÓTESES

O objetivo central do presente trabalho foi avaliar a sensibilidade de resposta de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne (jatobá) aos efeitos das alterações ambientais no seu uso de água.

Para alcançar o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- i. Analisar as relações entre a dinâmica do fluxo de seiva, com radiação solar global (R_g), o déficit de pressão de vapor (DPV), e as condições de disponibilidade de água no solo (CAS), a fim de verificar as estratégias de uso de água no jatobá.
- ii. Analisar os efeitos da disponibilidade de água no solo (CAS) e do déficit de pressão de vapor (DPV) sobre o déficit hídrico do caule (TWD) das árvores.
- iii. Identificar a sensibilidade de resposta das árvores às variações das condições ambientais;
- iv. Avaliar os efeitos do déficit hídrico do caule sobre o fluxo de seiva.

Nossa hipótese é que as condições ambientais estressantes do Cerrado como baixa disponibilidade de água no solo, alta demanda evaporativa atmosférica e a incapacidade do jatobá em acessar as camadas mais profundas do solo podem causar restrições no uso de água na árvore e torná-la mais sensível à seca.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CARACTERÍSTICAS DO BIOMA DO CERRADO

As variações na distribuição da vegetação ao longo do Cerrado, na região central do Brasil, estão vinculadas aos atributos dos solos. No entanto, em locais com a presença de latossolos profundos, localmente chamados de Cerrado *Stricto Sensu*, verifica-se a predominância de espécies lenhosas (SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I., e EITEN, 1987). Porém, é observado uma redução na densidade das árvores e o surgimento de solos rasos em direção aos locais de baixa elevação, e uma aproximação de águas subterrâneas à superfície. Além disso, é comum encontrar formações de savana arbustiva aberta, ou *Campo Cerrado*, e uma vegetação com árvores de pequeno porte, pastagens arbustivas abertas, regionalmente designada de *Campo Sujo*, e, por uma eventualidade qualquer, é comum encontrar pastagens úmidas em locais de baixa altitude e com solos com alagamento sazonal (FURLEY, 1999).

Acredita-se que a distribuição da vegetação ao longo dos diversos gradientes topográficos sejam o resultado da influência das características físicas e químicas do solo (OLIVEIRA-FILHO e RATER, 2002) e da frequência de incêndios (DURIGAN e RATTER, 2006). Entretanto, a concentração de alumínio, o potencial de mineralização de nitrogênio e a fixação do fósforo, além de definirem os aspectos funcionais entre as espécies, podem determinar a distribuição espacial entre as plantas lenhosas (ROSSATTO et al., 2012).

A disponibilidade de água no solo, em especial a distância mínima entre a superfície do solo e o lençol freático (VILLALOBOS-VEJA, 2010), regula a distribuição e a composição das espécies da vegetação, a estrutura e o funcionamento das bacias hidrográficas (SANKARAN et al., 2005; HARIDASAN, 2008). Para alguns autores (ROMERO-SALTOS et. al, 2005; EWE et al., 2007), a quantidade de água disponível é o fator ambiental mais relevante na explicação da diversidade funcional das plantas em diversos ecossistemas ao redor do mundo.

2.2. A *Hymenaea stigonocarpa* MART. ex HAYNE

A espécie *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne ocorre principalmente no Brasil, sobre a região do Cerrado, assim como em algumas regiões da Mata Atlântica, Floresta Amazônica e Caatinga. É vulgarmente conhecida como Jatobá ou Jatobá-do-cerrado e pertence à família Fabaceae (*Leguminosae*). É uma espécie lenhosa, de porte arbóreo chegando a atingir 20m de altura e 50cm de diâmetro à altura do peito (DAP). É uma árvore decídua, com tronco tortuoso e fuste curto, com casca grossa de coloração parda avermelhada. As folhas alternas são classificadas como alternas, compostas bifoliadas, pecioladas, com estípulas caducas. A floração ocorre entre os meses de outubro e dezembro e a frutificação entre os meses de maio a agosto, quando ocorre a maturação dos frutos (CARVALHO;2007) (Figura 1).



Figura 1. Aspectos da árvore, tronco e folhas de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex Hayne

Fonte: O autor

2.3. CONTROLE AMBIENTAL SOBRE A DENSIDADE DE FLUXO DE SEIVA

A medição da densidade de fluxo de seiva é um método comum usado para avaliar o movimento da água e estimar a transpiração. O termo “fluxo de seiva” é empregado para designar a quantidade de seiva por unidade de tempo ($\text{cm}^3 \text{s}^{-1}$ ou, considerando a densidade da seiva igual à da própria água pura, g s^{-1}).

As medições de fluxo de seiva têm sido amplamente usadas para estimar o uso de água pelas árvores (STEPPE et al. 2009,2010; KUME et al.,2012; CHANG et al.,2014; VAN DE WAL et al.,2015), assim como, em estudos sobre a relativos a resposta do fluxo de seiva aos fatores ambientais (CHEN et al., 2014; HERNANDEZ-SANTANA et al., 2016). No entanto, a maioria dos sensores de fluxo de seiva avalia apenas um ou alguns pontos de medição em toda a árvore, fornecendo informações sobre a densidade do fluxo de seiva nos vasos condutores nas proximidades do ponto de medição (COHEN et al., 2012).

Fatores climáticos como a radiação solar, o déficit de pressão de vapor, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a precipitação pluviométrica são importantes reguladores da transpiração que interagem com a disponibilidade de água no solo e afetam o estado hídrico das árvores (DU et al., 2011; GEA-IZQUIERDO et al., 2012; LIU et al., 2012; BAERT et al., 2013; WIESER et al., 2014; PENG et al., 2015; TIAN et al., 2018).

Du et al. (2011) ao analisarem as características de respostas do fluxo de seiva a fatores ambientais, concretamente a sensibilidade das espécies à seca, verificaram aumentos substanciais no fluxo de seiva em resposta às chuvas, sugerindo assim a alta influência da demanda hídrica e das condições hídricas do solo na transpiração.

Wieser et al. (2014) estudando o impacto dos fatores ambientais na transpiração da espécie *Pinus cembra*, observaram uma estreita relação entre a densidade de fluxo de seiva com a radiação solar e com o déficit de pressão de vapor. Além disso, essa espécie apesar de estar exposta a condições de ampla disponibilidade de água no solo, opera com uma estratégia de economia de água para evitar a saturação na perda da água dado ao aumento do déficit de pressão de vapor.

Peng et al. (2015) além de verificarem um aumento do fluxo de seiva com o aumento da radiação solar e da temperatura, observaram uma redução temporária na velocidade em torno do meio-dia em virtude de as correntes de transpiração excederem a capacidade de captação de água no solo pela árvore.

Alterações nas condições hídricas do solo afetam não só as características fisiológicas das plantas, mas também a perda de água por transpiração. Vários

pesquisadores relataram uma diminuição observada na densidade de fluxo de seiva em consequência da redução na umidade de água no solo (KÖCHER et al., 2009, 2010; PENG et al., 2015). Köcher et al. (2009) ao estudarem a relação entre as estratégias de consumo de água e as restrições de fornecimento de água, descobriram que as espécies *Tilia cordata* e *Fagus sylvatica* apresentaram uma diminuição no potencial hídrico foliar com a diminuição do teor de água no solo.

Peng et al.(2015), ao estimarem a transpiração da espécie *Salix matsudana* cultivada em solo arenoso sob diferentes condições de crescimento, verificaram que discrepância no fluxo total de seiva, devido à textura do solo não só afetar a distribuição vertical das raízes finas de *Salix matsudana*, mas também nos teores de água no solo.

2.4. CONTROLE AMBIENTAL SOBRE O CRESCIMENTO DO DIÂMETRO E SOBRE O ESTADO HÍDRICO DAS ÁRVORES

As variações do diâmetro do caule são um bom indicador do *status* e uso de água pelas árvores, porque têm uma relação com a taxa de transpiração (PERÄMÄKI et al. 2001a, 2005). Entretanto, as variações no diâmetro do caule das árvores (VDC) resultam tanto de variações reversíveis no conteúdo diário de água no caule, principalmente da casca (De SWAEF et al. 2015), quanto de variações diárias irreversíveis impulsionadas pela expansão e divisão celular do câmbio (CUNY et al. 2015).

A dinâmica das variações diárias no diâmetro do caule fornecem uma visão geral do estado hídrico das árvores, sendo que tais variações podem ser afetadas pelas condições físicas da atmosfera (KING ET AL. 2013; De SWAEF et al. 2015). Essa dinâmica pode ser monitorada continuamente com o uso de dendrômetros de alta resolução temporal (STEPPE et al., 2006; ZWEIFEL et al., 2006; BEEDLOW et al., 2017; CERMÁK et al., 2007).

A magnitude das variações diárias no diâmetro do caule é modulada em geral pelo curso da transpiração e pelo teor de água no solo (ZWEIFEL et al., 2006). Como consequência disso, são observados ciclos diários caracterizados pela contração do

caule durante o dia, devido ao processo transpiratório, e sua expansão durante a noite e em dias de chuva, quando as reservas de água são gradualmente reabastecidas e os estômatos ficam parcial ou totalmente fechados.

Está comprovado que os ciclos diários de VDC são dependentes das condições microclimáticas, respondendo a estas de diversas formas: contração no diâmetro do caule em consequência do crescimento na taxa transpiratória associadas a elevação da temperatura e do DPV (DEVINE e HARRINGTON, 2011; VIEIRA et al., 2013; URRUTIA-JALABERT et al., 2015), redução na contração em consequência do suprimento da água pela precipitação (DEVINE e HARRINGTON, 2011; KING et al., 2013).

A transpiração além de impulsionar o transporte de água dentro da árvore, de acordo com a teoria de coesão-tensão (DIXON e JOLY, 1894; VAN DEN HONERT, 1948), induz à desidratação dos tecidos elásticos, principalmente a casca e o câmbio. Essa perda de água proporcional à diminuição do diâmetro do caule é chamada de déficit hídrico das árvores (TWD) (ZWEIFEL et al., 2005). O TWD é um indicador do estado hídrico da árvore, sendo igual a zero quando os tecidos da árvore estão totalmente hidratados.

As variações diurnas no diâmetro do caule têm sido relacionadas a várias variáveis ambientais, incluindo temperatura do ar, umidade, precipitação e teor de água no solo (DESLAURIERS et al., 2003). Essas variáveis influenciam o balanço hídrico de uma árvore e refletem-se na flutuação do diâmetro diurno, bem como na duração das fases diárias de expansão e contração do caule (DESLAURIERS et al., 2007).

As interações entre variáveis que determinam o estado hídrico das árvores (por exemplo, transpiração, absorção de água, armazenamento de água no caule) e as variações sazonais na precipitação, temperatura e armazenamento de água no solo levam a padrões variados de respostas entre as espécies em relação a esses fatores ambientais. Diversos estudos relataram uma relação entre TWD e as variáveis com influência na transpiração, como é o caso da temperatura (BRITO et al., 2014, 2015; OBERHUBER et al., 2015a; OBERHUBER et al., 2015b; SINGH e KUSHWAHA, 2016) e relação com o conteúdo de água no solo (SINGH e KUSHWAHA, 2016).

Vieira et al. (2013) encontraram resposta climática variável dos parâmetros de status da água derivados do dendrômetros e incrementos radiais em *Pinus pinaster* em um ambiente propenso a secas. Devine e Harrington (2011), usando as variáveis ambientais que explicam a contração do diâmetro do caule, verificaram que a contração foi bem explicada pelo DPV, variável que aparentemente condiciona em maior grau a condutância estomática e a taxa transpiratória ao invés da própria disponibilidade de água no solo. Por outro lado, Oberhuber et al. (2015b) comparando o desenvolvimento sazonal de TWD e o potencial hídrico do caule em coníferas decíduas *Picea abies* e *Pinus sylvestris*, com déficit hídrico no solo durante a estação de crescimento, verificaram que o TWD nas coníferas foi fortemente afetado pelas condições ambientais, por exemplo pelo conteúdo de água no solo e o déficit de pressão de vapor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado em uma área situada a 157 m acima do nível médio do mar, na Fazenda Miranda (15 ° 40 ' S, 56 ° 10 ' O) cerca de 17 km a oeste de Cuiabá, na região centro-oeste do Brasil (Figura 1). A área de estudo, possui uma floresta natural secundária dominada por *Curatella americana* (Lixeira) e de maior predominância da espécie *Hymenaea stigonocarpa* (Jatobá-do-Cerrado) (GUARIM NETO, 1984; OLIVEIRA FILHO e MARTINS, 1986; OLIVEIRA FILHO, 1989; FELFILI et al., 1998; MARIMON et al., 1998; MARIMON; LIMA, 2001; AMOROZO, 2002; FELFILI et al., 2002). Os solos no local são conhecidos como solo concrecionário distrófico, que é um latossolo rochoso, pobre em nutrientes e de cor avermelhada (RADAMBRASIL, 1982). Esses solos possuem alta porosidade, baixa capacidade de retenção de água e escoamento rápido, em um intervalo de três a cinco dias, após as chuvas (RODRIGUES et al., 2013, 2014). A água disponível da planta, que foi definida como o conteúdo de água no solo (CAS, %) foi de 4% a uma profundidade de 0.2 m, durante todo o período de medição neste local de estudo.

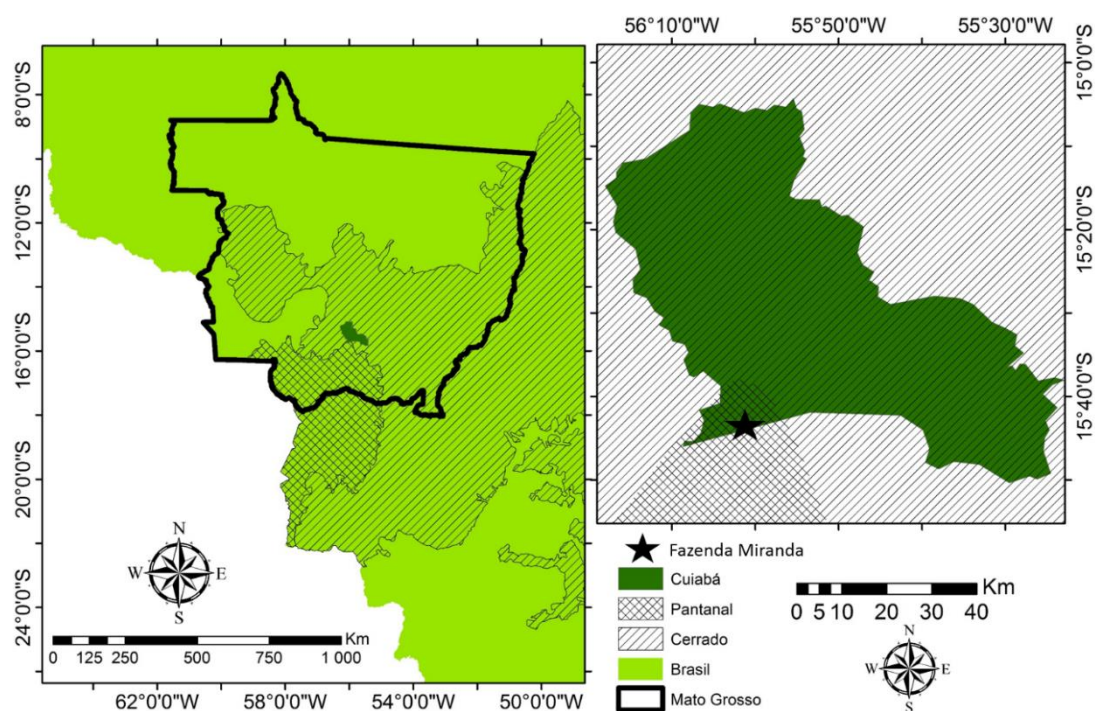


Figura 2. Localização da área experimental.

Fonte: O autor

3.2. MEDIÇÕES E ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

Usando uma estação micrometeorológica de 20 m de altura, instalada em uma área aberta a aproximadamente 50 m da parcela de área com as árvores estudadas, foram tomadas medidas da temperatura do ar (T_a , °C) e da umidade relativa (UR,%), a uma altura de 10 m acima do solo usando o termo higrômetro (HMP45AC, Vaisala Inc., Woburn, MA, USA). Também foram coletados dados da radiação líquida (R_n , Wm^{-2}), da radiação global (R_g , Wm^{-2}) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR, $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$) medidos a uma altura de 5 m usando um net radiômetro (NR-LITE-L25, Kipp & Zonen, Delft, The Netherlands), e um piranômetro (LI200X, LICOR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA), respectivamente. A precipitação (PPT, mm) foi medida usando um medidor de precipitação de balde de ponta (TR-525 M; Texas Electronics, Inc., Dallas, TX, USA). Além das variáveis micrometeorológicas mencionadas, o conteúdo de água no solo (CAS, %) foi medido em dois tipos de solos descritos anteriormente, utilizando sondas de refletrometria no domínio do tempo (TDR, CS616-L50-Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA) ($n = 2$) instaladas a

20 cm abaixo da superfície solo. A média das medidas do CAS foi empregada como a estimativa que representa a umidade do solo do local, apesar de que ambos solos apresentam características vegetativas e de retenção de água semelhantes. A temperatura do ar e umidade relativa do ar foram usadas para estimar o déficit de pressão de vapor (DPV, kPa).

3.3. MEDIÇÕES DE FLUXO DE SEIVA E ESTIMATIVA DO USO DE ÁGUA

A medição das variações no diâmetro do caule e as estimativas das velocidades do fluxo de seiva, tiveram seu início em dezembro de 2017 e fevereiro de 2018, respectivamente. Os dados analisados neste estudo, compreendem o período que vai de 25 de fevereiro de 2018 à 31 de dezembro de 2019. O fluxo de seiva no caule foi monitorado com sensores de dissipação térmica constante (GRANIER, 1985; GRANIER, 1987), instalados a uma altura de 1,3 m, na posição norte de cada uma de nove árvores (*HS1*, *HS2*, *HS3*, *HS4*, *HS5*, *HS6*, *HS7*, *HS8* e *HS9*)(Figura 3), sendo essas sondas isoladas com isopor, espuma e material coberto de alumínio para evitar a troca de calor com o meio externo e a incidência de radiação solar direta ou difusa. Os sensores são compostos por duas agulhas providas de termopares, sendo que a agulha superior possui também uma resistência elétrica para a qual é fornecida uma tensão elétrica constante (3V para TDP30). Assim, computa-se a uma diferença de temperatura instantânea entre as agulhas (dT). As diferenças de temperatura (dT) foram registradas a cada 0,5 hora em um *data logger* (CR1000, Campbell Scientific, Inc.).



Figura 3. Localização das árvores de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex

Fonte: O autor

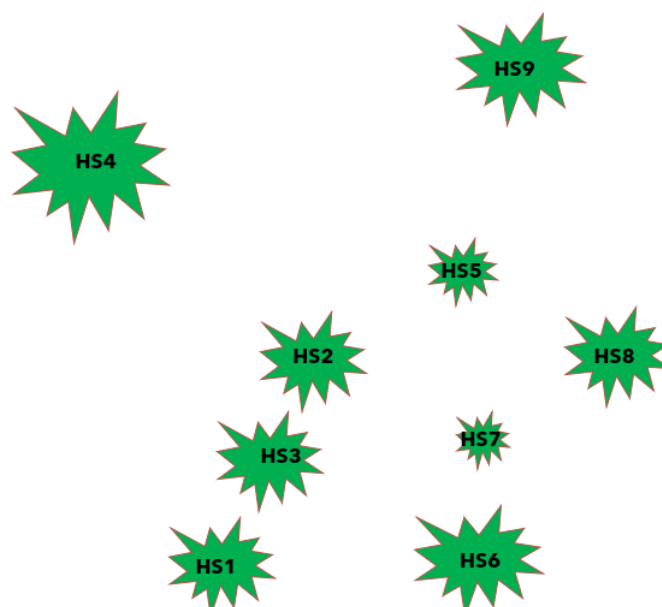


Figura 4. Localização espacial das árvores de *Hymenaea stigonocarpa* Mart. ex no dossel.

3.3.1. ANÁLISE DA DINÂMICA DIÁRIA E SAZONAL DOS PADRÕES DE USO DE ÁGUA POR CADA ÁRVORE

A velocidade de fluxo de seiva (V , m h^{-1}) foi estimada empiricamente por meio da Equação 1 (Granier, 1985; 1987).

$$V = 0,0119 \times K^{1,231} \times 10^{-2} \times 3600 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: V = velocidade do fluxo de seiva (m h^{-1}), 0,0119 e 1,231 = constantes empíricas adimensionais que permitem estimar o valor de V em cm s^{-1} , K = constante empírica adimensional definida por Granier, calculada segundo a Equação 2, 10^{-2} = constante para transformar o valor de V de cm s^{-1} para m s^{-1} ; 3600 = constante para transformar a velocidade de m s^{-1} para m h^{-1} .

Com efeito, inicialmente foi realizada a determinação da variável empírica K (Equação 2), que é função do valor da diferença de temperatura (dT) entre o termopar superior e o inferior do sensor Granier no instante para o qual se está determinado o fluxo de seiva e da diferença de temperatura máxima (dT_{max}) entre esses mesmos termopares, que ocorre no momento em que o fluxo é igual a zero. O valor de dT_{max} foi obtido para cada dia individualmente, durante o período noturno no qual a radiação solar era nula, para uma condição de déficit de pressão de vapor do ar (DPV) menor que 0,05 kPa, de acordo com a abordagem descrita por (OISHI *et al.*, 2008).

$$K = \frac{dT_{max} - dT}{dT} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: K = constante adimensional, dT_{max} ($^{\circ}\text{C}$) é o valor de dT sob condição de fluxo igual a zero (é a diferença de temperatura máxima entre os termopares superior e inferior do sensor) e dT ($^{\circ}\text{C}$) é a diferença de temperatura medida no instante para o qual se está determinado o fluxo de seiva.

Os valores de V foram utilizados para o cálculo da densidade de fluxo de seiva (J_D , $\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Para realizar esse cálculo, empregou-se a igualdade dimensional que existe entre a unidade em que V está sendo expressa (m h^{-1}) e uma unidade intermediária de J_D ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{h}^{-1}$). Considerando a densidade da seiva sendo igual a 1000 kg m^{-3} , multiplicando-se essa densidade pela magnitude da J_D calculado para aquela unidade intermediária, obtém-se assim J_D expresso na sua unidade final e desejada ($\text{kg m}^{-2} \text{h}^{-1}$).

Paralelamente à determinação dos valores de densidade de fluxo de seiva, o fluxo total de seiva na planta (F_s) também foi calculado (Equação 3), por meio do produto da densidade de fluxo pela área da seção transversal do caule com presença de vasos xilemáticos ativos (A_s).

$$F_s = J_D \times A_s \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: F_s = fluxo total de seiva na planta (kg h^{-1}), A_s = área da seção transversal do caule com presença de xilema ativo (m^2 , estimada de acordo com a Equação 4).

A determinação da área de xilema ativo (A_s) foi realizada por meio do emprego de uma equação de regressão previamente estabelecida para tal fim (Figura 4).

Para a construção dessa equação de regressão, foram extraídos transversalmente, no tronco de árvores de jatobá de diferentes diâmetros, duas amostras ortogonais de tecido, com uso de um trado de amostragem (Figura 5), na altura de 1,3 m acima do solo. Com auxílio de um estereoscópio (OPZTS *Standard*) acoplado ao computador, foram identificados, ao longo da extensão das amostras, as regiões com vasos não obstruídos, as quais representam a região do xilema ativo no caule (Figura 6).

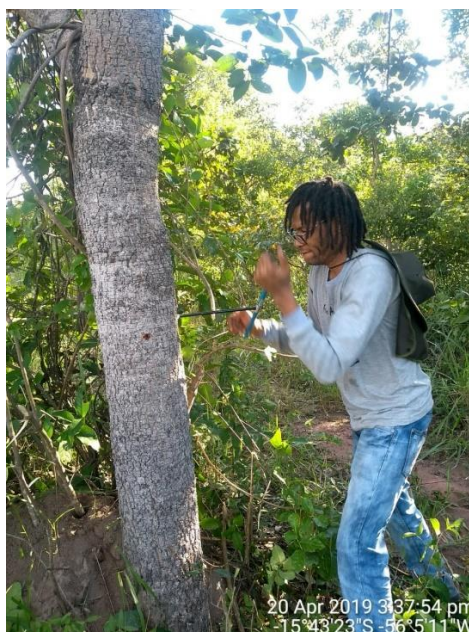


Figura 5. Extração de amostras para efeitos de estimativa da área do xilema ativo.

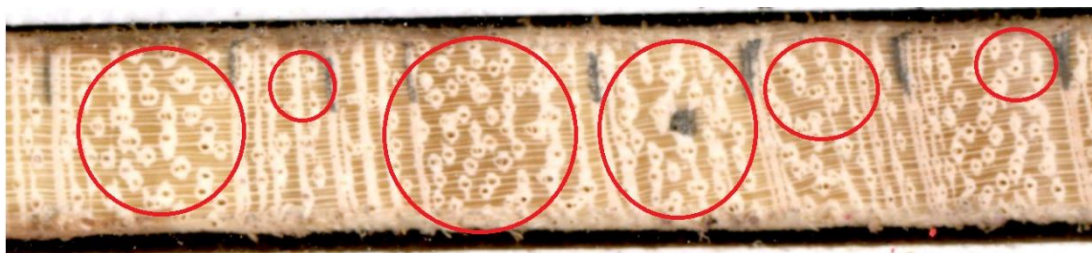


Figura 6. Visão macroscópica dos vasos difusos da espécie *Hymenaea stigonocarpa*: vasos não obstruídos identificados pela região circular.

Usando a abordagem descrita por Aparecido et al. (2015), estimou-se a área da seção transversal do caule com presença de xilema ativo para cada árvore de jatobá amostrada. Esta área foi determinada com o emprego da Equação 4.

$$A_s = \pi \cdot (R_{med}^2 - r_{med}^2) \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: A_s = área de xilema ativo da planta (m^2); $p = 3,1415\dots$; R_{med}^2 = o quadrado do raio médio maior, sendo este calculado como a média aritmética entre as duas distâncias definidas pelo limite externo da área de xilema ativo (onde se dá o contato do xilema ativo com a casca) e o centro do caule de uma amostra (Figura 3), r_{med}^2 = o quadrado do raio médio menor, sendo este calculado como a média aritmética entre as duas distâncias definidas pelo limite interno (onde termina o xilema ativo e começa o cerne, ou xilema inativo) e o centro do caule de uma amostra (Figura 3).

No exato ponto onde se retiraram as amostras ortogonais para a determinação da área do xilema ativo, também foram tomadas as medidas do perímetro do caule e, considerando que ele é aproximadamente uma circunferência, estimou-se o seu diâmetro de acordo com a Equação 5.

$$D = \frac{P}{\pi} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que: D = diâmetro do caule (m), P = perímetro do caule (m), $\pi = 3,1415\dots$

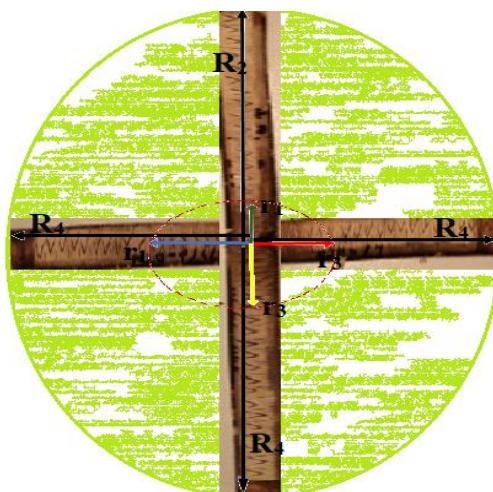


Figura 7. Demarcação dos raios em torno da área sem obstrução de vasos. R_2 e R_4 indicam o raio da circunferência maior e r_1 e r_3 os raios menores interno (equivalente à área do cerne).

Com os 26 pares de dados de A_s e D obtidos, estabeleceu-se uma regressão para a estimativa de A_s a partir de qualquer dado de D (Figura 8), sendo exatamente essa a relação alométrica empregada para estimar os valores de A_s nos espécimes em que foram medidos os fluxos de seiva.

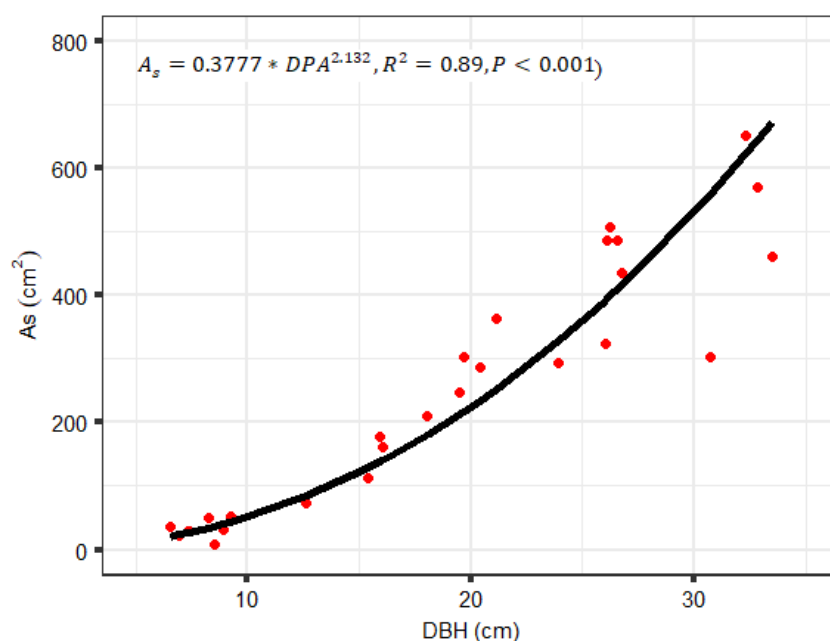


Figura 8. Relação entre a área do xilema ativo (A_s) e o diâmetro do caule na altura do peito (DBH- *Diameter at Breast Height*). Os pontos indicam os pares de dados e a linha sólida é correspondente à curva de regressão ajustada.

3.3.2. ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS DE USO DE ÁGUA ENTRE AS ÁRVORES

O fluxo de seiva é influenciado pela radiação solar, pela temperatura do ar, pelo déficit de pressão de vapor e pela velocidade de vento (sendo estes dois últimos responsáveis pela evaporação da superfície da folha), incluindo a disponibilidade de água no solo (CAS) (MEINZER, 2003; O'BRIEN et al., 2004; TELANDER et al., 2015).

Assim sendo, as relações entre o fluxo de seiva (F_s) e as variáveis déficit de pressão de vapor (DPV), radiação solar global (R_g) e disponibilidade de água no solo (CAS) foram estabelecidas baseando-se em ajustes de modelos lineares e não lineares, dependendo do comportamento da distribuição dos dados. Essas relações foram analisadas selecionando-se dados nos períodos dos anos de 2018 e de 2019 em que a condição de déficit hídrico foi definida para valores de CAS $\leq 2,9\%$ e de plena disponibilidade de água para valores de CAS $\geq 4,0\%$, segundo a curva característica de retenção de umidade de solo em nosso local de estudo (Figura 9). Esses valores críticos de CAS foram definidos tomando-se como base os valores médios de CAS para os períodos seco de 2018 ($2,68 \pm 0,47\%$) e de 2019 ($2,93 \pm 0,87\%$) e os períodos chuvosos de 2018 ($4,92 \pm 1,18\%$) e de 2019 ($4,56 \pm 1,42\%$).

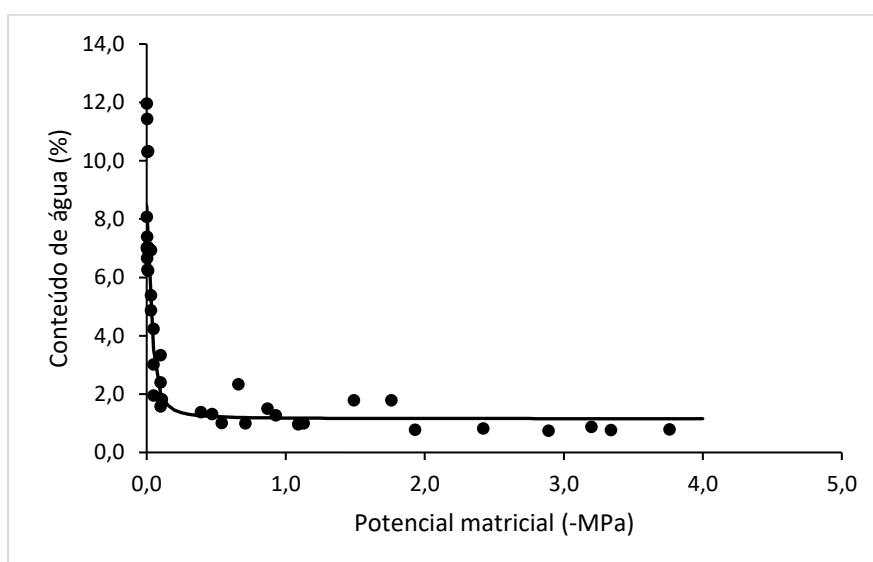


Figura 9. Curva característica da retenção de umidade de solo, em nosso local de estudo.

3.3.3. ANÁLISE DOS EFEITOS DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO (CAS) E DO DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR (DPV) NO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE (TWD)

O TWD é uma medida direta do estresse hídrico nas árvores (ZWEIFEL et al. 2005 ; DREW et al. 2011 ; KÖCHER et al. 2013), e pode ser determinado pelas condições atmosféricas e pelo conteúdo de água no solo (ZWEIFEL et al. 2005 ; EHRENBARGER et al. 2012). Assim sendo, essa variável foi relacionada com a radiação solar global (R_g), o déficit de pressão de vapor (DPV), a temperatura do ar (T_a), incluindo com o conteúdo de água no solo (CAS).

Com vista a alcançar este objetivo específico, realizamos a medição de variação do diâmetro do caule com recurso em três dendrômetros de cinta (modelo DRL26A, Czech Republic) com resolução 1 μm (Figura 10). Os dendrômetros foram instalados em estrutura de aço inoxidável que foram fixados no caule a 1,3 m de altura. Os valores das variações no diâmetro do caule foram registrados a cada 30 minutos e armazenados em sua memória.



Figura 10. Dendrômetro de cinta modelo DRL26A.

A partir da série de dados dendrométricos foi possível particionar essa série de dados, com base em duas abordagens descritas por Zweifel et al. (2005, 2016) e Dietrich et al. (2018) e assim estimar o déficit hídrico do caule (TWD). A primeira abordagem consistiu em determinar a tendência de crescimento no diâmetro do caule

(*GRO – growth*) atribuível à expansão irreversível (variação resultante do acúmulo da biomassa), calculando-se a diferença entre o valor do diâmetro correspondente à leitura atual e o valor máximo das leituras anteriores ($D_t - D_{max}$) supondo que D_t excede o D_{max} . A segunda abordagem consistiu em identificar as variações reversíveis no diâmetro do caule impulsionadas pelas variações de conteúdo de água nos tecidos vivos do caule, designada neste caso de déficit hídrico da árvore (*TWD – tree water deficit*). O *TWD* também foi determinado por meio da diferença entre o valor do diâmetro correspondente à leitura atual e o valor máximo das leituras anteriores ($D_t - D_{max}$), porém neste caso supondo que D_t não excede o D_{max} . Matematicamente essas abordagens são formuladas de acordo com os sistemas de Equações 6 e 7.

$$GRO(t) = \begin{cases} D(t) - \max[D(< t)], & D(t) \geq \max [D(< t)] \\ 0, & D(t) < \max [D(< t)] \end{cases} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$TWD(t) = \begin{cases} D(t) - \max[D(< t)], & D(t) < \max[D(< t)] \\ 0, & D(t) \geq \max[D(< t)] \end{cases} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que: $GRO(t)$ = crescimento observado no tempo t (m), $D(t)$ = diâmetro do caule medido no tempo t (m), $TWD(t)$ = esgotamento de água no caule (m).

A resposta de *TWD* perante as variações das condições ambientais foram estabelecidas mediante ajuste de modelos lineares e não lineares, sempre tendo em conta o comportamento da distribuição dos dados nas relações estabelecidas.

3.3.4. ANÁLISE DA SENSIBILIDADE DE CADA ÁRVORE ÀS VARIAÇÕES AMBIENTAIS

Dado que a resposta fisiológica da planta às variáveis ambientais é diferente, foram aplicados diversos modelos para analisar a relação entre F_s , *TWD* e as variáveis ambientais (CAS , DPV e Rg). Com efeito, aplicamos a 1ª derivada sobre as curvas que representam as relações entre o fluxo de seiva (F_s) e também entre o déficit hídrico do caule (*TWD*) e as variáveis ambientais (Equações 8 e 9), respectivamente, que são gerais. Porém, para cada variável associada foi estabelecida uma análise de regressão

específica, de melhor ajustamento. Para estimar a sensibilidade de F_s e TWD, utilizou-se a inclinação da reta tangente as curvas ora ajustadas.

$$F_s = f(CAS, DPV, R_g) \quad (\text{Eq. 8})$$

$$TWD = f(CAS, DPV, R_g) \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que: F_s = fluxo de seiva (kg h^{-1}), f = símbolo de função, CAS = conteúdo de água no solo (%), DPV = déficit de pressão de vapor (kPa), R_g = radiação solar global (MJ m^{-2}).

3.3.5. ANÁLISE DOS EFEITOS DO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE (TWD) SOBRE O FLUXO DE SEIVA (F_s)

Para avaliar como as taxas de fluxo de seiva (F_s) respondem ao esgotamento de água no caule (TWD), foram realizadas análises de regressão entre essas variáveis, tomando-se os modelos que melhor se ajustaram aos dados originais.

3.4. ANÁLISE DOS DADOS

Os melhores modelos de regressão obtidos em todos os casos foram selecionados pelos critérios de informação de Akaike (AIC) testando se os modelos lineares ou não lineares eram os mais adequados. Diferenças estatísticas entre os parâmetros estimados pelos modelos foram testados para o nível $p < 0,05$. Todas as análises estatísticas foram realizadas usando o software *R Statistical Software* 3.0.2 (*R Development Core Team, 2010*).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Na Figura 11 é possível verificar as variações sazonais nas séries temporais de radiação solar global (R_g , MJ m^{-2}), temperatura do ar (T_a , $^{\circ}\text{C}$), déficit de pressão

de vapor (DPV, kPa), precipitação (PPT, mm dia⁻¹) e conteúdo de água no solo (CAS, %).

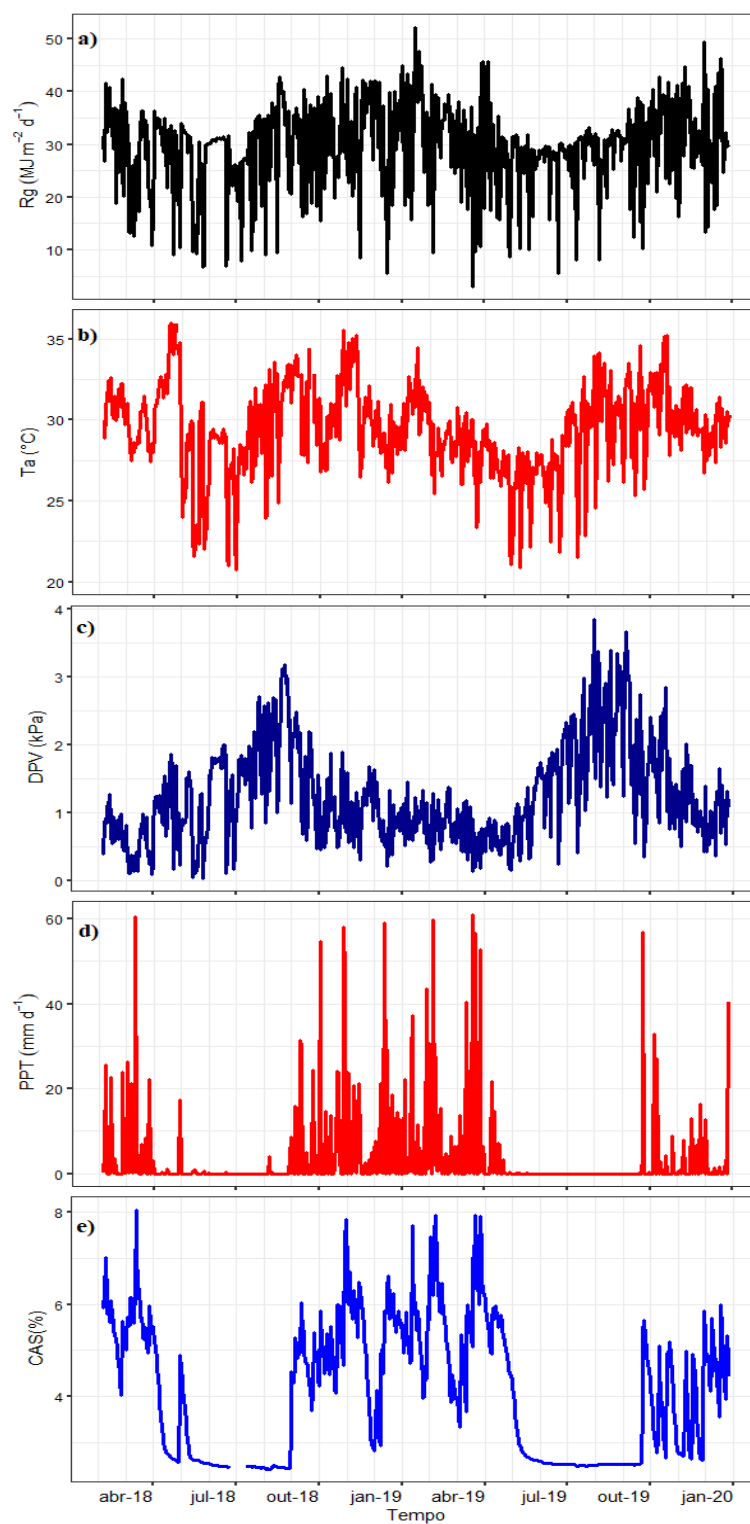


Figura 11. Curso sazonal de: (a) radiação global diária total (R_g , $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); (b) temperatura do ar diária média (T_a , $^{\circ}\text{C}$); (c) déficit de pressão de vapor diário médio (DPV, kPa); (d) precipitação diária acumulada (PPT, mm d^{-1}); (e) e conteúdo de água no solo diário médio (CAS, %).

Durante o período de estudo de fevereiro de 2018 a dezembro de 2019, a radiação solar e o déficit de pressão de vapor variaram de 3 a 52 MJ m^{-2} e de 0,04 a 3,85 kPa, respectivamente. O valor médio da radiação solar diária total foi de $29,66 \pm 8,10 \text{ MJ m}^{-2}$ e seu valor máximo ($52,21 \text{ MJ m}^{-2}$) foi observado em janeiro de 2019 e o déficit de pressão teve uma média diária $1,25 \pm 0,72 \text{ kPa}$, e seu valor máximo observado em agosto de 2019 (Figura 11a e b). A temperatura do ar variou de 20 a 38°C , e a média diária foi de $29,41 \pm 2,83^{\circ}\text{C}$. A precipitação diária total e o teor de água no solo a 0,20 m de profundidade, variaram de 0 a 61 mm dia^{-1} , e de 2 a 8%, respectivamente. O valor médio do conteúdo de água no solo foi de $4,06 \pm 1,47\%$. Entretanto, os eventos de precipitação resultaram em flutuações no conteúdo de água do solo que persistiram com fortes chuvas (Figura 11e).

4.2. DINÂMICA SAZONAL E DIÁRIA DO FLUXO DE SEIVA

Os padrões sazonais de uso diário de água, representado pelo fluxo de seiva diário total (F_s , kg d^{-1}) entre as árvores mostraram uma dinâmica distinta entre as estações nos dois anos avaliados (Figura 12). As árvores apresentaram altas taxas de uso diário de água durante a estação chuvosa (janeiro a abril) e estação de crescimento e expansão das folhas (Figura 13a, 13b, 13c). Reduções nas taxas de uso de água relacionadas com a seca foram observadas, no início de junho de 2018 e julho de 2019, porém, estas reduções coincidem com o período de senescência e perda das folhas e com maior redução observada durante o mês de agosto (Figura 13d, 13e, 13f).

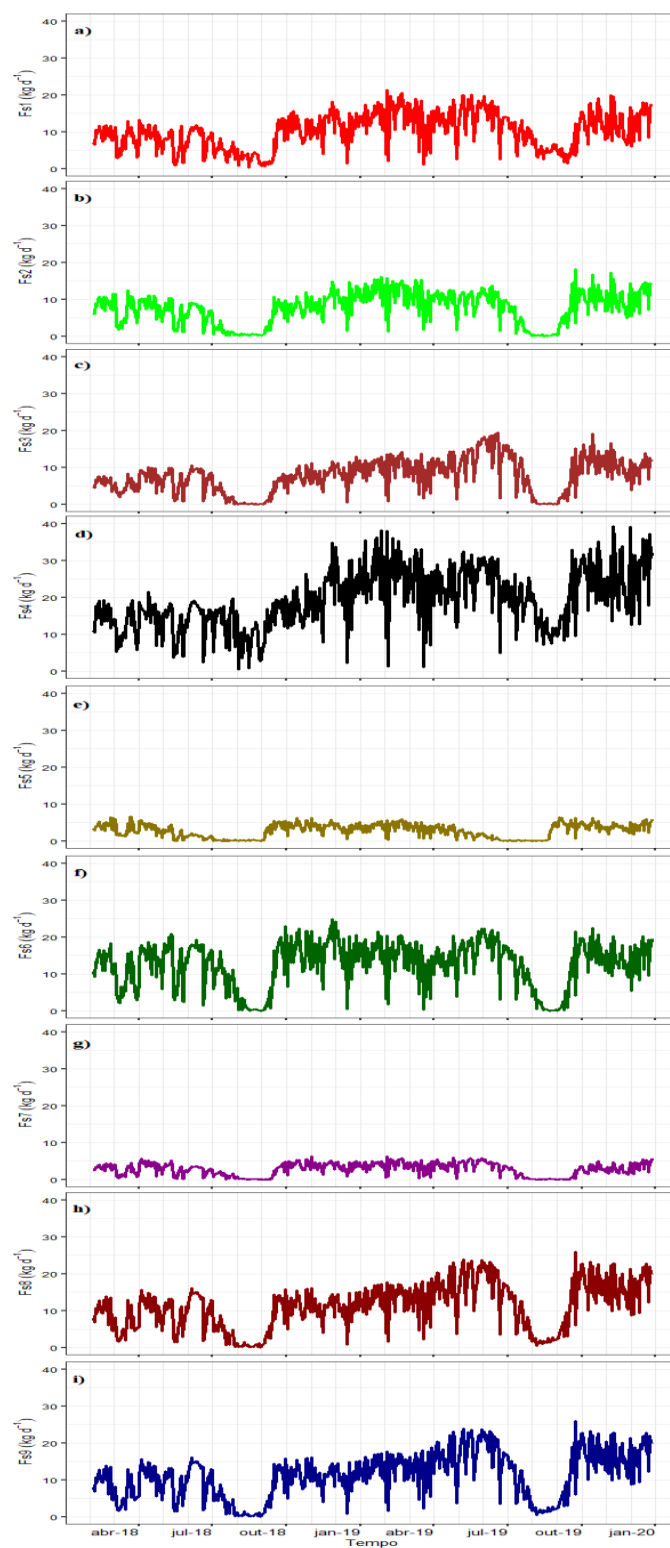


Figura 12. Curso sazonal do fluxo diário total de seiva as médias diárias do fluxo de seiva (F_s , kg d^{-1}): (a) F_{s1} -fluxo para HS1; (b) F_{s2} -fluxo para HS2; (c) F_{s3} -fluxo para HS3; (d) F_{s4} -fluxo para HS4; (e) F_{s5} -fluxo para HS5; (f) F_{s6} -fluxo para HS6; (g) F_{s7} -fluxo para HS7; (h) F_{s8} -fluxo para HS8; (i) F_{s9} -fluxo para HS9.

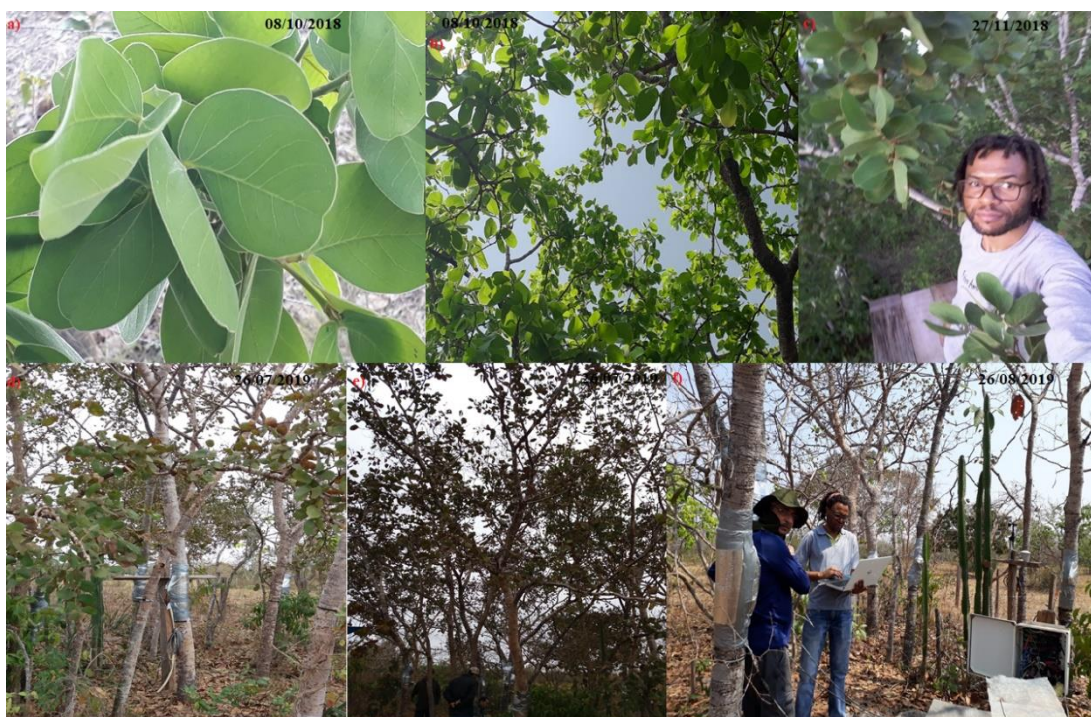


Figura 13. Desenvolvimento foliar da *Hymenaea stigonocarpa* durante o período de estudo.

O uso diário total de água variou entre 0 a 40 kg d⁻¹ (Figura 9) e teve uma média anual situada entre 2,56 kg d⁻¹ e 19,38 kg d⁻¹ em 2018 e uma variação entre 2,90 kg d⁻¹ e 22,92 kg d⁻¹ em 2019 (Tabela 1).

Tabela 1. Características das árvores de *Hymenaea stigonocarpa* (HS) escolhidas para a medição do uso da água nas árvores

Árvore	DAP (cm)	A _s (cm ²)	F _{Schuvosa} (kg d ⁻¹)	F _{Sseca} (kg d ⁻¹)	F _{S2018} (kg d ⁻¹)	F _{S2019} (kg d ⁻¹)
HS1	14,28	109,19	10,62±4,77	9,30±4,85	7,97±3,95	11,91±4,74
HS2	16,47	147,79	8,68±4,03	5,90±4,16	6,17±3,69	8,88±4,35
HS3	15,17	124,03	7,68±3,97	7,75±5,53	5,51±3,23	9,53±4,78
HS4	24,01	330,27	20,12±8,03	17,75±7,03	14,79±5,62	22,92±7,22
HS5	12,37	80,45	3,68±1,45	1,15±1,28	2,59±1,86	2,90±1,82
HS6	16,03	139,57	12,66±6,20	12,39±6,07	11,91±6,44	13,08±5,85
HS7	8,64	37,37	2,92±1,65	2,52±1,80	2,56±1,63	2,94±1,77
HS8	16,88	155,9	11,49±5,60	10,60±6,95	8,29±4,74	13,49±6,11
HS9	22,67	292,16	18,53±8,82	19,46±9,25	19,38±9,92	18,40±8,09

DAP: Diâmetro do tronco na altura do peito (1,3 m acima do solo), A_s - área do xilema ativo, estimada a partir da relação (A_s – DAP); F_s : fluxo de seiva $\pm$ DP medido entre fevereiro de 2018 a dezembro de 2019.

Durante a estação seca, as árvores 4 (*HS4*) e 9 (*HS9*) foram as que apresentaram maiores valores de F_s , ambas árvores possuem maior diâmetro do caule (Tabela 1), o que sugere que apresentam maior capacidade de armazenamento de água em seus caules, bem com, capaz de manter uma certa quantidade de fluxo de seiva alto especialmente em situação de limitação hídrica no solo. Em contraste, as árvores 5 (*HS5*) e 7 (*HS7*) ambas com menor diâmetro de caule, apresentaram as menores taxas de uso de diário de água, as possíveis explicações são: (i) o menor capacidade de armazenamento de água em seu caule e consequente incapacidade de manter a perda de água em altas taxas por muito tempo; e (ii) possivelmente a incapacidade de competir com as outras árvores maiores.

As tendências diárias do fluxo de seiva (F_s), radiação solar (R_g) e déficit de pressão de vapor (DPV) sob diferentes condições de conteúdo de água no solo (CAS) são apresentadas nas Figuras 14 e 15.

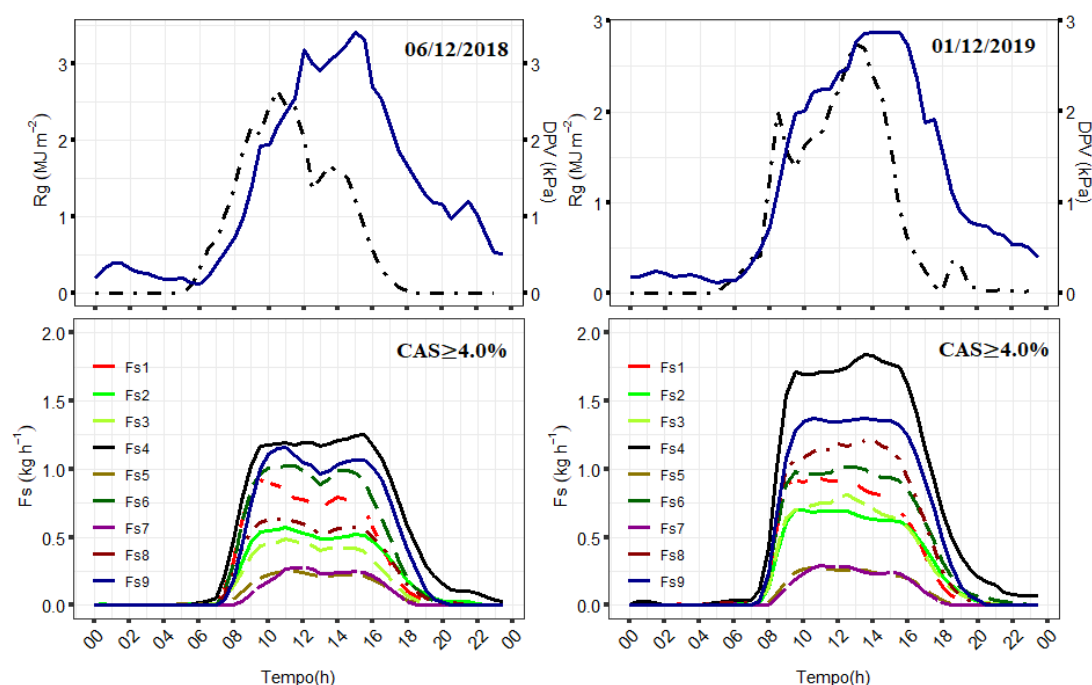


Figura 14. Curso diurno do fluxo de seiva (F_s), radiação global (R_g , linha preta) e deficit de pressão de vapor (DPV, linha azul). Dados selecionados para as seguintes condições ambientais: Dias sem precipitação; R_g (1,5–2,5 $MJ m^{-2}$); DPV (1,5–2,5 kPa) e CAS $\geq 4,0\%$.

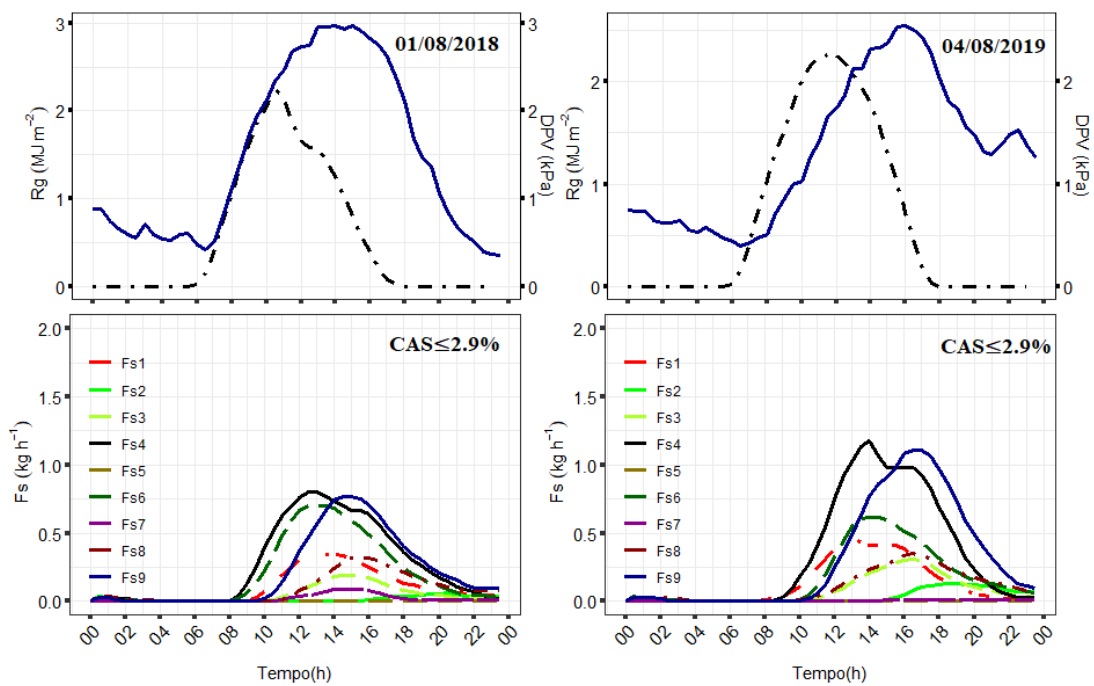


Figura 15. Curso diurno do fluxo de seiva (F_s), radiação global (R_g , linha preta) e deficit de pressão de vapor (DPV, linha azul). Dados selecionados para as seguintes condições ambientais: Dias sem precipitação; R_g (1,5–2,5 MJ m^{-2}); DPV (1,5–2,5 kPa) e $\text{CAS} \leq 2,9\%$.

É observado uma defasagem temporal na ordem de 1h, entre os picos máximos de R_g e de DPV. A dinâmica diurna de F_s acompanhou as variações diurnas de R_g e DPV. F_s é aproximadamente igual a zero entre 0:00 e 07:00 horas, sob condição de maior disponibilidade de água no solo ($\text{CAS} \geq 4.0\%$) os picos máximos de F_s alcançaram seu máximo entre 10:00 e 11:00 h, e tiveram um tempo médio de permanência superior a 4h, o que sugere que a maior disponibilidade de água no solo proporcionou condições favoráveis para maior uso de água pelas árvores (Figura 14). Em contraste, sob condição de estresse hídrico no solo ($\text{CAS} \leq 2.9\%$) os picos máximos de F_s reduziram em quase a 50%, quando comparado ao período anterior. Além disso, os picos máximos foram alcançados entre 12:00 e 14:00 h e com um tempo médio de permanência aproximadamente igual a 1h (Figura 15).

A redução de F_s em quase 50%, possivelmente esteja associado a sensibilidade das raízes rasas do jatobá a seca do solo nas camadas superficiais (KUME et. al, 2007). Por outro lado, o menor tempo de permanência do pico máximo de F_s perante a condição de seca no solo, pode estar associado a perda de folhas na maior parte das árvores durante o mês de agosto (Figura 13f), o que pode constituir uma das estratégias empregues pelo jatobá em nosso local de estudo, para minimizar as perdas de água pela transpiração e otimizar o uso diário de água sob condições de seca no solo e alta demanda evaporativa da atmosfera.

O padrão de comportamento diurno revelado no uso de água pelo jatobá é semelhante aos ao padrão de uso de água observado em *Tilia cordata* e *Fagus sylvatica* (KÖCHER et al., 2009); *Salix matsudana* (DU et al. 2011; PENG et al., 2015) sob limitação hídrica do solo.

4.3. SENSIBILIDADE DO FLUXO DE SEIVA ÀS VARIAÇÕES AMBIENTAIS

As plantas respondem de maneira relativamente diferente a fatores ambientais (BAERT et. al., 2013; GEA-IZQUIERDO et. al., 2012; LIU et. al., 2012; NASR et. al., 2011). A Figura 16 mostra a relação entre o fluxo de seiva (F_s) e o conteúdo de água no solo (CAS). Observamos uma resposta parabólica significativa de F_s as variações diárias do CAS ($p < 0,001$; $R^2 = 0,05-0,26$; Tabela 2). F_s aumentou quase linearmente para valores de CAS abaixo de 4,0% (Figura 16). Acima de 4,0% F_s apresentou maiores flutuações em seus valores diários, a explicação para esse comportamento provavelmente se deve aos efeitos das flutuações na radiação solar e no déficit de pressão de vapor e não propriamente da umidade do solo.

No entanto, a sensibilidade de F_s ao CAS, i.e, máximo de F_s sob condições ótimas de CAS foram observados dentro de uma faixa de valores de CAS situados entre 3,29 a 4,93%. Acima destes valores, verificamos que o aumento unitário no CAS causou uma diminuição nas taxas diárias de F_s na ordem de 2% para F_{s7} ; 3% para F_{s3} e F_{s5} ; 4% para F_{s2} e F_{s8} ; 5% para F_{s1} ; 7% para F_{s4} e F_{s6} ; e finalmente 8% para F_{s9} . Essas diferenças nas taxas de redução de F_s entre as árvores sugerem que o processo de transpiração é sensível às condições de umidade de solo, bem

como, refletem que maior sensibilidade de F_s às variações do CAS em árvores maiores de jatobá, localizadas nas bordas do dossel ($HS4$, $HS6$ e $HS9$).

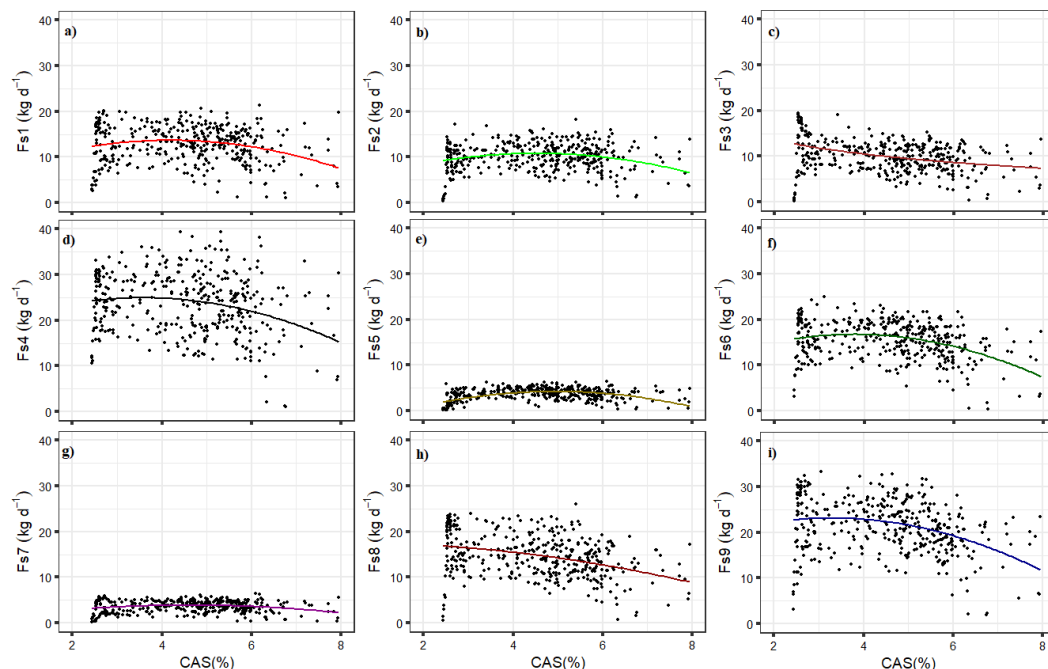


Figura 16. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (F_s , kg d^{-1}) às alterações diárias no conteúdo de água no solo (CAS, %): (a) F_{s1} -fluxo para $HS1$; (b) F_{s2} -fluxo para $HS2$; (c) F_{s3} -fluxo para $HS3$; (d) F_{s4} -fluxo para $HS4$; (e) F_{s5} -fluxo para $HS5$; (f) F_{s6} -fluxo para $HS6$; (g) F_{s7} -fluxo para $HS7$; (h) F_{s8} -fluxo para $HS8$; (i) F_{s9} -fluxo para $HS9$.

Tabela 2. Modelos ajustados que descrevem a resposta do F_s às variações do CAS.

$F_{s1} = -0,43 * CAS^2 + 3,58 * CAS + 6,16; R^2 = 0,05; P < 0,001$
$F_{s2} = -0,36 * CAS^2 + 3,28 * CAS + 3,36; R^2 = 0,06; P < 0,001$
$F_{s3} = 0,12 * CAS^2 - 2,12 * CAS + 17,09; R^2 = 0,12; P < 0,001$
$F_{s4} = -0,53 * CAS^2 + 3,87 * CAS + 17,80; R^2 = 0,06; P < 0,001$
$F_{s5} = -0,36 * CAS^2 + 3,57 * CAS - 4,63; R^2 = 0,26; P < 0,001$
$F_{s6} = -0,53 * CAS^2 + 4,03 * CAS + 9,11; R^2 = 0,13; P < 0,001$
$F_{s7} = -0,15 * CAS^2 + 1,34 * CAS + 0,78; R^2 = 0,05; P < 0,001$
$F_{s8} = -0,14 * CAS^2 + 0,04 * CAS + 17,58; R^2 = 0,11; P < 0,001$
$F_{s9} = -0,52 * CAS^2 + 3,45 * CAS + 17,44; R^2 = 0,12; P < 0,001$

A relação entre F_s e DPV foi descrita por uma resposta parabólica de F_s as variações diárias de DPV (Figura 17). A resposta de F_s ao DPV foi significativa ($p < 0,001$; $R^2 = 0,13-0,48$; Tabela3). F_s mostrou um crescimento quase linear para uma faixa de valores de DPV na sua maioria inferiores a 1,5 kPa. À medida que o DPV vai

aumentando ao longo do dia, o gradiente no potencial hídrico entre a atmosfera e a planta vai aumentando, impulsionando assim as correntes de transpiração (F_s). Porém, os valores máximos de F_s foram observados para valores de DPV situados entre 1,39 e 1,77 kPa.

No geral, abaixo destes valores o aumento unitário no DPV causou um aumento nas taxas de F_s em cerca de 4% para F_{s5} ; 9% para F_{s2} e F_{s2} ; 12% para F_{s8} ; 17% para F_{s6} ; e 21% para F_{s4} e F_{s9} . Em contraste, DPV causou uma redução de 6% sobre F_{s7} e 14% sobre F_{s1} para valores acima de 1,39 e 1,47 kPa.

Os limiares de DPV neste estudo para o máximo uso diário de água na maioria das árvores estão acima de 1,5 kPa. No entanto, acima destes valores as taxas de F_s reduziram, em consequência das condições quentes, onde as temperaturas médias diárias permaneceram acima dos 32,5°C (Figura 11b), o que resulta em alta demanda evaporativa atmosférica e, portanto, os estômatos tendem a fechar à medida que a planta não consegue suportar as maiores taxas de perda de água causada pela intensificação do DPV. Nossos resultados mostraram que as árvores, uma vez confrontadas com o estresse hídrico no solo e o aumento da demanda evaporativa da atmosfera demonstraram ajustes fisiológicos, a fim de minimizar as perdas de água por transpiração e assim manter a integridade do sistema hidráulico. O limiar de DPV obtido neste estudo foi consistente aos encontrados por outros pesquisadores (LIU et al., 2012).

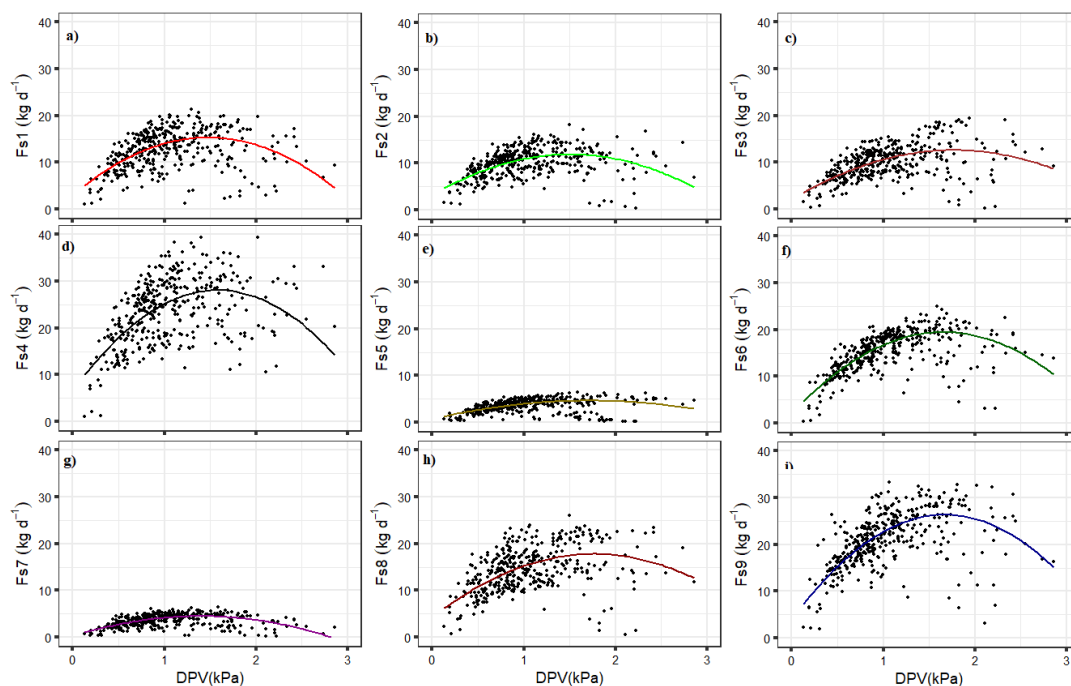


Figura 17. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (F_s , kg d^{-1}) as variações diárias no déficit de pressão de vapor (DPV, kPa): (a) F_{s1} -fluxo para HS1; (b) F_{s2} -fluxo para HS2; (c) F_{s3} -fluxo para HS3; (d) F_{s4} -fluxo para HS4; (e) F_{s5} -fluxo para HS5; (f) F_{s6} -fluxo para HS6; (g) F_{s7} -fluxo para HS7; (h) F_{s8} -fluxo para HS8; (i) F_{s9} -fluxo para HS9.

Tabela 3. Modelos ajustados que descrevem a resposta do F_s às variações do DPV.

$F_{s1} = -5,65 * DPV^2 + 16,69 * DPV + 3,01$; $R^2 = 0,24$; $P < 0,001$
$F_{s2} = -3,85 * DPV^2 + 11,57 * DPV + 3,17$; $R^2 = 0,22$; $P < 0,001$
$F_{s3} = -3,36 * DPV^2 + 11,92 * DPV + 2,04$; $R^2 = 0,27$; $P < 0,001$
$F_{s4} = -8,58 * DPV^2 + 27,19 * DPV + 6,54$; $R^2 = 0,31$; $P < 0,001$
$F_{s5} = -1,33 * DPV^2 + 4,56 * DPV + 0,71$; $R^2 = 0,13$; $P < 0,001$
$F_{s6} = -6,33 * DPV^2 + 21,02 * DPV + 2,04$; $R^2 = 0,48$; $P < 0,001$
$F_{s7} = -2,19 * DPV^2 + 6,12 * DPV + 0,21$; $R^2 = 0,28$; $P < 0,001$
$F_{s8} = -4,35 * DPV^2 + 15,36 * DPV + 4,22$; $R^2 = 0,25$; $P < 0,001$
$F_{s9} = -8,04 * DPV^2 + 26,89 * DPV + 3,87$; $R^2 = 0,40$; $P < 0,001$

A figura 18 mostra que a relação entre F_s e R_g foi não linear ($p < 0,001$; $R^2 = 0,16-0,35$; Tabela4). F_s mostrou um crescimento quase linear para uma faixa de valores de $R_g < 10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$. Abaixo deste limiar o incremento unitário da radiação solar, porém sob ótimas condições de teor de água no solo (LEO et al., 2014), e valores relativamente baixos de DPV causou aumento nas taxas de F_s na ordem de 5% para F_{s5} e F_{s7} (ambas árvores de pequeno porte e situadas debaixo do dossel); 15% para

$Fs2$, $Fs3$ e $Fs8$ (embora, árvores de maior porte mas que possuem interceptação parcial da radiação ao nível do dossel); 20% para $Fs1$; 25% para $Fs6$ e $Fs9$; e 35% para $Fs4$.

A umidade do solo pode ser um fator crítico para Fs , pois a condição de maior disponibilidade de água no solo além de favorecer o movimento ascendente de Fs pode favorecer a condutância estomática do dossel sob condição ascendente da radiação solar (WIESER et al., 2014; 2015). Verificamos que, para valores de $Rg > 10 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, as taxas de Fs diminuíram, uma possível explicação para essa diminuição deve ser o reflexo da redução da condutância estomática do dossel impulsionada pelo aumento do DPV.

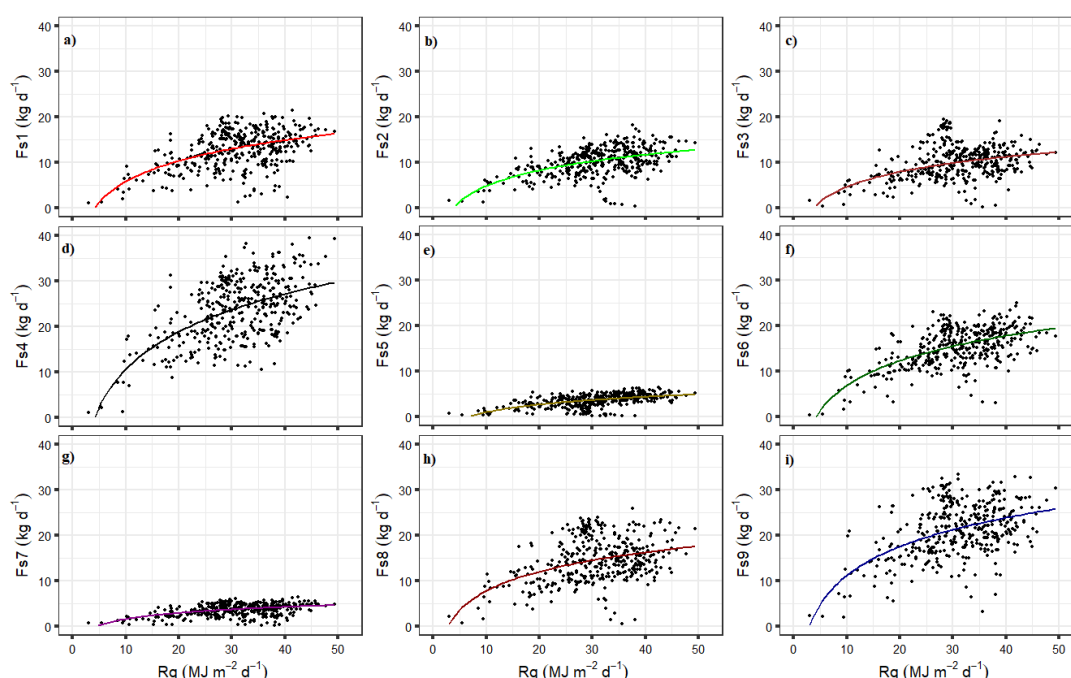


Figura 18. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (Fs , kg d^{-1}) às variações na radiação solar diária total (Rg , $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$): (a) $Fs1$ -fluxo para HS1; (b) $Fs2$ -fluxo para HS2; (c) $Fs3$ -fluxo para HS3; (d) $Fs4$ -fluxo para HS4; (e) $Fs5$ -fluxo para HS5; (f) $Fs6$ -fluxo para HS6; (g) $Fs7$ -fluxo para HS7; (h) $Fs8$ -fluxo para HS8; (i) $Fs9$ -fluxo para HS9.

Tabela 4. Modelos ajustados que descrevem a resposta do Fs às variações de Rg .

$Fs1 = 6,51 * \log(Rg) - 9,16$; $R^2 = 0,25$; $P < 0,001$
$Fs2 = 4,96 * \log(Rg) - 6,61$; $R^2 = 0,26$; $P < 0,001$
$Fs3 = 4,69 * \log(Rg) - 6,13$; $R^2 = 0,16$; $P < 0,001$
$Fs4 = 11,92 * \log(Rg) - 16,85$; $R^2 = 0,33$; $P < 0,001$
$Fs5 = 2,43 * \log(Rg) - 4,61$; $R^2 = 0,29$; $P < 0,001$
$Fs6 = 7,82 * \log(Rg) - 11,12$; $R^2 = 0,35$; $P < 0,001$

$Fs7 = 1,91 * \log(Rg) - 2,80 ; R^2 = 0,20; P<0,001$
$Fs8 = 6,05 * \log(Rg) - 6,09 ; R^2 = 0,17; P<0,001$
$Fs9 = 9,06 * \log(Rg) - 9,61 ; R^2 = 0,23; P<0,001$

4.4. VARIAÇÃO SAZONAL NO DIÂMETRO E O DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE

A dinâmica de variação do diâmetro do caule é o resultado da interação entre fatores ambientais e processos fisiológicos da planta. A variação do diâmetro do caule apresentou um padrão sazonal sincronizado com as mudanças das condições ambientais. Tendências de crescimento foram observadas pela primeira vez em finais setembro de 2018 (Figura 19c). Crescimentos radiais contínuos, impulsionados pelo aumento dos eventos de chuva, foram observados entre novembro de 2018 a maio de 2019, quando foram atingidos seus valores máximos e, novamente voltaram a crescer a partir de 10 de dezembro de 2019. O diâmetro do caule diminuiu ligeiramente a partir do início de maio até agosto de 2019. De agosto e setembro, a variação no diâmetro do caule foi mínima. Em meados de dezembro de 2019, aumento drasticamente durante alguns dias, possivelmente associado aos impulsos da precipitação (Figura 19a).

Verificou-se que as maiores flutuações no diâmetro do jatobá foram associadas à maior disponibilidade de água durante a estação chuvosa. O diâmetro do caule mostrou tendências de crescimento ao longo do período chuvoso, o que significa que os compartimentos de armazenamento de água no caule podem ter sido reabastecidos (Figura 19c). Entretanto, o aumento no déficit hídrico do caule durante a estação seca ($TWD=15,5-75,0$ mm; 2018) e ($TWD=52,5-125,5$ mm; 2019) coincidiu com a redução no CAS, tendo apresentado maior déficit durante a estação seca de 2019, que provavelmente foi relacionado à redução do conteúdo de água no solo dos ($4,11\pm1,46\%$) em 2018 para ($4,01\pm1,48\%$) em 2019.

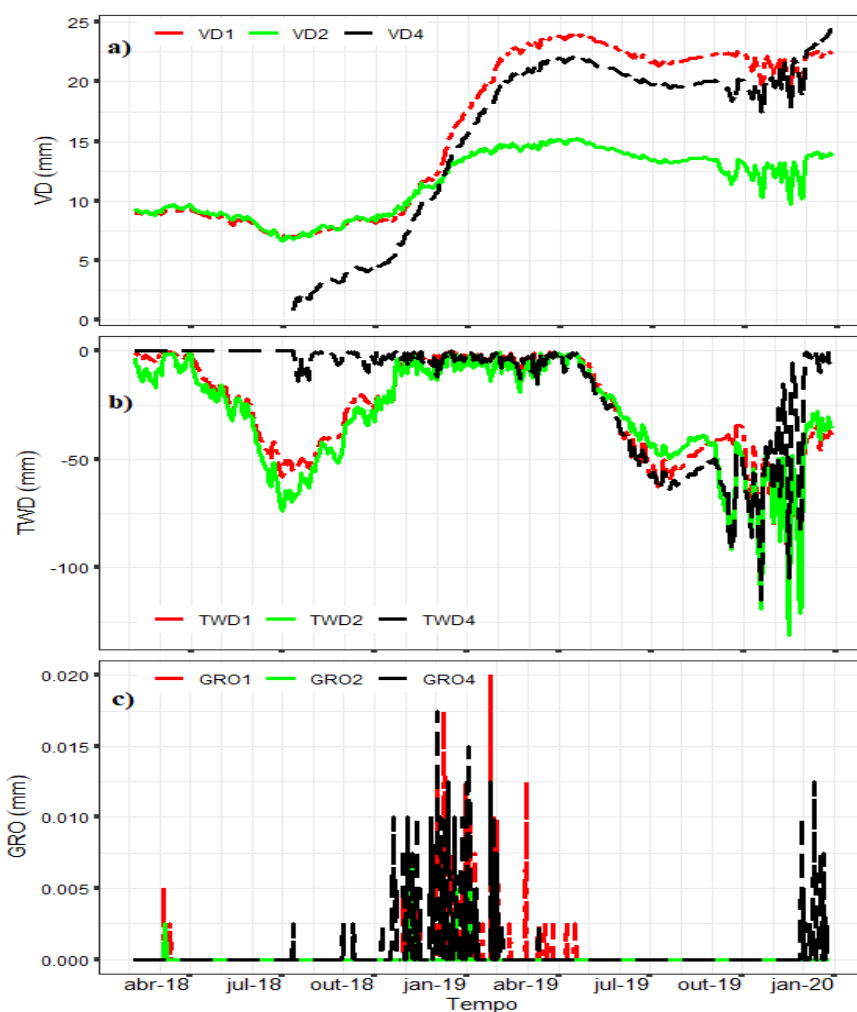


Figura 19. Séries temporais de: (a) variação diária média no diâmetro do caule (VD, mm); (b) déficit hídrico diário acumulado no caule (TWD, mm) e (c) crescimento diário acumulado no diâmetro do caule (GRO, mm). Em que, VD1- variação diária média no diâmetro para HS1; VD2- variação diária média no diâmetro para HS2; VD4 - variação diária média no diâmetro para HS4; TWD1- déficit hídrico diário acumulado para HS1; TWD2- déficit hídrico diário acumulado para HS2; TWD4- déficit hídrico diário acumulado para HS4; GRO1- crescimento diário acumulado no diâmetro para HS1; GRO2- crescimento diário acumulado no diâmetro para HS2 e GRO4- crescimento diário acumulado no diâmetro para HS4.

4.5. SENSIBILIDADE DO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE AS VARIAÇÕES AMBIENTAIS

O surgimento da estação seca levou as árvores a desenvolverem déficits hídricos maiores (TWD). Diariamente o TWD mostrou uma relação inversa com o CAS, aproximando-se de zero (ou seja, estado de completa hidratação) para valores de CAS acima dos 4,0% (Figura 20). Um melhor ajuste foi obtido pela função exponencial para a relação TWD-CAS ($p < 0,001$; $R^2 = 0,26-0,46$; Tabela 5). A sensibilidade do TWD às variações no CAS, foi observada através de uma rápida diminuição em uma faixa de CAS $< 4,0\%$. Abaixo deste limiar a cada incremento unitário no CAS resultou na redução em 34% para TWD1; 28% para TWD2 e 36% para TWD4. As árvores localizadas na borda do dossel apresentaram reduções mais rápidas (TWD1 e TWD4) ao suprimento de água pelo solo, em comparação a árvore *HS2* (TWD2) que se encontrava no meio de outras árvores e provavelmente sujeita à competição na captação de água no solo, o que pode levar a um processo lento da recarga dos seus compartimentos de armazenamento de água no caule.

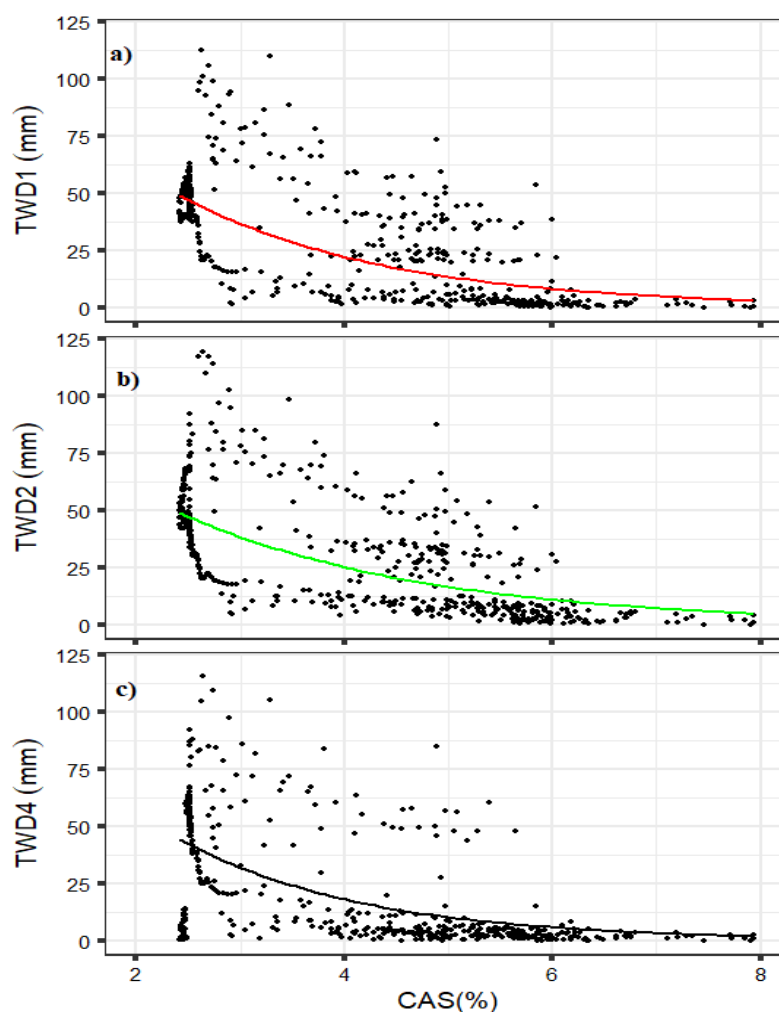


Figura 20. Resposta do esgotamento da água no caule (TWD) às variações do conteúdo de água no solo (CAS): (a) TWD1- esgotamento para HS1; (b) TWD2- esgotamento para HS2 e (c) TWD4- esgotamento para HS4.

Tabela 5. Modelos ajustados que descrevem a resposta do TWD às variações do CAS.

$TWD1 = 161,94 * \exp(-0,50 * CAS) ; R^2 = 0,46; P < 0,001$
$TWD2 = 133,84 * \exp(-0,41 * CAS) ; R^2 = 0,41; P < 0,001$
$TWD4 = 171,57 * \exp(-0,56 * CAS) ; R^2 = 0,36; P < 0,001$

Neste estudo, foi estabelecido uma relação funcional logística entre o déficit hídrico do caule (TWD) e o déficit de pressão de vapor (DPV), pelo que, foi observado que 23 a 30% da variação do TWD foi explicado pelas variações do DPV. Com base na figura 21, TWD aumentou rapidamente para valores de DPV=1,0 kPa e atingiu o

valor máximo ($DPV=2,0$ kPa) antes de estabilizar. Além disso, é possível observar claramente que as árvores foram capazes de manter ou aumentar ligeiramente o diâmetro de caule, para valores de $DPV<1,0$ kPa. Em contraste, com o aumento da demanda evaporativa atmosférica ($DPV>1,0$ kPa), resultou em um aumento na ordem de 19% para TWD2 e de 20% para TWD1e TWD4, o que sugere um declínio acentuado no diâmetro do caule, que tende a diminuir a medida que o DPV se aproxima de 2 kPa. Essa tendência de diminuição e a posterior estabilização do TWD para valores de DPV superiores a 2,0 kPa, pode ser uma consequência clara do reflexo da regulação estomática parcial durante o dia, que aconteceu com a limitação das taxas de fluxo de seiva (F_s) a partir de 1,5 kPa, o que leva com que a deslocação da água dos compartimentos para alimentar as correntes de transpiração no xilema tendem a cessar, levando assim a uma estabilização no conteúdo de água nos compartimentos de armazenamento do caule.

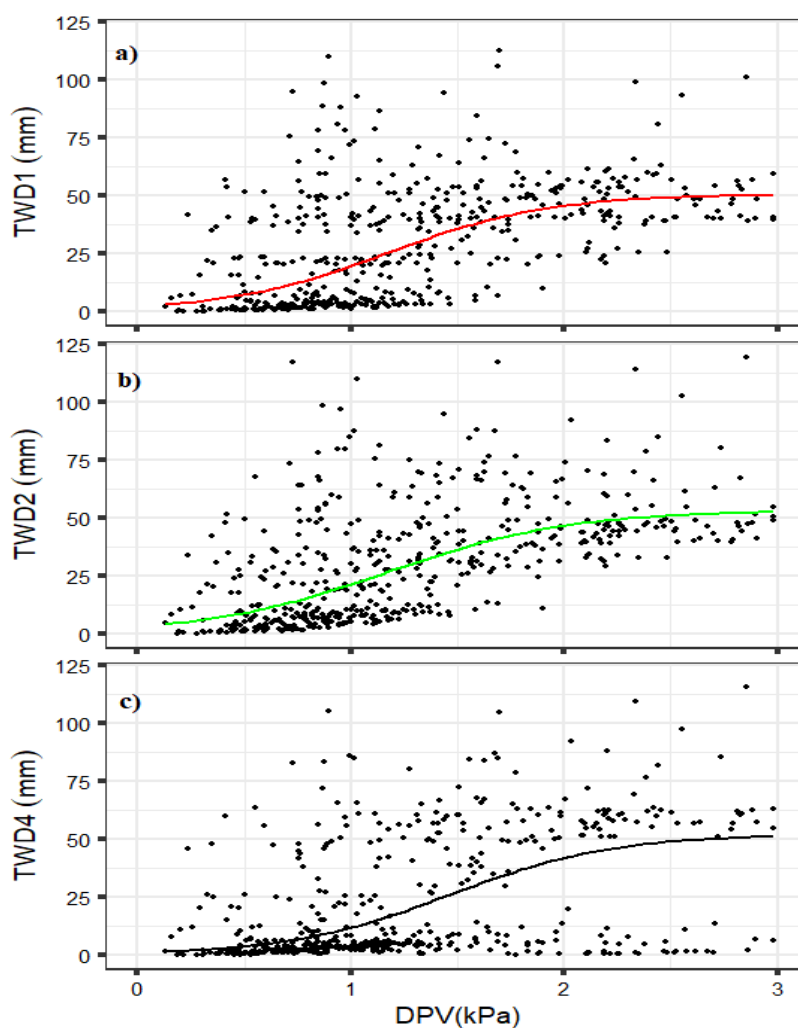


Figura 21. Resposta do esgotamento da água no caule (TWD) às variações do déficit de pressão de vapor (DPV): (a) TWD1- esgotamento para HS1; (b) TWD2- esgotamento para HS2 e (c) TWD4- esgotamento para HS4.

Tabela 6. Modelos ajustados que descrevem a resposta do TWD às variações do DPV.

$TWD1 = 48,78 / (1 + \exp ((1,15 - DPV) / 0,35))$; $R^2 = 0,30$; $P < 0,001$
$TWD2 = 51,06 / (1 + \exp ((1,13 - DPV) / 0,40))$; $R^2 = 0,29$; $P < 0,001$
$TWD4 = 50,58 / (1 + \exp ((1,44 - DPV) / 0,37))$; $R^2 = 0,23$; $P < 0,001$

4.6. SENSIBILIDADE DO FLUXO AO DÉFICIT HÍDRICO DO CAULE

O TWD é considerado um ótimo índice para analisar as respostas do diâmetro do caule à perda de água pelos troncos das árvores. Como indicador de contração do

diâmetro do caule, o TWD é capaz de refletir as alterações do F_s (TIAN et al., 2019). Como mostrado na Figura 22 e Tabela 7, F_s respondeu significativamente às variações do TWD ($p < 0,001$; $R^2 = 0,04-0,14$). Além disso, F_s mostrou uma resposta quase linear dentro de uma faixa de $TWD < 50$ mm, indicando que a variação do fluxo de seiva é sensível as variações do conteúdo de água armazenada no caule (SEVANTO et al., 2008). No entanto, acima deste limiar F_s tende a estabilizar. Entretanto, esta estabilização nos valores de F_s pode estar associada à otimização de uso de água através da coordenação entre a capacitância e o fluxo vertical de água no xilema sob condições de alta demanda evaporativa atmosférica ($DPV > 1,5$ kPa).

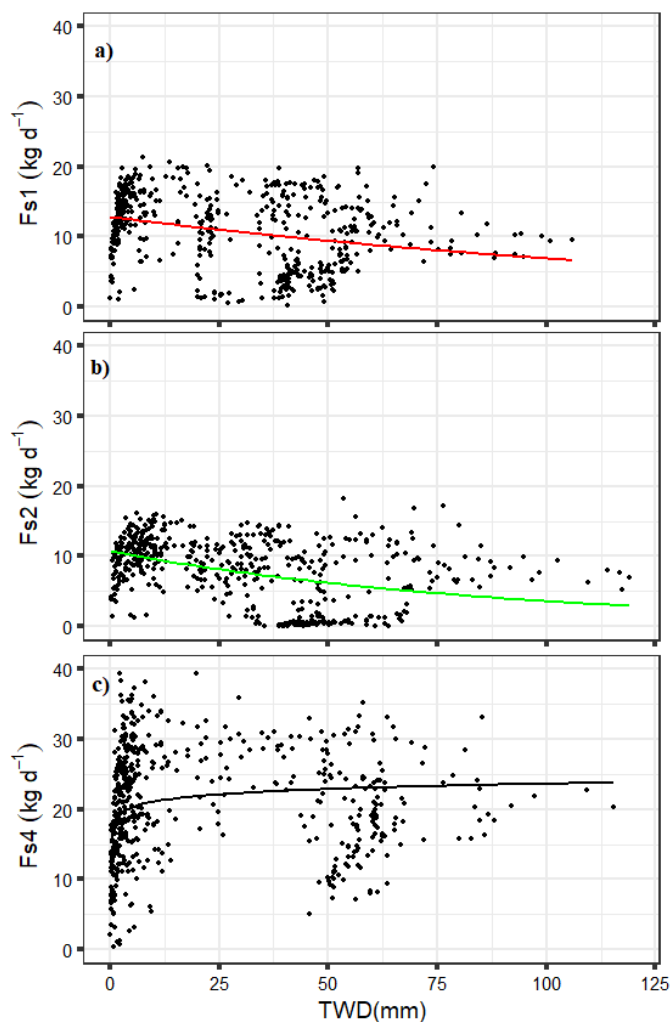


Figura 22. Resposta do fluxo de seiva que atravessa a área condutora do xilema (F_s) ao esgotamento de água no caule (TWD): (a) F_{s1} -fluxo para HS1; (b) F_{s2} -fluxo para HS2; (c) F_{s4} -fluxo para HS4.

Tabela 7. Modelos ajustados que descrevem a resposta do F_s às variações do TWD.

$F_{s1} = 10,72 * \exp (-0,01 * TWD1); R^2 = 0,13; P < 0,01$
$F_{s2} = 10,72 * \exp (-0,01 * TWD2); R^2 = 0,14; P < 0,001$
$F_{s4} = 1,10 * \log(TWD4) + 18,56 + 0,87 * TWD4 + 17,53; R^2 = 0,04; P < 0,001$

5. CONCLUSÃO

Neste estudo procuramos entender como a espécie *Hymenaea stigonocarpa* (jatobá) responde às alterações ambientais do cerrado brasileiro. Nossos resultados apoiam a nossa hipótese de que as condições ambientais estressantes do cerrado como baixa disponibilidade de água no solo, alta demanda evaporativa atmosférica e a incapacidade do jatobá em acessar as camadas mais profundas do solo causam restrições no uso de água pelas árvores da espécie.

As curvas de resposta de F_s e TWD as variações ambientais revelaram restrições no uso diário de água, sob condições de $DPV > 1,5$ kPa e de $R_g > 10$ MJ m⁻² d⁻¹. Entretanto, a análise de regressão usando as variáveis ambientais como preditoras mostrou que o DPV explicou entre 13 e 48% da variação de F_s , enquanto que, CAS explicou entre 26 e 46% da variação de TWD.

Apesar das diferenças nas características do transporte de água associadas ao tamanho das árvores, essa diferença não foi traduzida em diferentes respostas às variações das condições ambientais, sugerindo que não existe uma variabilidade interespecífica nas respostas aos estímulos ambientais entre as árvores.

As características de variação sazonal do fluxo de seiva face as variações ambientais foram amplamente distintas, tendo F_s reduzido em quase 50% durante a estação seca, o que sugere maior sensibilidade do fluxo de seiva à seca.

6. RECOMENDAÇÕES

Apesar do nosso estudo revelar as implicações das variações das condições ambientais na dinâmica do fluxo de seiva e do armazenamento de água no caule do jatobá, estudos futuros devem abordar a dinâmica da captação de água no solo, o desenvolvimento radicular desta e outras espécies no local de estudo, o que permitirá prever melhor a dinâmica de resposta de diferentes espécies à eventos extremos e aferir as implicações das mudanças climáticas futuras sobre a dinâmica do ecossistema florestal nesta porção do Cerrado Mato-grossense.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMOROZO, M. C. de M. Uso e diversidade de plantas medicinais em Santo Antônio do Leverger, MT, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 189-203, 2002.

ANNIE DESLAURIERS, TOMMASO ANFODILLO, SERGIO ROSSI, VINICIO CARRARO, Using simple causal modeling to understand how water and temperature affect daily stem radial variation in trees, *Tree Physiology*, Volume 27, Issue 8, August 2007, Pages 1125–1136, <https://doi.org/10.1093/treephys/27.8.1125>

APARECIDO, L.M.T.; DOS SANTOS, J.; HIGUCHI, N.; KUNERT, N. 2015. Ecological applications of differences in the hydraulic efficiency of palms and broad-leaved trees. *Trees*, 29: 1431-1445.

BAERT, A., VILLEZ, K., & STEPPE, K. (2013). Automatic drought stress detection in grapevines without using conventional threshold values. *Plant and soil*, 369(1-2), 439-452.

BAERT, A., VILLEZ, K., & STEPPE, K. (2013). Automatic drought stress detection in grapevines without using conventional threshold values. *Plant and soil*, 369(1-2), 439-452.

BEEDLOW, P. A.; WASCHMANN, R.S.; LEE, E.H.; TINGEY, D.T. Seasonal patterns of bole water content in old growth Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Agric. For. Meteorol.* 2017, 242, 109–119.

BEEDLOW, P.A.; WASCHMANN, R.S.; LEE, E.H.; TINGEY, D.T. Seasonal patterns of bole water content in old growth Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). *Agric. For. Meteorol.* 2017, 242, 109–119.

BENYON, R. G., MARCAR, N. E., THEIVEYANATHAN, S., TUNNINGLEY, W. M., & NICHOLSON, A. T. (2001). Species differences in transpiration on a saline discharge site. *Agricultural Water Management*, 50(1), 65-81.

BRINKMANN, N., EUGSTER, W., ZWEIFEL, R., Buchmann, N., & Kahmen, A. (2016). Temperate tree species show identical response in tree water deficit but different sensitivities in sap flow to summer soil drying. *Tree Physiology*, 36(12), 1508-1519.

BRITO, P., LORENZO, J. R., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Á. M., MORALES, D., WIESER, G., & JIMENEZ, M. S. (2014). Canopy transpiration of a *Pinus canariensis* forest at the tree line: implications for its distribution under predicted climate warming. *European journal of forest research*, 133(3), 491-500.

BRITO, P., LORENZO, J. R., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Á. M., MORALES, D., WIESER, G., & JIMÉNEZ, M. S. (2015). Canopy transpiration of a semi-arid *Pinus canariensis* forest at a tree line ecotone in two hydrologically contrasting years. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 120-127.

BUSTAMANTE, M. M. D. C., NARDOTO, G. B., PINTO, A. S., RESENDE, J. C. F., TAKAHASHI, F. S. C., & VIEIRA, L. C. G. (2012). Potential impacts of climate change on biogeochemical functioning of Cerrado ecosystems. *Brazilian Journal of Biology*, 72(3), 655-671.

CARVALHO, P. E. R. (2007). Jatobá-do-cerrado-*Hymenaea stigonocarpa*. *Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E)*.

CERMÁK, J.; KUCERA, J.; BAUERLE, W.; PHILLIPS, N.; HINCKLEY, T.M. Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. *Tree Physiol.* 2007, 27, 181–198.

CHANG, X., ZHAO, W., & HE, Z. (2014). Radial pattern of sap flow and response to microclimate and soil moisture in Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) in the upper Heihe

River Basin of arid northwestern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 187, 14-21.

CHANG, X., ZHAO, W., LIU, H., WEI, X., LIU, B., & HE, Z. (2014). Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) forest transpiration and canopy conductance in the upper Heihe River Basin of arid northwestern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 198, 209-220.

CHANG, X.; ZHAO, W.; HE, Z. Radial pattern of sap flow and response to microclimate and soil moisture in Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) in the upper Heihe River Basin of arid Northwestern China. *Agric. For. Meteorol.* 2014, 187, 14–21.

CHEN, D., WANG, Y., LIU, S., WEI, X., & WANG, X. (2014). Response of relative sap flow to meteorological factors under different soil moisture conditions in rainfed jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) plantations in semiarid Northwest China. *Agricultural Water Management*, 136, 23-33.

CHEN, D., WANG, Y., LIU, S., WEI, X., & WANG, X. (2014). Response of relative sap flow to meteorological factors under different soil moisture conditions in rainfed jujube (*Ziziphus jujuba* Mill.) plantations in semiarid Northwest China. *Agricultural Water Management*, 136, 23-33.

CHIRINO, E., BELLOT, J., & SÁNCHEZ, J. R. (2011). Daily sap flow rate as an indicator of drought avoidance mechanisms in five Mediterranean perennial species in semi-arid southeastern Spain. *Trees*, 25(4), 593-606.

COHEN, S., WHEELER, J., & HOLBROOK, N. M. (2012). The radial and azimuthal (or tangential) distribution of sap velocity in tree stems-Why and can we predict it? In *VIII International Symposium on Sap Flow* 951 (pp. 131-137).

COSTA, A.C., REZENDE-SILVA, S.L., MEGGUER, C.A. *et al.* The effect of irradiance and water restriction on photosynthesis in young jatobá-do-cerrado (*Hymenaea stigonocarpa*) plants. *Photosynthetica* **53**, 118–127 (2015). <https://doi.org/10.1007/s11099-015-0085-6>

CUNY HE, RATHGEBER CBK, Frank D et al. (2015) Woody biomass production lags stem-girth increase by over one month in coniferous forests. *Nat Plants* 1:1–6.

DE ASSIS, A. C. C., COELHO, R. M., DA SILVA PINHEIRO, E., & DURIGAN, G. (2011). Water availability determines physiognomic gradient in an area of low-fertility soils under Cerrado vegetation. *Plant Ecology*, 212(7), 1135-1147.

DE SWAEF T, DE SCHEPPER V, VANDEGEHUCHTE MW, STEPPE K (2015) Stem diameter variations as a versatile research tool in ecophysiology. *Tree Physiol* 35:1047–1061.

DE SWAEF T, DE SCHEPPER V, VANDEGEHUCHTE MW, STEPPE K (2015) Stem diameter variations as a versatile research tool in ecophysiology. *Tree Physiol* 35:1047–1061.

DEVINE, W. D., & HARRINGTON, C. A. (2011). Factors affecting diurnal stem contraction in young Douglas-fir. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 414-419.

DEVINE, W. D., & HARRINGTON, C. A. (2011). Factors affecting diurnal stem contraction in young Douglas-fir. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 414-419.

DIETRICH, L., ZWEIFEL, R., & KAHMEN, A. (2018). Daily stem diameter variations can predict the canopy water status of mature temperate trees. *Tree Physiology*, 38(7), 941-952. doi:10.1093/treephys/tpy023

DREW, D. M., RICHARDS, A. E., DOWNES, G. M., COOK, G. D., & BAKER, P. (2011). The development of seasonal tree water deficit in *Callitris intratropica*. *Tree physiology*, 31(9), 953-964.

DREW, D. M., RICHARDS, A. E., DOWNES, G. M., COOK, G. D., & BAKER, P. (2011). The development of seasonal tree water deficit in *Callitris intratropica*. *Tree physiology*, 31(9), 953-964.

DREW, D. M., RICHARDS, A. E., DOWNES, G. M., COOK, G. D., & BAKER, P. (2011). The development of seasonal tree water deficit in *Callitris intratropica*. *Tree physiology*, 31(9), 953-964.

DU, S., WANG, Y. L., KUME, T., ZHANG, J. G., OTSUKI, K., YAMANAKA, N., & LIU, G. B. (2011). Sapflow characteristics and climatic responses in three forest

species in the semiarid Loess Plateau region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(1), 1-10.

DU, S., WANG, Y. L., KUME, T., ZHANG, J. G., OTSUKI, K., YAMANAKA, N., & LIU, G. B. (2011). Sapflow characteristics and climatic responses in three forest species in the semiarid Loess Plateau region of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(1), 1-10.

DURIGAN, G., & RATTER, J. A. (2006). Successional changes in cerrado and cerrado/forest ecotonal vegetation in western São Paulo State, Brazil, 1962–2000. *Edinburgh Journal of Botany*, 63(1), 119-130.

EHRENBERGER, W., RÜGER, S., FITZKE, R., VOLLENWEIDER, P., GÜNTHARDT-GOERG, M., KUSTER, T., ... & AREND, M. (2012). Concomitant dendrometer and leaf patch pressure probe measurements reveal the effect of microclimate and soil moisture on diurnal stem water and leaf turgor variations in young oak trees. *Functional Plant Biology*, 39(4), 297-305.

EWE, S. M., DA SL STERNBERG, L., & CHILDERS, D. L. (2007). Seasonal plant water uptake patterns in the saline southeast Everglades ecotone. *Oecologia*, 152(4), 607-616.

FELFILI, J. M.; NOGUEIRA, P. E.; SILVA JÚNIOR, M. C. da; MARIMON, B. S.; DELITTI, W. B. C. Composição florística e fitossociologia do Cerrado sentido restrito no Município de Água Boa - MT. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 103-112, 2002.

FELFILI, J. M.; SILVA JÚNIOR, M. C. da; NOGUEIRA, P. E. Levantamento da vegetação arbórea na região de Nova Xavantina, MT. *Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer*, Brasília, DF, v. 3, p. 63-81, 1998.

FURLEY, P. A. (1999). The nature and diversity of neotropical savanna vegetation with particular reference to the Brazilian cerrados. *Global Ecology and Biogeography*, 8(3-4), 223-241.

GEA-IZQUIERDO, G., FONTI, P., CHERUBINI, P., MARTÍN-BENITO, D., CHAAR, H., & CAÑELLAS, I. (2012). Xylem hydraulic adjustment and growth

response of *Quercus canariensis* Willd. to climatic variability. *Tree Physiology*, 32(4), 401-413.

GUARIM NETO, G. Plantas do Brasil: angiospermas do Estado de Mato Grosso - I. Rodriguésia, Rio de Janeiro, v. 36, n. 59, p. 105-121, 1984.

HARIDASAN, M. (2008). Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20(3), 183-195.

HERNANDEZ-SANTANA, V., FERNÁNDEZ, J. E., RODRIGUEZ-DOMINGUEZ, C. M., ROMERO, R., & DIAZ-ESPEJO, A. (2016). The dynamics of radial sap flux density reflects changes in stomatal conductance in response to soil and air water deficit. *Agricultural and forest meteorology*, 218, 92-101.

KING G, FONTI P, NIEVERGELT D, BUENTGEN U, FRANK D. 2013. Climatic drivers of hourly to yearly tree radius variations along a 6°C natural warming gradient. *Agricultural and Forest Meteorology* 168: 36–46.

KING G, FONTI P, NIEVERGELT D, BÜNTGEN U, FRANK D. 2013. Climatic drivers of hourly to yearly tree radius variations along a 6°C natural warming gradient. *Agric For Meteorol.* 168:36–46. DOI:10.1016/j.agrformet.2012.08.002.

KLINK, C. A., & MACHADO, R. B. (2005). Conservation of the Brazilian cerrado. *Conservation biology*, 19(3), 707-713.

KÖCHER, P., GEBAUER, T., HORNA, V., & LEUSCHNER, C. (2009). Leaf water status and stem xylem flux in relation to soil drought in five temperate broad-leaved tree species with contrasting water use strategies. *Annals of Forest Science*, 66(1), 1.

KÖCHER, P., HORNA, V., & LEUSCHNER, C. (2013). Stem water storage in five coexisting temperate broad-leaved tree species: significance, temporal dynamics and dependence on tree functional traits. *Tree physiology*, 33(8), 817-832.

KÖCHER, P., HORNA, V., & LEUSCHNER, C. (2013). Stem water storage in five coexisting temperate broad-leaved tree species: significance, temporal dynamics and dependence on tree functional traits. *Tree physiology*, 33(8), 817-832.

KUME, T., TAKIZAWA, H., YOSHIFUJI, N., TANAKA, K., TANTASIRIN, C., TANAKA, N., & SUZUKI, M. (2007). Impact of soil drought on sap flow and water

status of evergreen trees in a tropical monsoon forest in northern Thailand. *Forest Ecology and Management*, 238(1-3), 220-230.

LAMBERS, H., CHAPIN, F. S., & PONS, T. L. MC BRUNDRETT, JA RAVEN & SD HOPPER. 2010. Plant mineral nutrition in ancient landscapes: high plant species diversity on infertile soils is linked to functional diversity for nutritional strategies. *Plant Soil*, 334, 11-31.

LEO, M., OBERHUBER, W., SCHUSTER, R., GRAMS, T. E., MATYSSEK, R., & WIESER, G. (2014). Evaluating the effect of plant water availability on inner alpine coniferous trees based on sap flow measurements. *European journal of forest research*, 133(4), 691-698.

LI W, Yu TF, Li XY, Zhao CY (2016) Sap flow characteristics and their response to environmental variables in a desert riparian forest along lower Heihe River Basin, Northwest China. *Environ Monit Assess* 188:561

LIU, C., DU, T., LI, F., KANG, S., LI, S., & TONG, L. (2012). Trunk sap flow characteristics during two growth stages of apple tree and its relationships with affecting factors in an arid region of northwest China. *Agricultural Water Management*, 104, 193-202.

LIU, C., DU, T., LI, F., KANG, S., LI, S., & TONG, L. (2012). Trunk sap flow characteristics during two growth stages of apple tree and its relationships with affecting factors in an arid region of northwest China. *Agricultural Water Management*, 104, 193-202.

LLOYD, J., GOULDEN, M. L., OMETTO, J. P., PATIÑO, S., FYLLAS, N. M., & QUESADA, C. A. (2013). Ecophysiology of forest and savanna vegetation. *Amazonia and global change*, (a), 463-484.

MARIMON, B. S.; LIMA, E. de S. Caracterização fitofisionômica e levantamento florístico preliminar no Pantanal dos Rios Mortes, Araguaia e Cocalinho, Mato Grosso, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 213-229, 2001.

MARIMON, B. S.; VARELLA, R. F.; MARIMON JÚNIOR, BENHUR. Fitossociologia de uma área de cerrado de encosta em Nova Xavantina, Mato Grosso. Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer, Brasília, DF, v. 3, p. 82-101, 1998.

MEINZER, F. C. (2003). Functional convergence in plant responses to the environment. *Oecologia*, 134(1), 1-11.

MEINZER, F. C., GOLDSTEIN, G., FRANCO, A. C., BUSTAMANTE, M., IGLER, E., Jackson, P., ... & RUNDEL, P. W. (1999). Atmospheric and hydraulic limitations on transpiration in Brazilian cerrado woody species. *Functional Ecology*, 13(2), 273-282.

MIATTO, R. C., WRIGHT, I. J., & BATALHA, M. A. (2016). Relationships between soil nutrient status and nutrient-related leaf traits in Brazilian cerrado and seasonal forest communities. *Plant and soil*, 404(1-2), 13-33.

NASR, Z., WOO, S. Y., ZINEDDINE, M., KHALDI, A., & REJEB, M. N. (2011). Sap flow estimates of *Quercus suber* according to climatic conditions in north Tunisia. *African Journal of Agricultural Research*, 6(20), 4705-4710.

OBERHUBER, W., HAMMERLE, A., & KOFLER, W. (2015b). Tree water status and growth of saplings and mature Norway spruce (*Picea abies*) at a dry distribution limit. *Frontiers in plant science*, 6, 703.

OBERHUBER, W., KOFLER, W., SCHUSTER, R., & WIESER, G. (2015a). Environmental effects on stem water deficit in co-occurring conifers exposed to soil dryness. *International journal of biometeorology*, 59(4), 417-426.

O'BRIEN, J. J., OBERBAUER, S. F., & CLARK, D. B. (2004). Whole tree xylem sap flow responses to multiple environmental variables in a wet tropical forest. *Plant, Cell & Environment*, 27(5), 551-567.

OLIVEIRA FILHO, A. T. de. Composição florística e estrutura comunitária da floresta de galeria do Córrego da Paciência, Cuiabá (MT). *Acta Botânica Brasílica*, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 91-112, 1989.

OLIVEIRA FILHO, A. T. de; MARTINS, F. R. Distribuição, caracterização e composição florística das formações vegetais da região da Salgadeira, na Chapada dos

Guimarães (MT). *Revista Brasileira de Botânica*, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 207- 223, 1986.

PENG, X., FAN, J., WANG, Q., & WARRINGTON, D. (2015). Discrepancy of sap flow in *Salix matsudana* grown under different soil textures in the water-wind erosion crisscross region on the Loess Plateau. *Plant and Soil*, 390(1-2), 383-399.

PERÄMÄKI, M., NIKINMAA, E., SEVANTO, S., ILVESNIEMI, H., SIIVOLA, E., HARI, P., & VESALA, T. (2001). Tree stem diameter variations and transpiration in Scots pine: an analysis using a dynamic sap flow model. *Tree Physiology*, 21(12-13), 889-897.

PERÄMÄKI, M., VESALA, T., & NIKINMAA, E. (2005). Modeling the dynamics of pressure propagation and diameter variation in tree sapwood. *Tree Physiology*, 25(9), 1091-1099.

RADAMBRASIL, 1982. Levantamentos dos Recursos Naturais Ministério das Minas de Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD 21 Cuiabá, Rio de Janeiro.

RENNINGER, H. J., PHILLIPS, N., & SALVUCCI, G. D. (2010). Wet-vs. dry-season transpiration in an Amazonian rain forest palm *Iriartea deltoidea*. *Biotropica*, 42(4), 470-478.

RODRIGUES, T.R., DE PAULO, S.R., NOVAIS, J.W.Z., CURADO, L.F.A., NOGUEIRA, J.S., DE OLIVEIRA, R.G., LOBO, F.A., VOURLITIS, G.L., 2013. Temporal patterns of energy balance for a Brazilian tropical savanna under contrasting seasonal conditions. *Int. J. Atmos. Sci.* 2013, 9, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/326010>, Article ID 326010.

RODRIGUES, T.R., VOURLITIS, G.L., LOBO, F.A., OLIVEIRA, R.G., NOGUEIRA, J.S., 2014. Seasonal variation in energy balance and canopy conductance for a tropical savanna ecosystem of south-central Mato Grosso, Brazil. *J. Geophys. Res. (Biogeoscience)*, <http://dx.doi.org/10.1002/2013JG002472>.

- ROMERO-SALTOS, H., STERNBERG, L. D. S., MOREIRA, M. Z., & NEPSTAD, D. C. (2005). Rainfall exclusion in an eastern Amazonian forest alters soil water movement and depth of water uptake. *American journal of botany*, 92(3), 443-455.
- ROSSATTO, D. R., SILVA, L. D. C. R., VILLALOBOS-Vega, R., STERNBERG, L. D. S. L., & FRANCO, A. C. (2012). Depth of water uptake in woody plants relates to groundwater level and vegetation structure along a topographic gradient in a neotropical savanna. *Environmental and Experimental Botany*, 77, 259-266.
- SANKARAN, M., HANAN, N. P., SCHOLE, R. J., RATNAM, J., AUGUSTINE, D. J., CADE, B. S., ... & Ardo, J. (2005). Determinants of woody cover in African savannas. *Nature*, 438(7069), 846-849.
- SCHÄFER, C., THURM, E. A., RÖTZER, T., KALLENBACH, C., & PRETZSCH, H. (2018). Daily stem water deficit of Norway spruce and European beech in intra-and interspecific neighborhood under heavy drought. *Scandinavian journal of forest research*, 33(6), 568-582.
- SEVANTO, S., NIKINMAA, E., RIIKONEN, A., DALEY, M., PETTIJOHN, J. C., MIKKELSEN, T. N., ... & HOLBROOK, N. M. (2008). Linking xylem diameter variations with sap flow measurements. *Plant and Soil*, 305(1-2), 77-90.
- SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I., & EITEN, G. (1987). hectare of cerrado. I. General aspects of the trees and thick-stemmed shrubs. In *Phyton: Annales rei botanicae*.
- SINGH, K. P., & KUSHWAHA, C. P. (2016). Deciduousness in tropical trees and its potential as indicator of climate change: A review. *Ecological indicators*, 69, 699-706.
- STEPPE K, DE PAUW DJW, LEMEUR R, VANROLLEGHEM PA (2006) A mathematical model linking tree sap flow dynamics to daily stem diameter fluctuations and radial stem growth. *Tree Physiol* 26:257–273.
- STEPPE K, DE PAUW DJW, SAVEYN A, TAHON P, NADEZHDINA N, CERMAK J, LEMEUR R (2009) Radial sap flux profiles and beyond: an easy software analysis tool. In: Fernandez E, Diaz Espejo A (eds) VII international workshop on sap flow. International Society for Horticultural Science, Leuven, pp 85–91.

STEPPE, K., DE PAUW, D. J., DOODY, T. M., & TESKEY, R. O. (2010). A comparison of sap flux density using thermal dissipation, heat pulse velocity and heat field deformation methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(7-8), 1046-1056.

STEPPE, K.; DE PAUW, D.J.; LEMEURE, R.; VANROLLEGHEM, P.A. A mathematical model linking tree sap flow dynamics to daily stem diameter fluctuations and radial stem growth. *Tree Physiol.* 2006, 26, 257–273.

TELANDER, A. C., SLESAK, R. A., D'AMATO, A. W., PALIK, B. J., BROOKS, K. N., & LENHART, C. F. (2015). Sap flow of black ash in wetland forests of northern Minnesota, USA: Hydrologic implications of tree mortality due to emerald ash borer. *Agricultural and Forest Meteorology*, 206, 4-11.

TIAN, Q., HE, Z., XIAO, S., DU, J., PENG, X., CHEN, L., ... & DING, A. (2018). Growing Season Stem Water Status Assessment of Qinghai Spruce through the Sap Flow and Stem Radial Variations in the Qilian Mountains of China. *Forests*, 9(1), 2.

TIAN, Y., ZHANG, Q., LIU, X., MENG, M., & WANG, B. (2019). The relationship between stem diameter shrinkage and tree bole moisture loss due to transpiration. *Forests*, 10(3), 290.

URRUTIA-JALABERT, R., ROSSI, S., DESLAURIERS, A., MALHI, Y., & LARA, A. (2015). Environmental correlates of stem radius change in the endangered *Fitzroya cupressoides* forests of southern Chile. *Agricultural and forest meteorology*, 200, 209-221.

VAN DE WAL, B. A., GUYOT, A., LOVELOCK, C. E., LOCKINGTON, D. A., & STEPPE, K. (2015). Influence of temporospatial variation in sap flux density on estimates of whole-tree water use in *Avicennia marina*. *Trees*, 29(1), 215-222.

VIEIRA, J., ROSSI, S., CAMPELO, F., FREITAS, H., & NABAIS, C. (2013). Seasonal and daily cycles of stem radial variation of *Pinus pinaster* in a drought-prone environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 180, 173-181.

VILLALOBOS-VEGA, R. (2010). Water table and nutrient dynamics in neotropical savannas and wetland ecosystems.

WIESER, G., GRUBER, A., & OBERHUBER, W. (2014). Sap flow characteristics and whole-tree water use of *Pinus cembra* across the treeline ecotone of the central Tyrolean Alps. *European journal of forest research*, 133(2), 287-295.

WIESER, G.; GRAMS, T.E.; MATYSSEK, R.; OBERHUBER, W.; GRUBER, A. (2015). Soil warming increased whole-tree water use of *Pinus cembra* at the treeline in the Central Tyrolean Alps. *Tree Physiol.* 2015, 35, 279–288.

ZWEIFEL, R., HAENI, M., BUCHMANN, N., & EUGSTER, W. (2016). Are trees able to grow in periods of stem shrinkage? *New Phytologist*, 211(3), 839-849.

ZWEIFEL, R., STEPPE, K., & STERCK, F. J. (2007). Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model. *Journal of Experimental Botany*, 58(8), 2113-2131.

ZWEIFEL, R., ZIMMERMANN, L., & NEWBERY, D. M. (2005). Modeling tree water deficit from microclimate: an approach to quantifying drought stress. *Tree physiology*, 25(2), 147-156.

ZWEIFEL, R.; ZIMMERMANN, L.; ZEUGIN, F.; NEWBERY, D.M. Intra-annual radial growth and water relations of trees: Implications towards a growth mechanism. *J. Exp. Bot.* 2006, 57, 1445–1459.