



# EFEITO DO ALAGAMENTO DO SOLO NO CRESCIMENTO E NA MORFOLOGIA DE 4 ESPÉCIES NATIVAS TROPICAIS DA FLORESTA ATLÂNTICA BRASILEIRA

V.C. Oliveira

C.A. Joly

Universidade Estadual de Campinas, IB, Departamento de Biologia Vegetal, CP 6109, 13083 - 970, Campinas, SP, Brasil  
endereço eletrônico: vivicamila@yahoo.com.br

## INTRODUÇÃO

O alagamento induz uma série de alterações físico - químicas e biológicas no solo, sendo a principal delas a rápida redução na quantidade de oxigênio disponível para a respiração radicular (Drew 1997) restringindo dessa forma o crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal (Pezeshki 2001).

Entretanto, a sensibilidade ao alagamento do solo pode variar de acordo com o tipo, duração e intensidade do estresse, bem como da espécie e do estágio de desenvolvimento da planta. Até mesmo considerando somente espécies nativas tropicais, a extensão dos danos ocasionados pela saturação hídrica do solo é bastante ampla (Joly 1991).

A manutenção da capacidade de acumular biomassa e sobreviver sobre tais condições tem sido explicada por diferentes mecanismos que podem incluir alterações anatômicas, morfológicas e metabólicas. Durante a evolução, diferentes espécies vegetais têm desenvolvido uma variedade de estratégias que as capacitam a ocupar áreas sujeitas a alagamento do solo e, na maioria dos casos, as estratégias de sucesso combinam ajustes anatômicos, morfológicos e fisiológicos a esta condição de estresse (Joly 1991). A tolerância ao alagamento está relacionada com a capacidade da espécie em sobreviver e/ou crescer em solos naturalmente sujeitos a saturação hídrica, mas a ocorrência de sintomas de injúria é bastante comum mesmo nestas espécies (Kozlowski 1997).

O conhecimento sobre as características ecofisiológicas e as estratégias que permitem a sobrevivência das espécies que ocupam ambientes submetidos a condições de estresse é indispensável para que se possam direcionar estudos e programas sobre a preservação de áreas naturais e restauração de áreas já degradadas. Em áreas tropicais ainda há uma grande lacuna com relação a estes dados (Clark & Clark 1987, Heideman 1989, Scarano *et al.*, 1997), particularmente na Floresta Atlântica Brasileira, considerada *hotspot* para conservação (Myers *et al.*, 2000). No contexto da Floresta Atlântica Brasileira, os ambientes sujeitos a alagamentos do solo, como Restingas, são ainda mais pobremente

estudados (Scarano *et al.*, 1997).

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho, portanto, foi avaliar os efeitos do alagamento do solo no acúmulo de biomassa e na morfologia externa de 4 espécies nativas tropicais bastante representativas em ambientes da Floresta Atlântica Brasileira sujeitos a esta condição, mais especificamente nas espécies *Guapira opposita*, *Gutteria gomeziana*, *Nectandra opositifolia* e *Alchornea triplinervia*.

## MATERIAL E MÉTODOS

**Condições de crescimento**-Frutos de *Guapira opposita*, *Gutteria gomeziana*, *Nectandra opositifolia* e *Alchornea triplinervia* foram coletadas de várias matrizes na Restinga do Núcleo Picinguaba (23°21'S e 44°51'W) no Parque Estadual da Serra do Mar, localizado no município de Ubatuba/SP, Brasil. O clima da região é tropical úmido, com precipitações ao longo do ano todo, mas principalmente nos meses de dezembro a março, quando o solo é alagado e o sistema radicular e parte do sistema aéreo da maioria das plantas são submetidos a hipoxia e/ou anoxia.

As espécies escolhidas para este trabalho apresentam elevado índice de valor de importância na área em que foram coletados os frutos (Lacerda 2001) e por serem bastante representativas *a priori* suportam períodos de alagamentos do solo sazonais.

Os frutos foram despolpados e colocados para germinar em sacos plásticos de 2L contendo areia grossa lavada, mantidos em Casa de Vegetação, irrigados 2 vezes por dia até a capacidade de campo. Quando as plantas atingiram cerca de 6 meses, foram separadas em dois tratamentos: (1) plantas não alagadas, que continuaram a ser irrigadas até a capacidade de campo e (2) plantas alagadas, que foram transferidas para tanques contendo água cerca de 3cm acima do nível do solo como descrito por Joly & Crawford (1982). A

cada semana a água dos tanques foi trocada para evitar a proliferação de algas.

**Acúmulo de biomassa e alterações morfológicas**—O crescimento foi avaliado através da determinação da área e número de folhas, altura da parte aérea e massa seca de folhas, caule e raízes. No início do experimento foram utilizadas 5 plantas para determinação do crescimento (valores de referência) e novas determinações foram realizadas após 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias após a imposição dos tratamentos quando possível. A área foliar foi obtida de imagens escaneadas e convertidas pelo programa AREA 2.1 (Copyright 1992 by Carlos Bravo) e o número de folhas foi contado. A altura das plantas foi medida com régua milimetrada, da base até a ápice do caule. Para a determinação da massa seca as plantas foram mantidas por 2 dias em estufa a 80°C e em seguida pesadas em balança analítica. Semanalmente, foram observadas e descritas as mudanças na morfologia externa das plantas alagadas em comparação às plantas não alagadas, tais como hipertrofia de lenticelas, formação de raízes adventícias e abscisão foliar.

**Análise estatística**—As diferenças estatísticas entre os tratamentos foram determinadas através Análise de Variância 2 fatores, seguida do Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ) como descrito por Sokal & Rohlf (1995) e Zar (1999).

## RESULTADOS

Diferentes sintomas indicativos de injúria foram observados nas plantas alagadas das 4 espécies estudadas. Tais sintomas incluem clorose e abscisão foliar e perda do sistema radicular original. Devido à mortalidade das plantas alagadas de *G. opposita* e *G. gomeziana* foi possível acompanhar o efeito do alagamento no crescimento destas duas espécies somente por 90 dias.

Os indivíduos alagados de *G. opposita* apresentaram hipertrofia de lenticelas já nas primeiras semanas após a instalação do tratamento. O alagamento do solo por 90 dias afetou negativamente o crescimento em altura ( $F = 62,5581$ ,  $P < 0,0001$ ), o número de folhas ( $F = 3,5999$ ,  $P = 0,0235$ ) e a expansão foliar ( $F = 56,5866$ ,  $P < 0,0001$ ), resultando na redução da altura e área foliar total de plantas alagadas em 59,7% e 76%, respectivamente, comparada a das plantas não alagadas. O alagamento também ocasionou a redução do incremento de matéria seca do caule ( $F = 26,35$ ,  $P = 0,0001$ ), folhas ( $F = 63,0562$ ,  $P < 0,0001$ ), raízes ( $F = 39,43845$ ,  $P < 0,0001$ ) e conseqüentemente, do incremento em massa seca total ( $F = 49,1769$ ,  $P < 0,0001$ ), sendo que a massa seca total de plantas alagadas durante 90 dias foi 76,79% menor em relação a de plantas não alagadas. O número de folhas e a área foliar total das plantas alagadas durante 90 dias foi menor se comparado ao das plantas no início do experimento, em função da abscisão foliar. Somente em relação ao número de folhas é que não foi verificada interação entre tratamento e duração do tratamento ( $F = 1,3968$ ,  $P = 0,2609$ ).

Os indivíduos alagados de *G. gomeziana* apresentaram reduções significativas no crescimento a partir de 60 dias de experimento. O alagamento resultou na redução do incremento em altura ( $F = 158,8193$ ,  $P < 0,0001$ ), do número de folhas ( $F = 41,9136$ ,  $P < 0,0001$ ), da expansão foliar ( $F =$

$143,8697$ ,  $P < 0,0001$ ) e da massa seca de caule ( $F = 64,4048$ ,  $P < 0,0001$ ), folhas ( $F = 115,7823$ ,  $P < 0,0001$ ) e raízes ( $F = 98,4586$ ,  $P < 0,0001$ ); conseqüentemente a massa seca total também foi reduzida pelo alagamento do solo ( $F = 104,7132$ ,  $P < 0,0001$ ). Tais reduções foram bastante significativas, tanto que a massa seca total de plantas alagadas durante 90 dias foi 93,46% menor em relação a de plantas não alagadas avaliadas neste mesmo período. Foi verificada interação entre tratamento e duração do tratamento em relação a todos os parâmetros avaliados ( $P < 0,0002$ ).

Foi observada a hipertrofia de lenticelas em indivíduos alagados de *N. oppositifolia* já nas primeiras semanas após a imposição do tratamento. Não foram observadas mortes de indivíduos alagados desta espécie, portanto, puderam ser acompanhados os efeitos do alagamento do solo durante 180 dias. O alagamento por 180 dias afetou negativamente o crescimento em altura ( $F = 18,6055$ ,  $P < 0,0001$ ), o número de folhas ( $F = 27,3212$ ,  $P < 0,0001$ ) e a expansão foliar ( $F = 49,4359$ ,  $P < 0,0001$ ), resultando na redução da altura e área foliar total de plantas alagadas em 25,5% e 46,89%, respectivamente, comparada a das plantas não alagadas. O alagamento também ocasionou a redução do incremento de matéria seca do caule ( $F = 11,7817$ ,  $P = 0,0015$ ), folhas ( $F = 31,1308$ ,  $P < 0,0001$ ), raízes ( $F = 8,3335$ ,  $P = 0,0057$ ) e conseqüentemente, do incremento em massa seca total ( $F = 45,5929$ ,  $P < 0,0001$ ), sendo que a massa seca total de plantas alagadas durante 180 dias foi 57,49% menor em relação a de plantas não alagadas. A área foliar total das plantas alagadas durante 180 dias foi menor se comparado ao das plantas não alagadas neste mesmo período, em função da redução da expansão foliar, pois não foi observada abscisão foliar. Em relação à altura, ao número de folhas e à massa seca do caule não foi verificada interação entre tratamento e duração do tratamento ( $F = 1,5848$ ,  $P = 0,1681$ ;  $F = 1,2885$ ,  $P = 0,2768$ ;  $F = 1,3052$ ,  $P = 0,2694$  respectivamente).

Já nas primeiras semanas após a imposição do estresse houve o início da hipertrofia de lenticelas na base do caule e na raiz principal e do desenvolvimento de raízes adventícias bastante pronunciado em *A. triplinervia*. Não foram observadas mortes tanto entre os indivíduos não alagados como entre os alagados. O sistema radicular original, consideravelmente necrosado no início do alagamento, foi praticamente todo substituído por um novo sistema radicular, com raízes mais superficiais, de aspecto esponjoso e provavelmente com menores taxas metabólicas. O alagamento do solo ocasionou reduções no incremento em altura ( $F = 29,1044$ ,  $P < 0,0001$ ), no número de folhas ( $F = 38,2423$ ,  $P < 0,0001$ ) e na expansão foliar ( $F = 28,1096$ ,  $P < 0,0001$ ). O alagamento também ocasionou a redução do incremento de matéria seca de folhas ( $F = 31,1308$ ,  $P < 0,0001$ ), raízes ( $F = 8,3335$ ,  $P = 0,0057$ ) e conseqüentemente, do incremento em massa seca total ( $F = 45,5929$ ,  $P < 0,0001$ ). Somente não foi afetado o incremento em matéria seca do caule ( $F = 0,7187$ ,  $P = 0,5940$ ). Houve interação entre tratamento e duração dos tratamentos em relação à altura ( $F = 3,8369$ ,  $P = 0,0041$ ) e à área foliar total ( $F = 2,3959$ ,  $P = 0,0437$ ), mas não em relação ao número de folhas ( $F = 2,1986$ ,  $P = 0,0615$ ), à massa seca do caule ( $F = 0,4577$ ,  $P < 0,8362$ ), folhas ( $F = 2,0908$ ,  $P = 0,0741$ ) e raízes ( $F = 1,1129$ ,  $P = 0,3713$ ) e da

massa seca total ( $F = 0,4384$ ,  $P = 0,8495$ ).

Em algumas espécies vegetais as lenticelas hipertrofiadas e as raízes adventícias têm função de transportar oxigênio da parte aérea para a parte radicular submersa, mantendo dessa maneira o metabolismo aeróbico e consequentemente o crescimento, ou eliminando gases potencialmente tóxicos produzidos pelo metabolismo anaeróbico. Não se sabe ao certo se estas estruturas favorecem a tolerância ao alagamento, apresentada pelas espécies *N. opositifolia* e *A. triplinervia*, contudo a sobrevivência de indivíduos destas espécies ao longo período de alagamento do solo imposto neste experimento e também a manutenção da capacidade de continuar a acumular biomassa, sugerem que tais estruturas tenham um papel importante na restauração do metabolismo aeróbico e na compensação dos altos custos de manutenção do metabolismo sobre condições de alagamento do solo.

As espécies mais fortemente afetadas pelo estresse imposto foram *G. opposita* e *G. gomeziana*, tendo a severidade do alagamento do solo afetado não somente o crescimento, mas também a sobrevivência dos indivíduos destas espécies; após 90 dias de experimento a mortalidade de indivíduos alagados destas espécies foi de 60% e 35% respectivamente. As primeiras mortes de indivíduos de ambas as espécies, submetidos ao tratamento alagado, foram observadas a partir da terceira semana de experimento e prolongaram - se durante o período experimental. Já os indivíduos alagados de *A. triplinervia* e *N. opositifolia* tiveram seu crescimento comprometido, mas não a sobrevivência ao longo do período de estresse. Outros trabalhos semelhantes relataram a sobrevivência de espécies tropicais a períodos longos de alagamento do solo. Oliveira (2007) relatou a sobrevivência de 100% dos indivíduos de *Calophyllum brasiliense* mantidos em tanques de alagamento durante 180 dias. Schongart *et al.*, (2002), Parolin *et al.*, (2004) e Ferreira *et al.*, (2009), entre outros, mostraram a sobrevivência de várias espécies tropicais sob condições de saturação hídrica na Amazônia Central, onde a variação sazonal do nível dos rios pode manter submersos não somente as raízes, mas a planta inteira, por até 210 dias por ano.

A reduções no crescimento vegetal ocasionado pelo alagamento do solo muitas vezes está relacionada com a perda das funções do sistema radicular e a mudança no seu metabolismo, de aeróbico para anaeróbico, ocasionando uma redução na produção de energia por molécula de carboidrato utilizada e aumento na produção de compostos potencialmente tóxicos como etanol e lactato (Crawford 1992, Joly & Brändle 1995, Drew 1997). Para compensar a baixa produção de energia as células da raiz aumentam sua demanda por carboidratos, reduzindo a disponibilidade destes para a parte aérea (Lobo & Joly 2000).

Com base nas diferentes respostas de crescimento e de sobrevivência das 4 espécies estudadas neste experimento em função do alagamento do solo, pode - se inferir sobre a tolerância destas espécies a tal estresse. Em comparação à espécies temperadas, o grau de tolerância das espécies tropicais à saturação hídrica do solo parece ser consideravelmente superior (Joly & Crawford 1982, Joly 1991, Kozlowski 1997).

## CONCLUSÃO

O efeito do alagamento do solo no acúmulo de biomassa de plantas de *G. opposita*, *G. gomeziana*, *N. opositifolia* e *A. triplinervia* foram negativos, acentuando - se em função da duração do estresse imposto. Os sinais de injúria observados nas 4 espécies estudadas também evidenciam que os indivíduos submetidos ao tratamento alagado sofreram com tal condição de estresse. Para *G. opposita* e *G. gomeziana*, o alagamento do solo pode ter implicações inclusive na taxa de sobrevivência dos indivíduos quando o sistema radicular destes é submetido a períodos longos de hipoxia e/ou anoxia. Para *N. opositifolia* e *A. triplinervia*, o longo período de alagamento imposto neste experimento implicou em reduções no crescimento, mas não reduziu a taxa de sobrevivência dos indivíduos, o que sugere que tais espécies são bastante tolerantes a saturação hídrica do solo. O desenvolvimento acentuado de estruturas morfológicas, como lenticelas hipertrofiadas e raízes adventícias em plantas de *A. triplinervia*, estruturas estas que freqüentemente estão associadas com a capacidade de sobreviver sob condições de ausência de oxigênio para as raízes, permite inferir com segurança ainda maior sobre a tolerância desta espécie ao alagamento do solo.

### Agradecimentos:

Viviane C. de Oliveira recebeu bolsa de doutorado da Capes. A execução do trabalho recebeu também apoio financeiro da Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo, FAPESP, no âmbito do Projeto Temático Gradiente Funcional (Proc. 03/12595 - 7), que faz parte do Programa BIOTA/FAPESP - O Instituto Virtual da Biodiversidade ([www.biota.org.br](http://www.biota.org.br)).

## REFERÊNCIAS

- Clarck, D.B. & Clarck, D.A. 1987. Population ecology and microhabitat distribution of *Dipteryx panamensis*, a Neotropical rain forest emergent tree. *Biotropica* **19**, 236-244.
- Crawford, R.M.M. 1992. Oxygen availability as an ecological limit to plant distribution. *Advances in Ecology Research* **23**, 93-185.
- Drew, M.C. 1997. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **48**, 223-250.
- Ferreira, C.F.; Piedade, M.T.F.; Franco, A.C.; Gonçalves, J.F.C. & Junk, W.J. 2009. Adaptive strategies to tolerate prolonged flooding in seedlings of floodplain and upland populations of *Himatanthus sucubus*, a Central Amazon tree. *Aquatic Botany* **90**, 246 - 252.
- Heideman, K.D. 1989. Temporal and spatial variation in the phenology of flowering and fruiting in a tropical rainforest. *Journal of Ecology* **77**, 1059-1079.
- Joly, C.A. 1991. Flooding tolerance in tropical trees. In: Davies, M.B. & Lambers, H., (eds). *Plant life under oxygen deprivation*. The Netherlands, Academic Publishing, p. 23 - 34.

- Joly, C.A. & Brändle, R. 1995.** Fermentation and adenylate metabolism of *Hedychium coronarium* J.G. (Zingiberaceae) and *Acorus calamus* L. (Arecaceae) under hypoxia and anoxia. *Functional Ecology* **9**, 505–510.
- Joly, C.A. & Crawford, R.M.M. 1982.** Variation in tolerance and metabolic responses to flooding in some tropical trees. *Journal of Experimental Botany* **33**, 799–809.
- Kozłowski, T.T. 1997.** Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree Physiology Monograph* No. 1. Victoria, Heron Publishing, p. 1–29.
- Lacerda, M.S. 2001.** *Composição florística e estrutura da comunidade arbórea num gradiente altitudinal da Mata Atlântica*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Lobo, P.C. & Joly, C.A. 2000.** Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do sudeste do Brasil. In: Rodrigues, R.R. & Leitão - Filho, H.F., (eds). *Matas Ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo/Fapesp, p. 143–157.
- Myers, N.; Mittermeier, R.A.; Mittermeier, C.G.; Fonseca, G.B. & Kent, J. 2000.** Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* **403**, 852–858.
- Oliveira, V.C. 2007.** *Efeito da saturação hídrica do solo na taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> e no desenvolvimento de Calophyllum brasiliense Camb. (Clusiaceae)*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Parolin, P.; De Simone, O.; Haase, K.; Waldhoff, D.; Rottenberger, S.; Kuhn, U.; Kesselmeier, J.; Kleiss, B.; Schmidt, W.; Piedade, M.T.F. & Junk, W.J. 2004.** Central Amazonian Floodplain Forests: tree adaptations in a pulsing system. *The Botanical Review* **70**, 357 - 380.
- Pezeshki, S.R. 2001.** Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany* **46**, 299–312.
- Scarano, F.R.; Ribeiro, K.T.; Moraes, L.F. & Lima, H.C. 1997.** Plant establishment on flooded and unflooded patches of a freshwater swamp forest in southeastern Brazil. *Journal of Tropical Ecology* **14**, 793–803.
- Schongart, J.; Piedade, M.T.F.; Ludwigshausen, S.; Horna, V. & Worbes, M. 2002.** Phenology and stem growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. *Journal of Tropical Ecology* **18**, 581 - 597.
- Sokal, R.R. & Rohlf, F.J. 1995.** *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York, W.H. Freeman.
- Zar, J.H. 1999.** *Biostatistical Analysis*. New Jersey , Prentice Hall.