



Controle da umidade do solo sobre o déficit de água no caule de *Vochysia divergens* Pohl no Pantanal Mato-grossense⁽¹⁾.

Fernando da Silva Sallo⁽²⁾; Luciana Sanches⁽³⁾; Vanessa Rakel de Moraes Dias⁽⁴⁾; Rafael da Silva Palácios⁽⁵⁾; José de Souza Nogueira⁽⁶⁾.

⁽¹⁾Trabalho executado com recursos do Processo CNPq 457824/2013-1 e do Processo CNPq Universal 476880/2010-6
⁽²⁾Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso; fdss88@gmail.com; ⁽³⁾Professora do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso; ⁽⁴⁾Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso; ⁽⁵⁾Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso; ⁽⁶⁾Professor do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso.

RESUMO: Este trabalho investigou o controle exercido pela umidade do solo sobre o déficit de água no caule de *Vochysia divergens* Pohl, em uma área sazonalmente inundável no Pantanal Mato-grossense. Utilizando dados de dendrômetros automáticos de alta resolução estimou-se o déficit de água no caule e correlacionou-se com umidade do solo por meio de regressão multilinear. Com os resultados, concluiu-se que a umidade do solo foi a principal variável controladora do déficit de água no caule/árvore, podendo ser também um fator importante na sazonalidade do ciclo anual de *Vochysia divergens* Pohl.

Termos de indexação: umidade volumétrica, sazonalidade, áreas alagáveis.

INTRODUÇÃO

A umidade do solo é uma variável que controla inúmeros processos físicos, químicos e biológicos, influenciando aqueles relacionados ao próprio solo até outros processos mais gerais associados a interação biosfera-atmosfera (Seneviratne et al., 2010). A mineralização de nutrientes, principalmente nitrogênio, a produção de matéria orgânica em ecossistemas florestais (Levia et al., 2011), a respiração do solo, a evapotranspiração, a produção de serapilheira (Levia et al., 2011; Johnson et al., 2013), além da dinâmica dos fluxos de calor e massa (que pode desencadear chuvas convectivas) à superfície são alguns dos processos que podem ser controlados pela umidade do solo (Siqueira, et al., 2009).

No Pantanal Mato-grossense a umidade do solo é espacialmente variável, pois essa região possui muitos recursos d'água intermitentes ou mesmo efêmeros (Girard et al., 2010). Essa região apresenta forte sazonalidade com período de chuva (outubro a abril) e período seco (maio a setembro) (Fantin-Cruz et al., 2011). A umidade do solo é afetada diretamente como consequência da sazonalidade, desta forma, importantes mudanças ocorrem na interação entre o solo e a vegetação. A

alta variabilidade espacial da umidade no solo contribui para formação de um mosaico de paisagens com fitofisionomias diferentes (Zeilhofer e Schessi, 2000).

As florestas com dominância relativa de *Vochysia divergens* Pohl são umas das fitofisionomias representes na região, e é caracterizada como espécie invasora, contudo, conhecida também por alta capacidade de transpiração mesmo em períodos de seca (Sanches et al., 2011; Dalmagro et al., 2013).

Uma maneira de verificar o impacto da variação da umidade do solo sobre a vegetação é através de medidas da variação do armazenamento de água no caule por meio de dendrometria de alta resolução (Zweifel et al., 2000; Cermak et al., 2007), em que é possível extrair a tendência de crescimento arbóreo resultando no chamado déficit de água do caule (Drew et al., 2011; Zweifel et al., 2005). O déficit de água no caule representa maior transpiração do que captação de água pelas raízes em um certo período. Como já mencionado, o déficit de água está intimamente associado à disponibilidade de água e ao tipo de solo, podendo interferir diretamente na fotossíntese, produtividade primária e, conseqüentemente, o crescimento (Osório et al., 2002). O déficit de água no caule pode ser também entendido como déficit de água na árvore (Zweifel et al., 2005), pois o caule é o maior compartimento de reversa de água da árvore. Portanto, objetivou-se neste trabalho, um entendimento da associação entre umidade do solo e o déficit de água no caule/árvore por meio de metodologias adequadas na tentativa de descrever o déficit em função da umidade do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição do local de estudo

Este estudo foi desenvolvido em uma área situada dentro da Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) do Serviço Social do Comércio (SESC) localizada entre as latitudes 16°29'04" S e 16°29'10" S e longitudes 56°25'25" O e 56°25'39" O,



aproximadamente 160 km de Cuiabá - Mato Grosso no Norte do Pantanal. A área de estudo é caracterizada por floresta de abundância relativa de *Vochysia divergens* Pohl (51,20%), seguido das espécies *Mouriri elliptica* Mart. (26,20%) e *Licania parvifolia* Huber (9,5%) entre outras

A área de estudo tem o solo caracterizado como franco argiloso e argiloso que são solos com maior porosidade total e grande quantidade de microporos, em relação aos solos arenosos que tem grande volume de macroporos (Meurer, 2006). Conseqüentemente, as propriedades hidráulicas deste solo respondem da mesma maneira. Muitos ambientes de áreas alagadas possuem baixa condutividade hidráulica (Berry et al., 2011).

Instrumentação

A umidade do solo, expressado como umidade volumétrica do solo (US) ($m^3 m^{-3}$), foi medida por um reflectômetro no domínio do tempo - TDR (CS650, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, US) instalado a 30 cm de profundidade do solo. Medidas do nível da lâmina d'água coletadas por um transdutor de pressão (CS450, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, US) para constatação do período de inundação. As medidas foram coletadas a cada 15 minutos e armazenadas em um *datalogger* (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, US). Sensores dendrométricos automáticos de alta resolução (DBL60, ICTInternatinal, Armidale, NSW, AU) foram instalados na altura do diâmetro à altura do peito ($DAP = 1,3$ m) em três indivíduos de *Vochysia divergens* Pohl com diâmetros de 0,436, 0,40 e 0,48 m, para medição e armazenamento da variação radial do caule (VRC).

Tratamento dos dados

Para o estudo, utilizou-se dados de VRC de junho de 2013 até início de janeiro de 2014 (dia juliano 152 a 20), em que a umidade volumétrica do solo (US) apresentou variações consideráveis.

Para verificar as variações em VRC causadas pela variação no conteúdo de água do caule/árvore, a tendência de crescimento foi removida utilizando uma abordagem descrito por Zweifel et al. (2005), obtendo-se o déficit de água no caule (ΔW). O ΔW foi calculado como a diferença entre o caule sob condições de seca relativa e o caule completamente hidratado. Assumiu-se que no início do período em estudo, o caule estivesse completamente hidratado, apresentando um ΔW igual a zero

Os dados de US e ΔW foram pareados fazendo-se médias diárias, as quais foram utilizadas na análise estatística.

Análise estatística

Regressões multilinear entre ΔW e US foram realizadas a fim de expressar uma função de US (variável independente) que descrevesse as variações em ΔW ao longo do tempo. Buscou-se uma expressão que fornecesse um bom ajuste e significância estatística. Várias funções foram testadas como logaritmos, exponenciais e polinômios. As análises estatísticas foram realizadas usando o *software R* (pacote *stats*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade do solo apresentou variação sazonal, a partir de julho a diminuindo progressivamente até as primeiras chuvas verificadas em outubro (**Figura 1**). Mesmo sendo uma planície alagável durante os meses mais chuvosos, janeiro a maio, a umidade do solo apresentou oscilações consideráveis no período que não esteve inundado. A amplitude em US foi de $0,23 m^3 m^{-3}$ entre os meses secos e úmidos, em que a US máxima e mínima foi 0,46 e $0,23 m^3 m^{-3}$, respectivamente. Os valores máximos e mínimos de US foram considerados altos quando comparados ao de US em áreas mais altas topograficamente, onde os solos pantaneiros que não são inundáveis (Johnson et al., 2013).

O nível da lâmina d'água sobre o solo (**Figura 1**) variou de 0 a 0,79 m, atingindo a saturação do solo a partir de meados de janeiro quando o nível de água começou a aumentar, permanecendo inundado até maio de 2014. O nível de lâmina da água e a saturação do solo definiram o período de análise de ΔW conforme área sombreada nas Figuras 1 e 2.

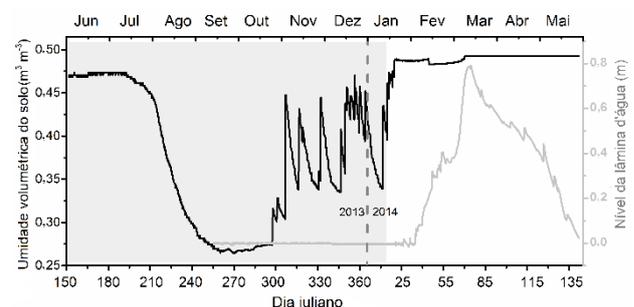


Figura 1 - Umidade volumétrica do solo e nível de lâmina d'água a cada 15 minutos em área sazonalmente inundável no Pantanal Mato-grossense de julho de 2013 a janeiro de 2014. A Área sombreada compreende o período definido para a análise em VRC (Dia juliano 152 - 20).

O déficit de água no caule (ΔW) variou entre 0 e $-0,61$ mm em termo radiais, quanto mais negativo for o valor de ΔW , maior a magnitude do déficit. A

redução radial do caule provocada pela diminuição na reserva de água teve início em julho com déficit máximo alcançado em meados de setembro, dia juliano 272. A partir de então, o déficit de água do caule voltou a diminuir atingindo completa hidratação no início de novembro, dia juliano 316 (**Figura 2b**), coincidindo com os picos máximos de conteúdo de água do solo. A magnitude da redução de reserva de água no caule apresentou ampla variação, sendo as menores magnitudes da ordem de $-0,6$ mm observadas em regiões de sazonalidade amena na Noruega (Zweifel et al., 2005) até magnitudes de $-1,6$ mm, onde a sazonalidade é mais marcante, como regiões mediterrâneas (Vieira et al., 2013).

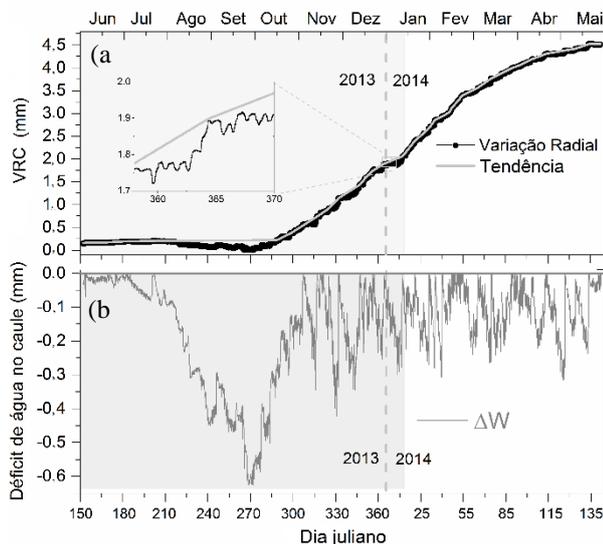


Figura 2. (a) Variação do radial do caule (VRC, mm), e VRC com a extração da tendência de crescimento, (b) Déficit de água no caule (ΔW , mm). A área sombreada corresponde ao período de análise de ΔW .

Um polinômio de segundo grau com US satisfaz adequadamente critérios de ajuste e significância estatística na descrição de ΔW . A regressão multilinear entre ΔW e US foi altamente significativa (p -valor $< 0,001$) para todos os parâmetros além de bom ajuste (**Tabela 1**), evidenciando alto acoplamento entre ΔW e US. Alguns picos ocorridos em ΔW entre anos dias julianos 190 e 280 não foram bem representados pelo modelo de regressão (**Figura 3**), indicando que tais variações não foram causadas pelo efeito das alterações em US.

A relação entre ΔW e US foi significativa ($R^2=0,81$) em que ΔW abrange não apenas a estação seca, mas parte da estação chuvosa de (2013-2014).

Estudos analisaram ΔW -nas estações secas e úmidas separadamente, obtendo correlações lineares satisfatórias ($R^2 = 0,53$ e $0,92$) (Zweifel et al. 2005).

Uma estreita relação entre ΔW e US pode ser explicada pela diminuição do potencial mátrico do solo (mais negativo) e da condutividade hidráulica, ao passo que US decresce, dificultando a captação de água pelas raízes. Provavelmente, os efeitos causados por variáveis hidrometeorológicas como temperatura do ar e do solo e/ou déficit de pressão de vapor de água são relevantes. Estudos indicam que quedas na temperatura do ar ou déficit de pressão de vapor d'água afetam diretamente a hidratação da árvore (King et al., 2013; Volland-Voigt et al., 2011). Estimativas do ΔW usando modelo empíricos são também baseados em variáveis climáticas. Drew et al. (2011) utilizaram a umidade relativa do ar, temperatura do ar e potencial de água no solo a fim de abranger a maioria das oscilações em ΔW . Zweifel et al. (2005) apresentaram um modelo baseado na física do processo de transporte de água solo-plantas usando déficit de pressão de vapor de potencial de água no solo.

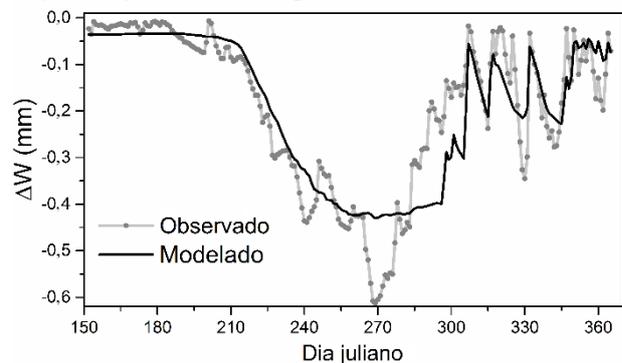


Figura 3. Variações diárias no déficit de água no caule (ΔW) observados e modelados por regressão multilinear usando US diária entre os dias juliano 152 (2013) e 20 (2014).

Tabela 1. Parâmetros estimados e estatística da regressão multilinear usando umidade do solo.

	Modelo Multilinear		$R^2_{adj.} = 0,814$	
	Coef. ^{1/2}	E.P. ³	Valor-F	Pr>F
Interc. ^{1/1}	-1,816	0,159	---	---
US	-7,028	1,198	898,7	<0,001
US ²	7,092	0,891	34,38	<0,001

^{1/1} intercepto; ^{2/2} coeficientes; ^{3/3} erro padrão

Este cenário, favorece mais perdas por transpiração que absorção de água pelas raízes, causando déficit de água na árvore. Sabe-se que em solos insaturados e argilosos a capacidade de



retenção de água é maior comparado a solos siltosos (Tepper et al., 2003), além disso, o potencial de água no solo variou exponencialmente com a umidade do solo, dessa forma, um decréscimo pequeno em US causaria um impacto substancial no potencial. Sendo o potencial de água na árvore maior que o potencial do solo, a árvore deve perder água para manter a captação de água pelas raízes diminuindo assim o valor de ΔW .

Devido à significativa relação entre a umidade do solo e o déficit de água no caule e dependendo da severidade do período de seca (períodos muito longos sem chuvas), processos como fotossíntese, transpiração, produtividade primária e taxa crescimento devem ser impactados, sugerindo que a umidade do solo e/ou a disponibilidade de água no solo deve ser fator principal na sazonalidade de *Vochysia divergens* Pohl.

CONCLUSÕES

Conclui-se que a umidade do solo foi a principal variável explicativa na variação do déficit de água no caule de *Vochysia divergens* Pohl entre junho (2013) e janeiro (2014), contudo, outras variáveis podem estar envolvidas. Ademais, a disponibilidade ou a umidade do solo pode ser um fator controlador da sazonalidade de *V. divergens* no ciclo anual desta espécie.

REFERÊNCIAS

- CERMAK, J.; KUCERA, J.; BAUERLE, W.L.; 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.* 27 (2): 181–198, 2007.
- DALMAGRO, H.J.; LOBO, F.A.; VOURLITIS, G.L.; DALMOLIN, A.C.; ANTUNES JR, M.Z.; ORTÍZ, C.E.R.; NOGUEIRA, S.J. Photosynthetic parameters of two invasive tree species of the Brazilian Pantanal in response to seasonal flooding. *Photosynthetica* 51 (2): 281–294, 2013.
- DREW, D.M.; RICHARDS, A.E.; DOWNES, G.M.; COOK, G.D.; BAKER, P. The development of seasonal tree water deficit in *Callitris intratropica*. *Tree Physiol.* 31 (9): 953–964, 2011.
- FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; CASTRO, N. M. R.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S.K. Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks. *Journal of Hydrology* 399: 376–384, 2011.
- GIRARD, P.; FANTIN-CRUZ, I.; DE OLIVEIRA, S. M. L.; HAMILTON, S. K. Small-scale spatial variation of inundation dynamics in a floodplain of the Pantanal (Brazil). *Hydrobiologia* 638: 223–233, 2010.
- JOHNSON, M. S.; COUTO, E. G.; OSVALDO B. PINTO JR, O.B.; MILESI, J.; AMORIM, R.S.S.; MESSIAS, M.A.I.; BIUDES, M. S. Soil CO₂ Dynamics in a Tree Island Soil of the Pantanal: The Role of Soil Water Potential, *PLoS ONE* 8(6): e64874, 2013.
- KING, G.; FONTI, P.; NIEVERGELT, D.; BUNGTEN, U.; FRANK, D. Climatic drivers of hourly to yearly tree radius variations along a 6 °C natural warming gradient. *Agricultural and Forest Meteorology* 168: 36–46, 2013.
- LEVIA, D. F.(ED.); CARLYLE, D. E TANAKA, T. (CO-ED). *Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions*. Ecological Studies, 216, Springer, 2011. 740p.
- OSORIO, M.L. CARVALHO, I. FARIA, T.; PINHEIRO, C.; How plants cope with water stress in the field? *Photosynthesis and growth*. *Ann Bot.* 89: 907–916, 2002.
- SANCHES, L.; VOURLITIS, G.L.; ALVES, M.C.; PINTO-JÚNIOR, O.B.; NOGUEIRA, J.S.; Seasonal Patterns of Evapotranspiration for a *Vochysia divergens* Forest in the Brazilian Pantanal. *Wetlands* 31: 1215 – 1225, 2011.
- SENEVIRATNE, S.I.; CORTI, T.; DAVIN, E. L.; HIRSCHI, M.; JAEGER, E.B.; LEHNER, I.; ORLOWSKY, B.; TEULING, A.J.; Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews* 99: 125–161, 2010. doi:10.1016/j.earscirev.2010.02.004.
- SIQUEIRA, M.; KATUL, G.; PORPORATO, A.; Soil Moisture Feedbacks on Convection Triggers: The Role of Soil–Plant Hydrodynamics. *Journal of Hydrometeorology*, 10: 96–112, 2009.
- VIEIRA, J.; ROSSI, S.; CAMPELO, F.; FREITAS, H.; NABAIS, C.; Seasonal and daily cycles of stem radial variation of *Pinus pinaster* in a drought-prone environment. *Agricultural and Forest Meteorology* 180: 173–181, 2013.
- VOLLAND-VOIGT, F.; BRAUNING, A.; GANZHI, O.; PETERS, T.; MAZA, H.; Radial stem variations of *Tabebuia chrysantha* (Bignoniaceae) in different tropical forest ecosystems of southern Ecuador. *Trees* 25: 39–48, 2011.
- ZEILHOFER P, SCHESSL M.; Relationship between vegetation and environmental conditions in the Northern Pantanal of Mato Grosso, Brazil. *Journal of Biogeography* 27:159 – 168, 2001.
- ZWEIFEL, R.; ITEM, H.; HASLER, R.; Stem radius changes and their relation to stored water in stems of young Norway spruce trees. *Trees* 15 (1): 50–57, 2000.
- ZWEIFEL, R.; ZIMMERMANN, L.; NEWBERY, D.M. Modeling tree water deficit from microclimate: an approach to quantifying drought stress. *Tree Physiol.* 25 (2): 147–156, 2005.
- TEEPE, R. DILLING, H.; BEESE F. Estimating water retention curves of forest soil from soil texture and bulk density. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166: 111–119, 2003.
- MEURER, E. J. *Fundamentos da química do solo*. 3. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2006.
- BERRY, L. E.; MUTITI, S.; HAZZARD, S. Determining the Hydraulic Conductivity of the Subsurface in Wetland Environments. In: American Geophysical Union, Fall Meeting 2011, H33E-1353, 2011.