



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ - UESC**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL - PPGPV**

**CATRIANE SOUSA SANTOS**

**EFEITOS DA DEFORMAÇÃO DAS RAÍZES NA FOTOSÍNTESE E NO  
CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Genipa americana* L. EM CONDIÇÕES DE  
ALAGAMENTO DO SOLO**

**ILHÉUS-BAHIA**

**2019**

**CATRIANE SOUSA SANTOS**

**EFEITOS DA DEFORMAÇÃO DAS RAÍZES NA FOTOSSÍNTESE E NO  
CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Genipa americana* L. EM CONDIÇÕES DE  
ALAGAMENTO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual de Santa Cruz como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Linha de pesquisa:  
Cultivos em Ambiente Tropical Úmido

Orientador:  
Prof.º Dr. Marcelo Schramm Mielke

Co-orientadoras:  
Prof.ª Dra. Ândrea Carla Dalmolin  
Prof.ª Dra. Martielly Santana dos Santos

**ILHÉUS-BAHIA**

**2019**

0000

Santos, Catriane Sousa.

Efeitos da deformação das raízes na fotossíntese e no crescimento de mudas de *Genipa americana L.* em condições de alagamento do solo / Catriane Sousa Santos. – Ilhéus, BA: UESC, 2019.

55f. : il.

Orientador: Marcelo Schramm Mielke.

Co-orientadoras: Ândrea Carla Dalmolin e Martielly Santana dos Santos

Dissertação Mestrado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal.

Inclui referência bibliográfica.

1. Matas ciliares – alagamento 2. Plantas – Hipóxia. 3. Repicagem – transplante. 4. Pós- alagamento –

CDD 000.00

**EFEITOS DA DEFORMAÇÃO DAS RAÍZES NA FOTOSÍNTESE E NO  
CRESCIMENTO DE MUDAS DE *G. americana* EM CONDIÇÕES DE  
ALAGAMENTO DO SOLO**

**CATRIANE SOUSA SANTOS**

Ilhéus, 28 de fevereiro de 2019.

---

Dr. MARCELO SCHRAMM MIELKE  
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC (Orientador)

---

Dr<sup>a</sup>. THÂMARA MOURA LIMA  
Universidade Estadual de Santa Cruz – UESC/PPGGBM

---

Dr<sup>a</sup>. SYLVANA NAOMI MATSUMOTO  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB

*“Não é o mais forte que sobrevive, nem  
o mais inteligente, mas o que melhor se  
adapta às mudanças.”  
(Charles Darwin)*

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus pela força, foco e fé, com as quais ele me presenteia todos os dias, minha caminhada se tornou mais leve quando eu me desfiz de “pesos” desnecessários e, principalmente, por colocar em meu caminho verdadeiros anjos, que sempre me mostram que tudo valeu e continuará valendo a pena durante a caminhada.

À minha tia, Janete, por ter dado o “start” lá no início e ter me permitido embarcar no universo acadêmico e me apaixonar cada vez mais pelo “prazer de estudar e desvendar o novo”. Minha gratidão a ti nunca será suficiente.

Ao meu esposo, Rodrigo, ao longo desses 10 anos de vivências e experiências. Muito obrigado por suportar todas as minhas queixas, ausências, pelo amor, cumplicidade, paciência e apoio nessa e em outras etapas de nossas vidas.

Ao meu filho, Carlos Eduardo (14 meses), confesso que nunca esperei por essa surpresa na vida, ainda mais no início do mestrado. Filho, você chegou de repente e aos poucos foi “desContruindo” sua mãe, sem nem eu mesma perceber, e tudo que eu acreditava ser impossível de realizar você me sustentou o tempo todo nessa jornada e me fez mais forte a cada dia. Você preparou tudo, com todo carinho para minha chegada e de fato só somou para que eu me tornasse a pessoa que eu sou hoje. Me trouxe vários anjos e a nossa caminhada se tornou mais leve a cada dia e também afastou aqueles que não nos fortalecia. Filho, agradecer é pouco, minha gratidão será eterna e além dessa vida. Muito obrigada por me mostrar que todo o impossível é sim possível e que a caminhada não precisa ser um “peso”. Mamãe te ama, te protege e sempre estará contigo. Palavras nunca serão o suficiente para expressar a imensidão do meu amor por você meu “Ginginho”, obrigada por me escolher como sua mãe.

A mãe de Rodrigo, Suely, “minha sogra”, pelo importante apoio, estímulo, amor e amizade que sempre me impulsionaram.

À Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), que permitiram a concretização desse trabalho e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pela concessão de um ano de bolsa.

À Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC) como suporte técnico, indispensável à realização da pesquisa. Em especial à Seção de Fisiologia Vegetal (SEFIS) que com seus técnicos, propiciaram a realização de parte do trabalho. Minha gratidão aos funcionários Waldemar, Antônio e em especial ao Seu Rufino, e todos os outros que direta ou indiretamente ajudaram-me nas análises.

À Carol, secretária do PPGPV, por auxiliar não só as minhas, mas as necessidades de todos os colegas do programa. Muito obrigada por tudo.

Ao professor Marcelo Mielke, eu poderia ficar a vida inteira falando das suas qualidades como profissional e também como ser humano. Obrigado por acreditar no meu trabalho e por me incentivar a continuar, o senhor é exemplo de humildade e simplicidade.

Às professoras Ândrea Dalmolin e Martielly Santana, sempre as considerei orientadoras. Agradeço tudo o que vocês fizeram por mim e me ensinaram. Professoras, eu serei sempre grata a vocês!. Minha admiração por vocês é inestimável.

À professora Ana Cristina Schilling, pelo auxílio das análises estatísticas, em diferentes momentos, para realização dessa pesquisa.

À banca da qualificação, professor Fábio Gomes e a professora Bruna Rehem, pelas contribuições para realização deste trabalho.

As professoras Sylvana Naomi Matsumoto e Thâmara Moura Lima por aceitarem o convite para compor a banca examinadora da minha dissertação e contribuírem para melhorar a qualidade do trabalho.

Aos Ics, mestrandos e doutorandos do grupo de pesquisa, sou grata por todo carinho e dedicação de cada um de vocês, para realização dessa pesquisa.

Titia Marayana Pinheiro, obrigado por ter me ajudado tanto minha mãe Catriane, pelas conversas, pelas caronas, pela amizade, pela paciência comigo! (Carlos Eduardo). Minha eterna gratidão senhora.

Tia Luciana Lobo, “cola com a gente que é sucesso”, e foi mesmo viu!! o tempo todo. Muito obrigada pelas trocas de experiências e aprendizados que me proporcionou dentro e fora do universo pesquisa.

Amanda Freitas, pelos bons momentos de convivência, amizade, cumplicidade, além do apoio em diferentes momentos. Muito obrigada pelas trocas de experiências entre choros e sorrisos. De uma mãe para outra mãe.

Turma PPGPV 2017 “**Senhores e senhoras**” (Victor, Mariana, Leo, Ângelo, Laiane, Kaélem, Samile, Vanusa, Aline, Deisy, Alice, Dilson, Ana Paula, Elisângela e Nádia). Foi muito bons os momentos vividos com vocês. Muito obrigadooOO!!!. Cada um de vocês não imaginam o quanto foram importantes.

Ao Seu “Adélio” (risos), com todo respeito Manoel Delino pela grande amizade, carinho e apoio nos momentos durante os experimentos no viveiro e no campo.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para o desenvolvimento da pesquisa e para a minha vitória em especial. GRATIDÃO!!!!

## RESUMO

SANTOS, Catriane Sousa, M.S. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, fevereiro de 2019. **Efeitos da deformação das raízes na fotossíntese e no crescimento de mudas de *Genipa americana* L. em condições de alagamento do solo.** Orientador: Marcelo Schramm Mielke. Co-orientadora: Ândrea Carla Dalmolin. Co-orientadora: Martielly Santana dos Santos

A produção de mudas de árvores com um sistema radicular bem formado contribui para o sucesso do estabelecimento e da produtividade no campo. Entretanto, erros durante o processo de repicagem das mudas ocasionam a deformação das raízes, caracterizada por dobrar a raiz do pivô, formando um "laço" ou "J". O jenipapeiro (*G. americana*) é uma espécie arbórea nativa da Mata Atlântica, utilizada nos programas de recuperação de matas ciliares, pela tolerância ao alagamento. Em vista disso, conduzimos um estudo para avaliar se a deformação da raiz altera a fotossíntese, o crescimento e a nutrição mineral de plantas jovens de *G. americana* sob condições de inundação do solo. Para isso, foram avaliados dois tipos de mudas com e sem deformação e duas condições de disponibilidade de água com inundação e sem inundação. A taxa fotossintética líquida ( $A$ ) e a condutância estomática ao vapor de água ( $g_s$ ), teores de N, P e K nas folhas, caules e raízes, alocação de biomassa, taxa de crescimento relativo (RGR), taxa de assimilação líquida (NAR) e solo potencial de oxidação-redução (Eh) foram avaliados. Não foi observado relação entre a deformação da raiz com a fotossíntese e com o crescimento inicial de plantas de *G. americana*. Não foi observado interação entre deformação da raiz e inundação do solo. Entretanto, observamos que a deformação das raízes altera a absorção e distribuição de N, P e K. Os maiores teores desses nutrientes minerais foram encontrados em raízes de plantas com deformação radicular, principalmente para o K, com elevação de mais de 200% quando comparado a plantas sem deformação da raiz.

**Palavras-chave:** Florestas tropicais, espécies nativas, repicagem, teor de nutrientes.



## ABSTRACT

SANTOS, Catriane Sousa, M.S., Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, February, 2019. **Effects of root deformation on photosynthesis and seedling growth of *Genipa americana* L. under soil flooding conditions.** Advisor: Marcelo Schramm Mielke. Co-adviser: Ândrea Carla Dalmolin. Co-adviser: Martielly Santana dos Santos

The production of tree seedlings with a well-formed root system contributes to the success of establishment and productivity in the field. However, errors during the process of seedling pricking out cause deformation of the roots, which is characterized by folding the root of the pivot, forming a "loop" or "J". The 'jenipapeiro' (*G. americana*) is a native tree species of the Atlantic Forest, used in riparian forest recovery programs, because it is tolerant to flooding. In view of this, we conducted an experiment to evaluate the effects of root deformation on photosynthesis, growth and mineral nutrition of young plants of *G. americana* under soil flooding conditions. For this, the seedlings were submitted to two root conditions (with and without deformation) and two conditions of water availability (flooded and non-flooded). The net photosynthetic rate ( $A$ ) and the stomatal conductance to water vapor ( $g_s$ ), N, P and K contents in leaves, stems and roots, biomass allocation, relative growth rate (RGR), net assimilation rate (NAR), and soil oxidation-reduction potential (Eh) were evaluated. No significant effects of root deformation were observed on photosynthesis and initial growth of *G. americana* plants, and no synergistic effects were observed between root deformation and soil flooding. However, we observed that root deformation changes the uptake and distribution of N, P and K in plants. The highest levels of these mineral nutrients were found in roots of plants with root deformation, especially for K, which presented an increase of over 200% when compared to plants without root deformation.

**Key words:** Forest seedling production, pricking out seedlings, nutrient contents.

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** -Valores médios de radiação fotossinteticamente ativa total diária (RFA), da temperatura do ar diurna (Td), da temperatura noturna (Tn), da temperatura máxima (Tmax), do déficit de pressão de vapor diurno (VPDd) e do máximo (DPVm) no pré- alagamento, no alagamento e no pós-alagamento do solo. Para RFA e DPV foram considerados apenas os dados obtidos entre 06:00 e 18:00. Dados coletados entre 21/07/2017 e 05/02/2018, em Ilhéus, BA, Brasil. Os valores entre parênteses são o mínimo e máximos para cada período.....46.

**Tabela 2** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das duas condições das raízes, sobre as variáveis de crescimento e trocas gasosas foliares para plantas de *G. americana*. Aos 129 dias (Pré- alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=9$ )  $p > 0.05$  (ns);  $p < 0.05$ (\*);  $p < 0.01$ (\*\*);  $p < 0.001$ (\*\*\*). Abreviações: LA - Área foliar ( $\text{cm}^2$ ), LAR - Razão de área foliar ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ), RGR - taxa de crescimento relativo em biomassa ( $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), NAR - taxa assimilatória líquida ( $\text{mg cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), A - Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), gs - condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Ci/Ca - Relação entre a concentração interna e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$ .....47.

**Tabela 3** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das diferentes condições de raízes, sobre as variáveis de crescimento e trocas gasosas foliares para plantas jovens de *G. americana* submetidas ao alagamento do solo. Aos 42 dias (período de alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=9$ ).  $p > 0.05$  (não significativo);  $p < 0.05$ (\*);  $p < 0.01$ (\*\*);  $p < 0.001$ (\*\*\*). Abreviações: R = raiz, SD = sem deformação, CD = com deformação, A = alagadas e NA = não alagadas. LA - Área foliar ( $\text{cm}^2$ ), LA/RM- relação de área foliar e massa de raízes, RGR - taxa de crescimento relativo em biomassa ( $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), NAR - taxa assimilatória líquida ( $\text{mg cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), A - Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), gs - condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Ci/Ca - Relação entre a concentração interna e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$  .....48.

**Tabela 4** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das duas condições das raízes, sobre as variáveis de crescimento e trocas gasosas foliares para mudas de *G. americana* submetidas a inundação. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=9$ ).  $p > 0.05$  (não significativo);  $p < 0.05$ (\*);  $p < 0.01$ (\*\*);  $p < 0.001$ (\*\*\*). Abreviações: R = raiz, SD = sem deformação, CD = com deformação, A = alagadas e NA = não alagadas. LA - Área foliar ( $\text{cm}^2$ ), LA/RM- relação de área foliar e massa de raízes, RGR - taxa de crescimento relativo em biomassa ( $\text{mg g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), NAR - taxa assimilatória líquida ( $\text{mg cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), A - Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), gs - condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), Ci/Ca - Relação entre a concentração interna e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$ .....49.

**Tabela 5** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das duas condições das raízes, sobre os teores ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de N, P e K em folhas, caules, raízes, e a razão folha/raiz para esses nutrientes em plantas jovens de *G. americana* após a inundação do solo. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ).  $p > 0.05$  (ns);  $p < 0.05$ (\*);  $p < 0.01$ (\*\*);  $p < 0.001$ (\*\*\*). Abreviações: SD = sem deformação, CD = com deformação, A = alagadas e NA = não alagadas. N - Nitrogênio (mg), P- Fósforo (mg), K- Potássio (mg).....50.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** - Efeito do alagamento sobre o potencial de Oxidação - redução do solo (Eh) para plantas jovens de *G. americana* sem e com deformação da raiz, durante 42 dias de inundação. Valores médios apresentados são referentes a um total de 20 repetições (n=20).....51.

**Figura 2** - Porcentagem da partição de biomassa de raiz, caule e folha em plantas jovens de *G. americana* submetidas a deformação radicular e alagamento. Abreviações: SD = Sem deformação, CD = Com deformação, NA = Não alagada e A =Alagada, ao longo dos 199 dias de experimento. Cinza escuro = raiz, cinza claro = caule e branco = folhas. Valores apresentados são referentes a um total de 9 repetições (n = 9).....52.

**Figura 3** - Efeitos das duas condições das raízes, sobre o teor ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de Fósforo (P) em folhas de plantas jovens de *G. americana*. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Letras maiúsculas comparam efeitos das duas condições de raízes dentro das diferentes condições hídricas. Letras minúsculas comparam efeitos das duas condições hídricas nas diferentes condições de raízes. Valores médios  $\pm$  erro padrão (n=3).....53.

**Figura 4** - Porcentagem da partição de nutrientes nas raízes, caules e folhas em plantas jovens de *G. americana* submetidas a deformação radicular e alagamento. Abreviações: SD = Sem deformação, CD = Com deformação, NA = Não alagada e A =Alagada. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Cinza escuro = raiz, cinza claro = caule e branco = folhas. Valores apresentados são referentes a um total de 3 repetições (n = 3).....54.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- A - Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );
- gs - Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );
- Ci/Ca – Relação entre a concentração interna e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$  (adimensional);
- PAR- Radiação fotossinteticamente ativa acumulada ao longo do dia ( $\text{mol m}^{-2} \text{dia}$ );
- LA - Área foliar ( $\text{cm}^2$ );
- LAR - Razão de área foliar ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ );
- LDM - Massa seca de folhas (g);
- SDM - Massa seca de caule (g);
- RM - Massa seca de raiz (g);
- LA/RM – Relação área foliar e massa de raiz
- NAR - Taxa assimilatória líquida ( $\text{g cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ )
- RGR - Taxa de crescimento relativo ( $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ );
- RH - Umidade relativa do ar (%);
- T - Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ );
- VPD - Déficit de pressão de vapor do ar (kPa);
- Eh – Potencial de oxidação-redução do solo (mV);

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Geral .....	16
2.2 Específicos .....	16
1. Efeitos da deformação das raízes na fotossíntese e no crescimento de mudas de <i>Genipa americana</i> L. em condições de alagamento do solo.....	21
Resumo .....	22
Introdução .....	22
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
2.1 Material vegetal e condições de cultivo .....	25
2.2 Crescimento e partição de biomassa.....	26
2.3 Trocas gasosas foliares .....	26
2.4 Avaliação nutricional.....	27
2.5 Delineamento experimental.....	27
2.6 Análise estatística .....	27
3. RESULTADOS .....	28
4. DISCUSSÃO .....	32
5. CONCLUSÕES.....	36
6. REFERÊNCIAS .....	37

## 1- INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas tropicais apresentam grande relevância para os processos ecossistêmicos global, uma vez que, a maioria da biodiversidade da terra e recursos encontram-se nos trópicos (BACCINI et al., 2017; BARLOW et al., 2018). Contudo, as florestas tropicais também estão sujeitas a uma das mais altas taxas de uso da terra, associado aos processos de fragmentação e perda de habitat com sérias implicações na biodiversidade (SLIK et al., 2015; BARLOW et al., 2018).

A Mata Atlântica é um dos *hotspots* de biodiversidade (VARJABEDIAN, 2010), mas nas últimas décadas a ação antrópica levou á fragmentação de diversos habitats com perdas na diversidade biológica (BARLOW et al., 2016). O processo de degradação ambiental das florestas tropicais requer ações de reflorestamento que visem conservar as matas e restabelecer os fragmentos florestais. Neste sentido, a propagação por meio de mudas é uma das formas mais utilizadas para aumentar a eficiência no estabelecimento de espécies arbóreas florestais (FONSECA et al., 2002), sob condições de estresse (seca, alagamento, deficiência nutricional, radiação luminosa etc), as quais são submetidas no campo. Com isso, o sistema de produção de mudas viabiliza que estas ações contribuam para minimizar os impactos decorrentes do desmatamento (GOMES et al., 2002). Contudo, o sucesso na implantação de programas florestais requer mudas produzidas com alta qualidade fitotécnica (CARNEIRO, 1995).

O plantio de mudas de espécies nativas em projetos de reflorestamento é cada vez maior (SCHMIDT et al., 2018), levando a necessidade de produção de sementes e mudas para restauração nos trópicos. Essa recente valorização das espécies nativas, ocasionou um aumento na demanda pela produção de mudas em viveiros florestais, de modo que o aspecto qualitativo deste processo foi subestimado (SILVA et al., 2016).

Os tratos culturais estabelecidos desde o processo de germinação das sementes para obtenção das plântulas até a expedição das mudas para o plantio foram diretamente afetados em função do aumento de demanda (ABREU et al., 2015). O manejo adequado durante as etapas de produção das mudas assegura a sobrevivência das plantas no campo, uma vez que elas resistem melhor as variações do ambiente. Assim, a porcentagem de sobrevivência após o plantio, decorre do uso de mudas de qualidade, bem como as técnicas e manejo estabelecidos durante as etapas de produção no viveiro (CARNEIRO, 1995). Para isso, é necessária maior atenção aos fatores que possam afetar a qualidade das mudas no viveiro (BIONDI et al., 2007).

Vários fatores interferem na qualidade das mudas, tais como: qualidade genética das sementes, substrato, tipo de recipiente, tratos culturais, irrigação, controle fitossanitário, tempo de permanência no viveiro e transporte (SANTOS et al., 2000). Dentre esses, destaca-se os

tratos culturais relacionados ao manejo na fase inicial das mudas, ou seja, fase de maior vulnerabilidade para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Erros operacionais durante a repicagem são recorrentes e podem levar a alterações na forma ou na direção das raízes, resultando em sua deformação (GONÇALVES et al., 2000). A deformação de raízes ocorre devido ao menor orifício feito no substrato para acomodar a raiz, quando comparado ao comprimento total da mesma. A partir deste ponto, a raiz pivotante entra em contato com o substrato na parte inferior do orifício e forma um “loop ou J”. Esse dobramento da raiz é conhecido popularmente como “cachimbamentos” ou “pião torto (DUBOC, 2014).

As deformações das raízes nas espécies florestais podem ocorrer em três etapas no viveiro: i) repicagem; ii) crescimento e iii) expedição (DUBOC, 2014). Isto pode refletir no estabelecimento futuro das mudas no campo, por alterar o crescimento e a resposta a fatores de estresse ambientais. Plantas com deformações nas raízes, apresentam redução ou atraso no seu desenvolvimento após o plantio. Tal fato resulta em menores taxas de crescimento inicial da parte aérea e perdas de produtividade, em escala de planta inteira (GOMES et al., 2002). A deformação de raízes provoca redução na capacidade de absorção de nutrientes e alterações nos mecanismos bioquímicos e morfofisiológicos (FREITAS et al, 2005). Tais aspectos impactam diretamente o crescimento e o desenvolvimento vegetal (GOMES, 2003), afetando o estabelecimento das plantas após o plantio, principalmente em condições de estresses abióticos (salinidade, metais tóxicos, seca ou alagamento) a serem superados.

Outro fator que interfere o estabelecimento satisfatório das plantas no campo é a disponibilidade hídrica (VIANI et al., 2012), seja por seca ou alagamento. A exposição de determinadas espécies arbóreas ao alagamento do solo, é um dos fatores que permite identificar o grau de tolerância, assim como as respostas adaptativas a esse ambiente (CAMPOS, 2002). O alagamento do solo promove a diminuição da disponibilidade de oxigênio para as raízes (anoxia), efeito este potencializado dependendo do tempo de exposição ou da espécie sob estresse. Isto resulta em alterações no metabolismo celular o que afeta não só a respiração das raízes, como também provoca alterações na morfologia, na anatomia e na fisiologia em escala de planta inteira (BAILEY-SERRES; VOESENECK, 2008).

O ambiente hipóxico ou anóxico, decorrente do alagamento do solo pode provocar modificações morfofisiológicas e anatômicas em espécies florestais, que por meio de diferentes respostas é possível classificar as espécies entre tolerantes e intolerantes (ARMSTRONG et al., 1994). Em nível fisiológico, o alagamento do solo interfere na respiração aeróbia (KOZLOWSKI, 2002), nos aspectos nutricionais (KOZLOWSKI, 2002; DALMOLIN et al., 2012) e nas trocas gasosas foliares (DAVANSO et al., 2002; KOZLOWSKI, 2002;



DALMOLIN et al., 2013). Em relação aos aspectos morfológicos, nas plantas tolerantes ao alagamento são verificadas formações de raízes adventícias (KOZLOWSKI, 2002; STEFFENS et al., 2013), hipertrofia de lenticelas (NEWSOME et al., 1982; TOPA ; MCLEOD, 1986; KOZLOWSKI, 2002; MIELKE et al., 2003; MIELKE et al., 2005a; 2005b) e formação de aerênquima (KOZLOWSKI, 2002; STEFFENS et al., 2013), esses efeitos podem ser potencializados em função das deformações das raízes nas plantas. Tais aspectos interferem diretamente no crescimento e sobrevivência das plantas (DELAUNE, 1990; KOZLOWSKI, 2002).

*Genipa americana* é uma espécie arbórea encontrada em zonas litorâneas de clima tropical úmido e subtropical, sendo nativa do Brasil (FRANCIS,1993). É uma espécie rústica, secundária tardia, com fácil adaptação a vários tipos de climas e solos, considerada uma espécie tolerante a áreas inundadas, utilizada para o restabelecimento áreas degradadas, principalmente áreas de matas ciliares (MIELKE et al., 2003 FERREIRA, 2007). A espécie se destaca devido sua relevância socioeconômica e ambiental, tanto pela utilização da madeira, quanto às suas propriedades medicinais e alimentícias (MAGISTRALI et al., 2013). Nesse sentido, em condições de cultivo possui boa resposta de crescimento, produtividade e alta plasticidade refletindo na elevada porcentagem de sobrevivência em campo (SANTOS; SOUZA; SILVA, 2012).

De maneira geral, qualquer que seja o erro nas etapas de produção das mudas irá causar problemas no estabelecimento e crescimento das plantas em campo. No entanto, não há uma definição clara dos efeitos reais provocados pelas deformações das raízes sobre o crescimento e desenvolvimento das mudas florestais propagadas por sementes. Estudos direcionados aos impactos da deformação de raízes são escassos, e em sua maioria são realizados com café (MATIELLO et al., 2013), erva mate (EMBRAPA, 2014), pinus (MATTEI et al., 1994; FIGUEIREDO et al., 2014) e eucalipto (REIS et al., 1991; FREITAS et al., 2005). Além disso, as poucas informações disponíveis sobre deformações de raízes são incipientes, voltadas apenas para deformações na fase de crescimento e etapa de expedição, ou seja, levando em conta somente aspectos morfológicos, sem maiores investigações em relação as alterações anatômicas e fisiológicas. Desse modo, há necessidade de construção da base de conhecimento sobre os efeitos da deformações das raízes ocorridas durante o processo da repicagem em *G. americana*.

Considerando que *G. americana* L. é uma espécie tolerante ao alagamento e indicada para a restauração de matas ciliares (MIELKE et al., 2003), estudos ecofisiológicos com foco na deformação de raízes decorrente de erros na repicagem, podem gerar informações importantes sobre as respostas fisiológicas da espécie relacionadas ao crescimento e a sua

sobrevivência em condições de alagamento do solo potencializado em função da deformação de raízes. Além disso, auxiliar no desenvolvimento de estratégias para melhoria dos procedimentos e rotinas nos viveiros de produção de mudas nativas destinadas aos programas de restauração ambiental.

## 2- OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Avaliar se a deformação das raízes afeta a fotossíntese e o crescimento de mudas de *Genipa americana* em condições de alagamento do solo.

### 2.2 Objetivos específicos

- i. Avaliar se o crescimento inicial de mudas de *G. americana* é afetado pela deformação de raízes.
- ii. Caracterizar os efeitos do alagamento do solo e da deformação de raízes na fotossíntese e no crescimento de mudas de *G. americana*.
- iii. Verificar se a deformação de raízes retarda o processo de recuperação de mudas de *G. americana* após o alagamento do solo.

## REFERÊNCIAS

ABREU, A.H.M.; LELES, P.S.S.; MELO, L.A.; FERREIRA, D.H.A.A.; MONTEIRO, F.A.S. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 1, p. 141 - 150, 2015.

ARMSTRONG, W., BRANDLE, R., JACKSON, M.B. Mechanisms of flood tolerance in plants. **Acta Botanica Neerlandica**, v.43, p.307-358,1994.

BAILEY-SERRES, J.; VOESENECK, L.A.C.J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v.59, p.313-339, 2008.

BACCINI, A. et al. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. **Science (New York, N.Y.)**, v. 358, n. 6360, p. 230–234, 2017.

BARLOW, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 2016.

BARLOW, J. et al. The future of hyperdiverse tropical ecosystems. **Nature**, v. 559, n. 7715, p. 517–526, 2018.

BIONDI, D.; LEAL, L.; COBALCHINI, J. L. Tratamentos silviculturais em mudas de *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., Cambess; A. Juss.) Radlk. para arborização de rua. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 437-444, 2007.

CAMPOS, M.A.A.; UCHIDA, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.281-288, 2002.

CARNEIRO, J. G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF; Campos: UENF, p.451,1995.

DALMOLIN, A.C., DALMAGRO, H.J., LOBO, F. DE A., ANTUNES JUNIOR, M.Z., ORTÍZ, C.E.R., VOURLITIS, G.L. Effects of flooding and shading on growth and gas exchange of *Vochysia divergens* Pohl (Vochysiaceae) of invasive species in the Brazilian Pantanal. **Brazilian J. Plant Physiology**. v.24, p.75–84, 2012.

DALMOLIN, A.C., DALMAGRO, H.J., LOBO, F. DE A., ANTUNES, M.Z., ORTÍZ, C.E.R., VOURLITIS, G.L. Photosynthetic light and carbon dioxide response of the invasive

tree, *Vochysia divergens* Pohl, to experimental flooding and shading. **Photosynthetica**, v.51, p.379–386, 2013.

DAVANSO, V.M.; SOUZA, L.A.; MEDRI, M.E.; PIMENTA, J.A.; BIANCHINI, E. Photosynthesis, growth and development of *Tabebuia avellanedae* Lor. Ex Griseb. (Bignoniaceae) in flooded soil. **Brazilian archives of Biology and Technology**, v.45, p.375-384, 2002.

DELAUNE, R. D.; PEZESHKI, S. R.; PARDUE, J. H. An oxidation-reduction buffer for evaluating the physiological response of plants to root oxygen stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.30, p.243-247, 1990.

DUBOC, E. Erva-Mate: Parâmetros para seleção de planta matriz e área de coleta de sementes. **Circular técnica**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014.

EMBRAPA, EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 2014. Erva-Mate: Parâmetros para Seleção de Planta Matriz e Área de coleta de sementes. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141021/1/DOC2015132-ERVA-MATE.pdf>> acesso em 10 de julho de 2017.

FERREIRA, W. R. et al. Crescimento de mudas de *G. americana*. submetidas a condições de pré-semeadura. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p.1026-1028, 2007.

FIGUEIREDO, F.A.M.M.A.; CARNEIRO, J.G.A.; PENCHEL, R.M.; CAMPOSTRINI, E.; THIEBAUT, J.T.L.; BARROSO, D. G. Root hydraulic conductivity and photosynthetic capacity of eucalypt clonal cuttings with root malformation inductions. **Ciência Florestal**, v.24, p.277-287, 2014.

FONSECA, E. P.; VALERI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de Qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume., produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515 - 523, 2002.

FRANCIS, J. K. *G. americana*. Jagua, genipa. New Orleans, L.A: US .Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest experiment Stantion, 5p. 1993.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A.; PENCHEL FILHO, R. M.; LAMÔNICA, K. R.; FERREIRA, D. de A. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 6, p. 853 – 861, 2005.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. Parâmetros Morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**. p. 21

655-664, 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

GONÇALVES, J. L. de M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P. de; MANARA, M. P. **Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização**. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000.

KOZLOWSKI, T.T., PALLARDY, S.G. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. **The Botanical Review**, v.68, p.270-334, 2002.

MAGISTRALI, P.R.; FARIA, J. A. C.; ROCHA, J.M.; GASPARIN, E. Physiological behavior of *G. Americana* L seeds regarding the capacity for desiccation and storage tolerance. **Journal of Seed Science**. 2013.

MATIELLO, J.B.; Garcia, A.W.R.; Almeida, S.R. Sistema radicular deficiente causa desenvolvimento anormal de cafeeiros jovens. **Anais Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras**, p. 39, 2013. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br/handle/123456789/6974>. Acesso em 05/10/2018.

MATTEI, V.L. 1994. Deformações radiculares em plantas de *Pinus taeda* L. produzidas em tubetes quanto comparadas com plantas originadas por sementeira direta. **Ciência Florestal**, v.4, p.9-21, 1994.

MIELKE, M.S., ALMEIDA, A.A.F., GOMES, F.P., MANGABEIRA, P.A.O., SILVA, D.C. Effects of soil flooding on leaf gas exchange and growth of two neotropical pioneer tree species. **New Forests**, n.29, p.161-168, 2005b.

MIELKE, M.S., MATOS, E.M., COUTO, V.B., ALMEIDA, A.A.F., GOMES, F.P., MANGABEIRA, P.A.O. Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. **Acta Botanica Brasilica**, n.19, p.905-911, 2005a.

MIELKE, M.S.; ALMEIDA, A.A.F.; GOMES, F.P.; AGUILAR, A.G.; MANGABEIRA, P.A.O. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *G. americana* . seedlings to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v.50, p.221-231, 2003.

NEWSOME, R.D., KOZLOWSKI, T.T., TANG, Z.C. Responses of *Ulmus americana*

seedlings to flooding of soil. **Canadian Journal of Botany**, n.60, p.1688-1695,1982.

REIS, G. G. et al. Efeito da poda de raízes sobre a arquitetura do sistema radicular e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora* produzidas em tubetes. **Revista Árvore**, v.15, p.43- 54, 1991.

SANTOS, C. B. dos; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. Don. **Ciência Florestal**, v.10, n.2, p.1-15, 2000.

SANTOS, P. de A.; SOUZA, D. R. de; SILVA, S. A. Crescimento do jenipapeiro (*G. americana*) para produção madeireira sob diferentes espaçamentos. **Revista Magistra**, v.24, n.4, p.380-383, 2012.

SCHMIDT et al. Community-based native seed production for restoration in Brazil – the role of science and policy. **Plant Biology**, 2018.

SILVA et al. Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil?. **Restoration Ecology**, v. 25 p. 509-515, 2016.

SLIK et al. An estimate of the number of tropical tree species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 24, p. 7472-7477, 2015.

STEFFENS, B., STEFFEN-HEINS, A., SAUTER, M. Reactive oxygen species mediate growth and death in submerged plants. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p.179, 2013.

TOPA, M.A., MCLEOD, K.W. Aerenchyma and lenticel formation in pine seedlings: A possible avoidance mechanism to anaerobic growth conditions. **Plant Physiology**, v.68, p.540- 550, 1986.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. **Estudos avançados**, v.24 ,n.68, p.147-160, 2010.

VIANI, R A. G.; BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. Corte foliar e tempo de transplante para o uso de plântulas do sub-bosque na restauração florestal. **Revista Árvore**, v.36, n.2, p.331-339, 2012.

# EFEITOS DA DEFORMAÇÃO DAS RAÍZES NA FOTOSÍNTESE E NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Genipa americana* L. EM CONDIÇÕES DE ALAGAMENTO DO SOLO

Catriane Sousa Santos<sup>1</sup>, Ândrea Carla Dalmolin<sup>2</sup>, Ana Cristina Schilling<sup>3</sup>, Martielly Santana dos Santos<sup>1</sup>, e Marcelo Schramm Mielke<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado km 16, CEP: 45662-900, Ilhéus, BA, Brazil

<sup>2</sup> Centro de Formação em Ciências Agroflorestais, Universidade Federal do Sul da Bahia, BR 415 km 22, CEP: 45653-919, Ilhéus, BA, Brazil

<sup>3</sup> Departamento de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Estadual de Santa Cruz, Rodovia Jorge Amado km 16, CEP: 45662-900, Ilhéus, BA, Brazil

\*Author for correspondence: Tel +55 73 3680 5285 E-mail: [msmielke@uesc.br](mailto:msmielke@uesc.br)

Artigo no formato da revista *Árvore* (Brazilian Journal of Forest Science – ISSN 18066-9088)

**RESUMO** – Atualmente existe uma crescente demanda por mudas de espécies arbóreas nativas para o uso em programas florestais. O sucesso no estabelecimento em campo depende, em grande parte, da produção de mudas de qualidade, com um sistema radicular bem formado. No entanto, nos viveiros florestais, durante o processo de repicagem, pode ocorrer a deformação de raízes causada pelo dobramento das mesmas, formando um “loop” ou “J”. Isso pode comprometer o sucesso no estabelecimento e o crescimento das mudas no campo. Contudo, pesquisas que explorem tais impactos da deformação de raízes são incipientes. Entre as espécies utilizadas nos programas de recuperação de matas ciliares encontra-se *Genipa americana*, que apresenta ampla distribuição em ambientes de Mata Atlântica. Em vista disso, conduzimos um experimento para testar a hipótese de que os efeitos do alagamento do solo na fotossíntese, no crescimento e na nutrição mineral de plantas jovens de *G. americana* podem ser potencializados pela deformação das raízes. Mudas de *G. americana* foram submetidas a duas condições de raízes (com e sem deformação) e duas disponibilidades hídricas (alagadas e não alagadas) em dois períodos distintos de avaliação, a saber: alagamento e pós alagamento. Avaliou-se o potencial de oxidação-redução do solo (Eh), as trocas gasosas foliares, o crescimento, e os teores de N, P e K em folhas, caules e raízes. Com base nos resultados obtidos e nas condições em que o experimento foi realizado, foi possível concluir que: a) não houve efeitos da deformação de raízes na fotossíntese e no crescimento inicial de plantas de *G. americana* em condição de viveiro; b) a deformação das raízes não retarda o processo de recuperação de plantas após o alagamento do solo, uma vez que houve recuperação da atividade fotossintética; c) a deformação de raízes altera a absorção e distribuição dos nutrientes na planta.

Palavras-chave: Repicagem, Anóxia, Restauração, Nutrição mineral, Recurso florestal.



## 1. INTRODUÇÃO

Os ecossistemas tropicais detêm a maioria da biodiversidade da terra e recursos florestal, fornecendo benefícios incalculáveis para a humanidade (Baccini et al., 2017; Barlow et al., 2018). Os trópicos apresentam grande relevância para os processos ecossistêmicos global (Barlow et al., 2016). Entretanto, as florestas tropicais enfrentam uma pressão crescente de combinação de estressores a nível global e local, uma vez que, estão sujeitas a impactos frequentes e negativo de ameaças antrópicas, associado aos processos de fragmentação e perda da cobertura florestal com sérias implicações na biodiversidade (Slik et al., 2015; Haddad et al., 2015; Barlow et al., 2018) , em particular na Mata Atlântica.

A Mata Atlântica é um dos *hotspots* tropical de biodiversidade (Varjabedian, 2010), mas nas últimas décadas o aumento das atividades antrópicas levou aos processos de fragmentação de habitats e defaunação com importantes perdas na diversidade biológica nas florestas tropicais (Barlow et al., 2016; Lima; Francisco; Bohrer, 2017).

Diante deste panorama, a produção e plantio de mudas de espécies florestais nativas apresenta-se como uma forma viável para a restauração de áreas degradadas. No entanto, para garantir a eficiência no estabelecimento frente as variações ambientais em termos disponibilidade hídrica, nutricional e luminosa, é necessário a produção de mudas com alta qualidade fitotécnica (Simões, 1987; Carneiro, 1995).

O plantio de mudas de espécies nativas em projetos de reflorestamento é cada vez maior (Schmidt et al., 2018), levando a necessidade de produção de sementes e mudas para restauração nos trópicos. Essa recente valorização das espécies nativas, ocasionou um aumento na demanda pela produção, de modo que o aspecto qualitativo deste processo foi subestimado (Silva et al., 2016).

A qualidade das mudas de espécies arbóreas florestais vai desde a escolha do material genético (árvore matriz e qualidade da semente) até ao manejo adequado no viveiro (Carneiro, 1995; Gomes, 2001). Neste último caso, é necessária maior atenção aos fatores (nutrientes, luz e água) que possam afetar a qualidade das mudas, bem como a deformação de raízes que por vezes é desconsiderada (Biondi et al., 2007). As deformações nas raízes podem ser originadas nas etapas de produção de mudas, com desenvolvimento de danos irreversíveis durante a etapa de repicagem. Inicialmente nesta etapa, é realizada a abertura de um orifício no substrato do recipiente, o qual deve ter profundidade suficiente para acomodar as raízes (Macedo et al. 1993). A profundidade inadequada pode ocasionar dobramento, conhecido popularmente como “cachimbamento” ou “pião torto”, levando a deformação da raiz pivotante, formando “*loop*”

ou “J”.

A deformação de raízes pode promover reduções no transporte de água e nutrientes (Hameed et al., 1987; Rieger; Marra, 1994; Reis et al. 1991; Netto-Torres et al., 2006) afetando a taxa fotossintética ( $A$ ), taxa transpiratória ( $E$ ) e a condutância estomática ( $g_s$ ) (Kato; Okami, 2011). Além disso, podem acarretar problemas como a instabilidade da árvore, redução de crescimento dos ramos (Amoroso et al., 2010), menor vitalidade devido a doenças causadas por microrganismos patogênicos (Livingston, 1990; Lindstrom; Rune, 1999) e até mesmo a morte da planta (Ortega et al., 2006; Amoroso et al., 2010).

Assim, o estabelecimento das mudas após o transplante pode ser relacionado a integridade inicial da raiz ainda em viveiro (Tsakalidimi et al., 2005; Amoroso et al., 2010) e a capacidade do sistema radicular em produzir novas raízes em campo, principalmente em condições de estresses abióticos (salinidade, metais tóxicos, seca ou alagamento) a serem superados (Schultz; Thompson, 1997; Paz, 2003).

O estresse hídrico, seja por seca ou alagamento, é um dos fatores de estresse abiótico que mais impacta o crescimento e desenvolvimento de espécies vegetais por alterar o grau de hidratação das células e tecidos (Viani et al., 2012). O estresse por alagamento altera a disponibilidade de oxigênio no solo, levando a condições de anoxia ou hipóxia (Kato; Okami, 2011), efeito que é potencializado por outros fatores de estresse ambiente (Bailey-Serres; Voesebeck, 2008), ou da condição fisiológica das plantas. A exposição de determinadas espécies arbóreas ao alagamento do solo, é um dos fatores de seleção que permite identificar o grau de tolerância, assim como as respostas adaptativas a esse ambiente (Kozłowski, 1997).

O alagamento do solo promove modificações nas espécies tolerantes, provenientes de interações entre as adaptações fisiológicas, anatômicas e morfológicas (Kozłowski, 1997). Tais modificações são de extrema importância, pois permitem que essas espécies possam sobreviver em períodos longos de alagamento (Blom e Voesebeck, 1996; Voesebeck et al., 2016). Dentre as principais modificações anatômicas e morfológicas observadas em plantas em condições de alagamento do solo destacam-se a formação de raízes adventícias, que é uma importante adaptação as restrições de oxigênio (Kozłowski, 2002; Steffens et al., 2013), lenticelas hipertrofiadas, as quais contribuem para a difusão do oxigênio atmosférico para os tecidos internos (Armstrong, 1980; Kozłowski, 2002; Mielke et al., 2003; Mielke et al., 2005a), e a formação de aerênquima (Kozłowski, 2002; Steffens et al., 2013). Entretanto, alguns sinais de estresse podem ser encontrados em plantas em condição de alagamento como inibição na inicialização de folhas, clorose ou abscisão foliar devido a intensa redução do solo mesmo com a formação de aerênquimas (Kozłowski, 1997; Pezeshki; Delaune, 2012).

Fisiologicamente, as raízes adventícias desempenham um importante papel na compensação das perdas de partes do sistema radicular nas plantas em solos alagados (Kozłowski, 1997). Além disso, essas estruturas contribuem para a reabertura dos estômatos e maior eficiência na absorção de água (Gomes; Kozłowski, 1980), com restabelecimento da assimilação de carbono e maior taxa de sobrevivência e crescimento das plantas (Mielke et al., 2005b). As condições reduzidas de oxigênio nas raízes em solos alagados, resultam em decréscimos na capacidade de absorção e transporte de água e nutrientes (Cronk; Fennessy, 2001), devido a alterações na condutividade hidráulica (Srivastava et al., 2014; Maurel et al. 2015).

Alterações na integridade do sistema radicular, provocam ainda absorção e distribuição ineficiente de nutrientes para os diversos órgãos da planta (Lobo; Joly, 2000). Plantas com o sistema radicular deformados são ainda mais afetadas devido à maior resistência na translocação de água e nutrientes (Reis et al., 1991), o que ocasiona um desbalanço nutricional, além de diminuir significativamente o incremento de biomassa (Novaes et al., 2002; Barroso et al., 2000). O estado nutricional é um dos fatores de relevância que interfere no crescimento e desenvolvimento das plantas. Dentre os nutrientes requeridos para o crescimento e desenvolvimento das espécies arbóreas destaca-se o nitrogênio (N), que está envolvido no processo fotossintético, respiratório e na atividade das raízes, o fósforo (P), que tem papel central em reações que envolvem ATP e formação de compostos essenciais em processos metabólicos na planta, e o potássio (K), que atua no transporte e armazenamento de fotoassimilados, além de ativar muitas enzimas envolvidas na fotossíntese e respiração, estabelecimento do turgor celular e manutenção da eletroneutralidade celular (Raij, 1991).

O jenipapo (*Genipa americana*) é uma espécie arbórea encontrada em zonas litorâneas de clima tropical úmido e subtropical, sendo nativa do Brasil (Francis, 1993). É uma espécie rústica, secundária tardia, com fácil adaptação a vários tipos de climas e solos, sendo considerada uma espécie tolerante a áreas inundadas, utilizada para o restabelecimento de áreas degradadas, principalmente áreas de matas ciliares (Mielke et al., 2003; Ferreira, 2007). Devido às características adaptativas apresentada pela espécie ao ambiente ciliar *G. americana* tem sido recomendada para subsidiar projetos de restauração de matas ciliares (Mielke et al., 2003; Costa et al., 2005). Contudo, não há estudos ecofisiológicos relacionados aos impactos da deformações de raízes nas respostas morfofisiológicas em condições de alagamento para a referida espécie.

Estudos anteriores sobre a taxa de sobrevivência de *G. americana* em condições de alagamento, constatou-se que, após 90 dias as plântulas apresentaram sobrevivência de 100%

sem nenhum sinal visível de intolerância a condição do ambiente (Andrade et al., 1999). Além disso, em condição de total submersão na água a espécie tolera 174 dias alagada (Salvador, 1986). Ainda sobre a sobrevivência da espécie, Mielke et al. (2003) ao utilizarem no estudo parâmetros morfofisiológicos (trocas gasosas foliares, fluorescência da clorofila e taxa de crescimento) observaram que a espécie pode sobreviver e crescer por um período 60 dias submetidas ao alagamento. Em contrapartida, foi observado alterações na taxa de assimilação de carbono e condutância estomática em plantas submetidas ao alagamento (Medina et al., 2009; Mielke; Schaffer, 2010). Do mesmo modo foram encontrados efeitos do alagamento na diminuição de 64% da taxa fotossintética, sem alterações na taxa de respiração (Lavinsky et al., 2007); efeitos esses que podem predizer o grau de tolerância da espécie ao alagamento (Mielke et al. 2003; Gonçalves et al., 2013).

Estudos ecofisiológicos com espécies arbóreas tropicais representam importante foco de investigação científica para o desenvolvimento da economia emergente de restauração florestal. Diante do contexto, objetivou-se avaliar se a deformação das raízes afeta a fotossíntese e o crescimento de mudas de *G. americana* em condições de alagamento do solo, pautando-se nas seguintes hipóteses: i) A deformação de raízes pode afetar o crescimento inicial de mudas de *G. americana*; ii) há efeito de interação entre a deformação de raízes e o alagamento do solo na fotossíntese e no crescimento de mudas de *G. americana*; e iii) a deformação de raízes retarda o processo de recuperação de mudas de *G. americana* após o alagamento do solo e altera a distribuição dos nutrientes na planta.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Material vegetal e condições de cultivo**

O estudo foi realizado na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), localizada em Ilhéus, Bahia, Brasil (39°13'59"O; 14°45'15"S) entre os meses de julho de 2017 e fevereiro de 2018. Para a produção das mudas foram adquiridos frutos em feiras livres nos municípios de Buerarema (39° 18' 00" O ;14° 57' 32" S) e São José da Vitória (39° 20' 20" O; 15° 05' 02" S), Bahia. Os frutos foram despolidos manualmente e as sementes foram lavadas em água corrente. Após o procedimento de lavagem, as sementes foram secas à sombra, sobre papel toalha por 24 horas, em seguida foram germinadas em sementeira durante 55 dias. Após esse período as plantas foram divididas aleatoriamente em duas condições das raízes (com e sem deformação) e duas condições do solo (com e sem alagamento).

A repicagem foi realizada utilizando-se 100 plântulas com quatro centímetro de

comprimento e folhas cotiledonares totalmente expandidas. Nesse momento foi induzido as duas condições das raízes, ou seja, com (CD) e sem deformação (SD). A indução da deformação das raízes foi feita manualmente em 50% das plântulas por um único operador. Para isso, em metade das embalagens os orifícios para a acomodação das raízes tiveram 50% do comprimento total das mesmas e a outra metade teve o seu comprimento total preservado. O transplante foi realizado em sacos plásticos com aproximadamente 2 L de capacidade, contendo solo como substrato, previamente analisado. Posteriormente, os sacos plásticos foram colocados em tubos fabricados com cano de PVC com 100 mm de diâmetro e 250 mm de altura e tampa na parte inferior que contém dois furos laterais para permitir a drenagem da água.

O estudo foi realizado em três experimentos com duração de 199 dias, sendo que as plantas com e sem deformação radicular foram submetidas período de pré-alagamento (129 dias), alagamento (42 dias) e pós-alagamento (28 dias). No pré-alagamento, foi inserido um tubo de acesso até o terço médio do substrato em dezoito mudas de cada tratamento, para condução do sensor de medida do potencial de oxidação-redução do solo (Eh) (modelo 2300 ICEL ORP), o registro do Eh foi realizado aos 2, 7, 14, 21, 30 e 40 dias nas mudas alagadas. As condições climáticas no viveiro foram monitoradas durante o período experimental utilizando um sensor de radiação luminosa S-LIA-M002, acoplado a dataloggers Hobo Micro Station Data Logger H21-000 (Onset, USA) para a determinação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR). O sensor foi programado para realizar leituras pontuais em intervalos de 1 minuto e a cada dez minutos uma leitura foi armazenada. Para cada dia foi calculado o total diário de PAR ( $\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) somando-se todos os valores pontuais obtido pelo sensor durante o experimento. A partir dos valores obtidos de temperatura (T) e umidade relativa do ar (RH) foi calculado o déficit de pressão de vapor do ar (VPD). Durante o período do experimento foram registradas temperaturas médias diárias de 27,7°C e noturna de 23,0°C. A temperatura máxima diária registrada foi de 34,3°C, quanto ao déficit de pressão de vapor diário médio (VPDd) foi de 0,81 kPa e o máximo de 2,15 kPa (Tabela 1).

Tabela 1

## 2.2 Crescimento e partição de biomassa

No início dos experimentos foram avaliados, em nove plantas, a massa seca de raízes (RM), caules (SDM), folhas (LDM) e total (TDM) e área foliar total (LA). Ao final do pré-alagamento, alagamento e pós-alagamento as mesmas variáveis foram avaliadas em nove plantas por tratamento. Para obtenção da biomassa seca, as plantas foram coletadas, lavadas, separadas em raiz, caule e folhas, e colocadas individualmente em sacos de papel, devidamente

identificados e levados para secagem em estufa de ventilação forçada a 50° C até massa constante. A LA de cada planta foi obtida através de um medidor eletrônico de área foliar LI-3100 (Li-Cor, inc. Lincoln, Nebraska, USA). A partir dos dados de massa seca e área foliar (LA), foram calculadas a razão de área foliar:  $LAR = LA/TDM \text{ (dm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$ , a taxa de crescimento relativo:  $RGR = [\ln(TDM T_2 - \ln TDM T_1)]/T_2 - T_1 \text{ (mg g}^{-1} \text{ dia}^{-1}\text{)}$ , e a taxa de assimilação líquida:  $NAR = ((TDM_2 - TDM_1)/(T_2 - T_1) * (\ln(LA_2) - \ln(LA_1)) / LA_2 - LA_1) \text{ (g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}\text{)}$ , conforme Hunt (2017).

### **2.3 Trocas gasosas foliares**

A taxa fotossintética líquida (*A*) e a taxa de transpiração foliar (*E*), foram medidas utilizando-se um analisador de gases a infravermelho modelo Li-6400 (Li-Cor, USA), equipado com uma fonte de luz artificial 6400-02B RedBlue. As mensurações foram feitas numa folha madura e completamente expandida, sempre entre 8 e 11:00 h, sob radiação fotossinteticamente ativa (RFA) artificial de 1000  $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em n\u00edvel de folha, e em torno de  $390 \pm 10 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$ , em nove mudas por tratamento. Durante as medi\u00e7\u00f5es a temperatura do bloco foi mantido em  $28 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  e a umidade relativa  $65\% \pm 5$ . A concentra\u00e7\u00e3o intercelular de  $\text{CO}_2$  ( $C_i$ ) e a condut\u00e2ncia estom\u00e1tica ao vapor de \u00e1gua ( $g_s$ ) foram calculadas pelo referido equipamento a partir dos valores de *A* e *E* (Von Caemmerer; Farquhar, 1981).

### **2.4 Avalia\u00e7\u00e3o nutricional**

Ao final do p\u00f3s-alagamento do solo, as plantas foram coletadas, lavadas, separadas em raiz, caule e folhas e colocadas para secagem em estufa a 50 °C at\u00e9 se obter a massa constante. Ap\u00f3s a secagem, as amostras foram mo\u00eddas em moinho de bola (Tecnal, modelo TE-3500) separadamente para folhas, caules e ra\u00edzes, foi utilizado 0, 200 mg de cada amostra para an\u00e1lise do teor de macronutrientes.

As concentra\u00e7\u00f5es de pot\u00e1ssio (K) e f\u00f3sforo (P) foram determinadas no extrato de digest\u00e3o n\u00edtrico-percl\u00f3rica e, nitrog\u00eanio (N) no extrato de digest\u00e3o sulf\u00farica (Embrapa, 2009). A leitura de P foi realizada por espectrofotometria de absor\u00e7\u00e3o molecular e K por fotometria de emiss\u00e3o de chamas. O N foi dosado por titula\u00e7\u00e3o com HCl, ap\u00f3s destila\u00e7\u00e3o (Embrapa, 2009), no Laborat\u00f3rio de An\u00e1lises de Tecido Vegetal do Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC/CEPLAC).

### **2.5 Delineamento experimental**

Essa pesquisa foi organizada em tr\u00eas experimentos (pr\u00e9-alagamento, alagamento e o p\u00f3s-alagamento). Para todos os experimentos foi adotado o delineamento experimental totalmente

ao acaso. No experimento I (pré-alagamento) foram consideradas duas condições de raízes, com e sem deformação, e nove repetições por tratamento, totalizando 18 plantas. Nos experimentos II e III (alagamento e pós-alagamento) foi utilizado o arranjo fatorial 2 x 2, considerando o fator disponibilidade hídrica (alagado e não alagado) e o fator condição de deformação (com e sem deformação), com 9 repetições, totalizando 36 plantas.

## 2.6 Análise estatística

Para a análise estatística do experimento, todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey em nível de 5% de significância com a utilização do programa estatístico R.

## 3. RESULTADOS

Ao longo dos 199 dias da pesquisa, dividida em pré-alagamento, alagamento e pós-alagamento, 100% das plantas sobreviveram. Ao final do período de pré-alagamento, as plantas sem e com deformação de raízes não apresentaram diferenças significativas quando foram avaliadas as trocas gasosas foliares ( $A$ ,  $g_s$  e  $C_i/C_a$ ), a alocação de biomassa (LA e LAR) e o crescimento (RGR e NAR) (Tabela 2).

### Tabela 2

Ao decorrer dos 42 dias de alagamento, os valores médios de potencial de oxidação-redução do solo (Eh) decresceram rapidamente, tanto para as plantas sem, quanto para plantas com deformação das raízes (Figura 1). No entanto, dois dias após o início do alagamento foram observados menores valores de Eh para as plantas com deformação de raízes (-28,92 mV) quando comparadas as plantas sem deformação (-10,59 mV). Após os 14 dias do início do alagamento os valores de Eh permaneceram estáveis e próximos entre os tratamentos até a drenagem da água dos vasos, sendo que os valores médios de Eh chegaram a -233,10 mV e -236,70 mV para plantas sem e com deformação de raízes, respectivamente.

### Tabela 3

Ao final do alagamento, as variáveis de alocação de biomassa e crescimento (LA, LAR, RGR e NAR) não foram influenciadas pela deformação das raízes e alagamento, sem ocorrência de interação (Tabela 4). Associado a isso, nas plantas alagadas foi observado o surgimento de lenticelas hipertrofiadas e a formação de raízes adventícias. Além disso, algumas plantas alagadas apresentaram clorose e abscisão foliar.

### Tabela 4

Ao término do período de alagamento as plantas sem e com deformação de raízes e

submetidas ao alagamento do solo, apresentaram decréscimos significativos na ordem de 53% e 52% para *A* e *gs*, respectivamente, em relação as plantas não-alagadas (Tabela 3). Foi observado efeito isolado da deformação de raízes para a razão *Ci/Ca* com diminuição de 8% nas plantas com deformação em relação a plantas sem deformação na raiz (Tabela 4).

A relação *LA/RM* nas plantas, ao final do alagamento (42 dias) e pós-alagamento (28 dias), foi fortemente influenciada pelo alagamento e pela deformação das raízes. Foi verificada tendência de aumento de 11% e 16% para a razão *LA/RM* nas plantas com deformação de raízes e alagadas, respectivamente, em relação às plantas sem deformação e não-alagadas (Tabela 4).

Ao término do período de pós-alagamento do solo (28 dias), apenas o fator alagamento foi significativo, para todas as variáveis, com exceção do *LA* e *A* (Tabela 5).

Para *LA/RM*, *LAR*, *RGR* e *NAR*, foi verificado efeito do pós- alagamento de modo isolado nas plantas alagadas. No final do pós-alagamento do solo. A *LA/RM* apresentou acréscimo de 61% em plantas alagadas em relação a plantas não-alagas. Ao passo que, a *LAR* teve decréscimo de 17% nas plantas não-alagadas em relação as alagadas. Por outro lado, para *RGR* e *NAR* foi observado aumento de 57% e 55%, respectivamente maiores em plantas não-alagadas em relação as plantas alagadas (Tabela 5). Além disso, as plantas que foram retiradas da condição de alagamento não conseguiram retomar o crescimento. Para as trocas gasosas foliares, ao final do pós-alagamento as plantas sem e com deformação, não-alagadas e alagadas não apresentaram diferenças significativa para *A*. Contudo, as plantas não-alagadas apresentaram diminuições de 12% e 4% em *gs* e *Ci/Ca*, respectivamente, em relação as plantas alagadas (Tabela 5).

#### Tabela 5

Ao avaliar os impactos do alagamento e do pós-alagamento nas plantas, associados a deformações no sistema radicular, foi verificado, ao longo de todo o período experimental (199 dias), variações no padrão de alocação de biomassa de raiz, caule e folha (Figura 1). Ao final do pré-alagamento, as variações no padrão de alocação de biomassa foram maiores para folha e raiz quando comparada a caule no mesmo período (Figura 1). Por outro lado, a alocação de biomassa entre os órgãos no alagamento e no pós-alagamento apresentaram tendências de respostas similares para plantas com e sem deformação, alagadas e não-alagadas (Figura 1).

Ao término do pré-alagamento, a alocação média de biomassa entre os tratamentos correspondeu a 45% da biomassa de folha, enquanto a biomassa de caule 10% e a biomassa de raiz 45%. A partição para folha foi 2, 2 vezes maior ao final do pré-alagamento quando comparado com o alagamento e ao pós-alagamento (Figura 1). Por sua vez, ao término do período de alagamento plantas não-alagadas apresentaram alocação média entre os tratamentos



para biomassa de folhas, caule e raiz de 21%, 36% e 42%, respectivamente. Ao passo que, plantas submetidas ao alagamento durante 42 dias apresentaram partição média de 23%, 42% e 36% na biomassa de folhas, caule e raízes, respectivamente. A partição para caule ao final do alagamento foi 4,5 vezes maior em relação ao pré-alagamento (Figura 1). No pós-alagamento, as plantas não-alagadas apresentaram alocação média entre os órgãos de 20%, 33% e 47% para folhas, caule e raízes, respectivamente. Por outro lado, as plantas que foram retiradas da condição de alagamento, a alocação média entre os órgãos correspondeu a 24%, 40% e 36% da biomassa de folha, caule e raiz (Figura 1).

#### Figura 1

Ao final do pós-alagamento do solo, foi verificado que a deformação de raízes e o alagamento promoveram alterações no teor dos nutrientes na raiz, caule e folha nas plantas (Tabela 6). Em relação ao teor de N em folhas, observou-se que não há efeito significativo da deformação de raízes e do pós-alagamento de forma isolada, ou da interação dos dois fatores. Ao passo que, foi observado para o teor de P em folhas, efeito significativo ao pós-alagamento de forma isolada e interação entre a deformação de raízes e o pós-alagamento, com diminuição significativa de 10% e 90%, respectivamente, em folhas de plantas com deformação de raízes e plantas alagadas, em relação a plantas sem deformação de raízes e não-alagadas. Verificou-se apenas efeito significativo isolado do pós-alagamento no teor de K em folhas, com decréscimo de 24% nas folhas de plantas alagadas, em relação a plantas não-alagadas (Tabela 6).

Ao término do pós-alagamento, em relação ao teor de N no caule, notou-se efeito significativo da deformação de raízes e do pós-alagamento de forma isolada, com decréscimos de 15% e 11% em plantas com deformação de raízes e alagadas, em relação a plantas sem deformação de raízes e não-alagadas. Não houve interação entre a deformação de raízes e o pós-alagamento (Tabela 6). Para o teor de P no caule, foi verificado apenas efeito significativo isolado do pós-alagamento, com decréscimo de 47% no caule de plantas alagadas, em relação as plantas não-alagadas. Em relação ao teor de K no caule, observou-se que não há efeito significativo da deformação de raízes e do pós-alagamento de forma isolada, assim como não há interação entre os fatores (Tabela 6).

Após os 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento), em relação ao teor de N na raiz, não foi verificado resposta significativa a deformação de raízes e ao alagamento de forma isolada e nem interação entre ambos fatores (Tabela 6). Observou-se que em relação ao teor de P na raiz, não há efeito significativo a deformação de raízes e ao pós-alagamento de forma isolada e nem interação entre ambos fatores de estresse (Tabela 6). Ao passo que para o teor de

K na raiz, foi observado resposta significativa apenas a deformação de raízes de forma isolada, com acréscimo de 263% na raiz de plantas com deformação de raízes, em relação a plantas sem deformação de raízes (Tabela 6). Para o teor de N na razão folha/raiz, não foi observado efeito significativo a deformação de raízes e ao alagamento de forma isolada e nem interação entre ambos fatores (Tabela 6). Em relação ao teor de P na razão folha/raiz, foi verificado apenas efeito significativo isolado do pós-alagamento, com decréscimo de 58% em plantas alagadas, em relação as plantas não-alagadas. Ao passo que, foi observado para o teor de K na razão folha/raiz, apenas efeito significativo a deformação de raízes, com decréscimo de 71 % para plantas com deformação de raízes, em relação a plantas sem deformação de raízes (Tabela 6).

#### Tabela 6

Ao término do pós-alagamento, em relação aos efeitos das duas condições de raízes sobre o teor de P nas folhas, foi verificado diminuição significativa de 69%, em folhas de plantas sem deformação de raízes e alagadas. Ao passo que, foi observado decréscimo de 55%, em folhas de plantas com deformação de raízes e alagadas (Figura 2).

#### Figura 2

Ao avaliar os efeitos do pós-alagamento (28 dias), associados a deformações de raízes, foi verificado, variações no padrão de alocação de nutrientes na raiz, caule e folha (Figura 3). Em relação a distribuição de N nos órgãos, plantas sem deformação de raízes e não-alagadas apresentaram partição de 46%, 23% e 33% nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Por sua vez, plantas sem deformação de raízes e alagadas apresentaram distribuição de 38%, 28% e 33%, nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Ao passo que, plantas com deformação de raízes e não-alagadas apresentaram partição de 28%, 25% e 45% nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Após 28 dias do período de pós-alagamento, as plantas com deformação de raízes e alagadas apresentaram alocação entre os órgãos de 37%, 32% e 30% para folhas, caule e raízes, respectivamente (Figura 3-A).

Após a drenagem do solo (pós-alagamento), em relação a alocação de K nos órgãos, plantas sem deformação de raízes e não-alagadas apresentaram alocação de 43%, 23% e 35% nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Foi verificado que, plantas sem deformação de raízes e alagadas apresentaram distribuição de 35%, 34% e 31%, nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Ao passo que, plantas com deformação de raízes e não-alagadas apresentaram partição de 15%, 13% e 71% nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Por sua vez, plantas com deformação de raízes e alagadas apresentaram alocação entre os órgãos de 22%, 22% e 56% para folhas, caule e raízes, respectivamente (Figura 3-B). Quanto a distribuição de P entre

os órgãos ao final dos 28 dias após a drenagem do solo, observou-se alocação de nutrientes em plantas sem deformação de raízes e não-alagadas de 37%, 36% e 26% nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Foi verificado que, plantas sem deformação de raízes e alagadas apresentaram distribuição de 21%, 47% e 32%, nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Por sua vez, plantas com deformação de raízes e não-alagadas apresentaram partição de 24%, 39% e 36% nas folhas, caules e raízes, respectivamente. Ao passo que, plantas com deformação de raízes e alagadas apresentaram alocação entre os órgãos de 24%, 35% e 40% para folhas, caule e raízes, respectivamente (Figura 3-C).

Figura 3

#### **4. DISCUSSÃO**

As plantas sem e com deformação de raízes submetidas ao alagamento do solo, não morreram independente do tempo de imposição do estresse e da deformação de raízes, evidenciando a tolerância da espécie para o alagamento, conforme verificado por Mielke et al. (2003). A exposição de determinadas espécies arbóreas a alagamento do solo, é um dos fatores de seleção que permite identificar o grau de tolerância, assim como as respostas adaptativas a esse ambiente (Campos; Uchida 2002). Neste contexto, as matas ciliares são áreas que estão sujeitas ao alagamento do solo periódico ou permanente (Rodrigues; Nave, 2000), e são diretamente afetadas pelo processo de fragmentação e/ou degradação florestal.

As quedas nos valores de RGR quando comparados os períodos de pré-alagamento, alagamento e pós-alagamento, ocorreram devido às mudanças na alocação de biomassa em escala de planta inteira, e decréscimos em gs em função das variações do DPV ao longo do experimento. O DPV é um fator ambiental que tem relação direta com o decréscimo na gs, que afeta NAR e, conseqüentemente RGR (Flexas; Medrano, 2002). Desse modo, fatores de estresse ambiente podem levar a alterações na taxa fotossintética da planta, ocasionando decréscimos no ganho líquido de biomassa e, conseqüentemente, no crescimento e sobrevivência das espécies (Poorter, 1999).

O processo de aclimação depende da capacidade da planta em alterar tanto a alocação de biomassa em escala de planta inteira, quanto a capacidade fotossintética, de modo a obter o maior ganho de carbono. A eficiência do crescimento e desenvolvimento das espécies está relacionada com a capacidade de aclimação ao ambiente, que é bastante dinâmico (Zanella et al., 2006). Assim, a rápida capacidade de uma determinada espécie em aclimatar-se as mudanças no ambiente florestal, é atribuída às alterações morfofisiológicas e anatômicas, que permitem que ocorra a otimização na utilização de recursos naturais, como luz, água e nutrientes

(Dias-Filho, 1997; Valladares et al., 2000).

Alterações nas variáveis de crescimento podem prever o grau de adaptação das espécies arbóreas a diferentes condições ambientais. Isso porque as variações no RGR refletem diretamente o efeito do estresse na alocação de biomassa total na planta (Chiariello et al., 1991), como observado nas plantas submetidas ao alagamento e a deformação das raízes durante todo o período experimental.

A ausência de diferenças significativas entre plantas sem e com deformação durante o pré-alagamento (129 dias) pode estar relacionada a idade das plantas e com as próprias características da espécie, pois *G. americana* é considerada com uma planta rústica e resistente, e de fácil adaptação vários tipos de climas e solos (Corrêa, 1978; Lorenzi, 1992; Villachica et al., 1996; Prudente, 2002). Assim sendo, para *G. americana* não foi observada a relação direta entre grau de deformação da raiz e as características da espécie como proposto por Schmidt-Voigt, 1984 e Mattei, 1993.

Os valores médios do Eh chegaram a - 233,10 mV e - 236,70 mV em plantas sem e com deformação, respectivamente, indicando que as raízes das plantas alagadas estavam em condições anaeróbicas, o que confirma os efeitos do alagamento do solo. Solos com boa drenagem apresentam Eh variando de 400 a 700 mV, entretanto quando submetidos a condições de anoxia, esses valores podem chegar a - 300 mV (Lehmann; Vinatea, 2008). Para *G. americana*, foram observados decréscimos significativos no Eh no solo de plantas alagadas com deformação de raízes, o que pode prever que essas plantas apresentaram restrições na difusão de gases com a atmosfera muito mais rápido, o que acarretou no esgotamento do oxigênio para a respiração das raízes (Pezeshki, 2001), fato que pode estar relacionado com a deformação das raízes. Em condições de alagamento, o estado de equilíbrio dos elementos e compostos do solo é alterado, o que leva a mudanças nas propriedades físicas, químicas e biológicas, sendo a mais significativa o decréscimo no Eh do solo (Lima et al., 2005). Nestas condições, quanto mais reduzido estiver o solo, ocorre uma maior demanda por oxigênio, ocasionando um estresse adicional para as raízes (Pezeshki, 2001).

A ausência de efeitos significativos para deformação de raiz ao final do período de alagamento, pode estar relacionada com as alterações morfológicas observadas nas plantas, tais como hipertrofia de lenticelas e o surgimento de raízes adventícias promovidas em resposta ao alagamento do solo, que podem ter suplantado os impactos da deformação na espécie. A hipertrofia de lenticelas e as raízes adventícias atuam como mecanismos importantes para aumentar a difusão de oxigênio entre as raízes a partir da atmosfera (Ojeda et al., 2004; Visser, et al., 2016), além disso, permitem a volatilização de compostos fitotóxicos, como o acetaldeído

e etanol (Xu et al., 2013; Zang et al., 2015; Maurel et al., 2015). A formação de raízes adventícias e hipertrofia de lenticelas são características morfológicas importantes observadas em espécies tolerantes ao alagamento do solo (Pereira e Kozlowski, 1977; Tsukahara e Kozlowski, 1985; Kozlowski, 2002; Mielke et al., 2003; Mielke et al., 2005a; 2005b). Estas alterações em plantas quando em condição de alagamento, tem por finalidade melhorar a difusão do oxigênio atmosférico para os tecidos internos (Armstrong, 1980; Sauter, 2013). Muitas plantas alagadas apresentam perdas de partes do sistema radicular devido à diminuição do Eh que pode ser atribuída a síntese de compostos fitotóxicos pelas próprias raízes (Ponnamperuma, 1972; Kozlowski, 1997), ou ainda devido ao rápido consumo do oxigênio do solo dando início a respiração anaeróbica (Ponnamperuma, 1972; Messias et al., 2013).

Para *G. americana* a menor assimilação de carbono (*A*) teve efeito direto nos valores RGR e NAR. O decréscimo na taxa fotossintética líquida observada nas plantas alagadas tem uma relação direta com o decréscimo na condutância estomática (Kozlowski, 1997; Kozlowski, 2002; Pezeshki; DeLaune, 2012) que pode ter sido potencializado devido a redução do Eh do solo (Pezeshki e DeLaune, 1998; Pezeshki ; DeLaune, 2012. De fato, decréscimos observados em *A* podem ser considerados como uma estratégia eficaz para diminuir a demanda metabólica durante períodos de estresse por alagamento (Dalmagro et al., 2013). Além disso, aos danos nas raízes, podem ser atribuídos parte da diminuição das taxas de assimilação de carbono quando as plantas estão em condição de alagamento (Figura 3), uma vez que comprometem a absorção e transporte de água e assimilação de nutrientes do solo (Santiago;Paoli , 2007; Herrera, 2013).

A diminuição na assimilação líquida de carbono nas plantas ocorre principalmente em resposta a limitação estomática (Mielke et al., 2003; Striker, 2012). Menores valores de *g<sub>s</sub>* sob condição de alagamento ocorrem em função de um aumento da síntese de ácido abscísico (ABA) (Cabelo et al., 2014), decorrente da menor condutividade hidráulica da raiz em virtude da redução da síntese e atividade das aquaporinas (Herrera et al. 2008; Herrera, 2013).

Ao final do pós-alagamento do solo, as plantas que foram retiradas da condição de alagamento não conseguiram retomar o crescimento. Esse fato pode estar relacionado ao curto tempo de análise após a drenagem (28 dias), o que não permitiu observar a recuperação de plantas. Entretanto, foi possível observar o restabelecimento de *A* e *g<sub>s</sub>*, o que nos permite inferir que houve a recuperação da atividade fotossintética (Voesenek; Bailey-Serres 2015). Quando o alagamento cessa, para que ocorra um bom ajuste fisiológico das plantas, é necessário que ocorra a ativação de enzimas antioxidantes no intuito de controlar as espécies reativas de oxigênio (ROS) formadas pela reoxigenação do solo (Pociecha 2013; Voesenek; Bailey-Serres 2015). Por outro lado, quando os mecanismos de ajustes não são eficientes no pós alagamento,

podem ocorrer danos às membranas celulares o que pode afetar a integridade celular (Kozlowski; Pallardy 1979; Voeselek; Bailey-Serres 2015) e, conseqüentemente baixa taxa de sobrevivência após drenagem.

Ao final da drenagem do solo, foi possível observar que não só o alagamento, mas também a deformação de raízes promove alterações na absorção e distribuição nos teores de nutrientes importantes como N, P, K na raiz, caule e folha nas plantas de *G. americana*, sobretudo na parte aérea. Considerando que N, P e K são macronutrientes essenciais, uma vez, que estão envolvidos na formação da molécula de clorofila e como componentes celulares e dos carboidratos (Drew, 1997; Kozlowski, 1984; Pezeshki, 1994), o desbalanço nutricional entre os órgãos da planta para estes nutrientes tem efeito direto no crescimento vegetal. Muitas plantas, após a drenagem do solo, apresentaram diminuição nos teores de macronutrientes N, P e K, principalmente na parte aérea da planta. Esse fato pode ser atribuído, sobretudo, em decorrência da pouca mobilidade, acarretado pela deformação de raízes nas plantas. Essa limitação faz com que não haja redistribuição dos nutrientes para os demais órgãos, com isso, as plantas com deformação de raízes apresentam altos teores de nutrientes N, P, K nas raízes, principalmente K.

Em condições de anóxia, há uma substituição de organismos aeróbios por organismos anaeróbios, o que contribui para o acúmulo de compostos fitotóxicos, a exemplo de ferro e manganês ( $Fe^{+2}$  e  $Mn^{+2}$ ), e ao mesmo tempo, queda do Eh e, por conseqüência, ocorre danos as raízes, o que leva a alterações na condutividade hidráulica (Voeselek, 2015), com implicações direta na nutrição mineral da planta. Nestas condições, ocorre uma distribuição insuficiente de nutrientes para os diversos órgãos da planta, dessa forma, danos relacionados a deficiência nutricional são comuns em plantas alagadas (Lobo; Joly, 2000), além disso, plantas com deformação de raízes são mais afetadas, devido ao dobramento da raiz que impede a translocação eficiente dos nutrientes pela planta.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que o experimento foi realizado, foi possível concluir que: a) não houve efeitos da deformação de raízes na fotossíntese e no crescimento inicial de plantas de *Genipa americana* em condição de viveiro; b) a deformação das raízes não retarda o processo de recuperação de plantas após o alagamento do solo, uma vez que houve recuperação da atividade fotossintética; c) a deformação de raízes altera a distribuição dos nutrientes na planta.

## AGRADECIMENTOS

Catriane Sousa Santos agradece a FAPESB pela bolsa de Mestrado.

## 6. REFERÊNCIAS

- Andrade, A. C. S.; Ramos, F.N.; Souza, A.F.; Loureiro, M. B. E Bastos, R. Flooding effects in seedlings of *Cytherexylum myrianthum* Cham. and *Genipa americana* L.: responses of two neotropical lowland tree species. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, p. 281-285, 1999.
- Alves, P.L.; Magalhães, A.C.N.; Barja, P.R. The phenomenon of photoinhibition of photosynthesis and its importance in reforestation. **The Botanical Review**, v. 68, n. 2, p. 193- 208, 2002.
- Amoroso, G.; Frangi, P.; Piatti, R.; Ferrini, F.; Fini, A.; Faoro, M. Effect of container design on plant growth and root deformation of Littleleaf Linden and Field Elm. **HortScience**, v.45, p1824–1829, 2010.
- Armstrong, W. Aeration in Higher Plants. **in Advances in Botanical Research**, v. 7, p.225-332, 1980.
- Blom, C.W.P.M., Voeseck, L.A.C.J. Flooding: The survival strategies of plants. **Trends in Ecology & Evolution**, v.11, p.290-295, 1996.
- Bailey-Serres, J.; Voeseck, L.A.C.J. Flooding stress: acclimations and genetic diversity. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.313-339, 2008.
- Barroso, D. G. et al. Efeitos do recipiente sobre o desempenho pós-plantio de *Eucalyptus camaldulensis* e *E. urophylla*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 24, n. 3, p. 291-296, 2000.
- Barlow, J. et al. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 2016.

- Barlow, J. et al. The future of hyperdiverse tropical ecosystems. **Nature**, v. 559, n. 7715, p. 517–526, 2018.
- Baccini, A. et al. Tropical forests are a net carbon source based on aboveground measurements of gain and loss. **Science (New York, N.Y.)**, v. 358, n. 6360, p. 230–234, 2017.
- Biondi, D.; Leal, L.; Cobalchini, J. L. Tratamentos silviculturais em mudas de *Allophylus edulis* (A. St.-Hil., Cambess; A. Juss.) Radlk. para arborização de rua. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 437-444, 2007.
- Cabello, J. V.; Lodeyro, A. F.; Zurbriggen. Novel perspectives for the engineering of abiotic stress tolerance in plants. **Revista Current Opinion in Biotechnology**, v.26, p.2-70, 2014.
- Carneiro, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba/PR: UFPR/FUPEF, 451p. 1995.
- Campos, M.A.A.; Uchida, T. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, n.3, p.281-288, 2002.
- Chiarello, N.R.; Mooney, H.A. Williams, K. Growth carbon allocation and cost of plant tissues. In: R.W. Pearcy; J. Ehleringer; H.A. Mooney, P.W. Rundel (eds.). **Plant Physiological Ecology**, p.327-366,1991.
- Correa, M. P. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro, IBDF.1978.
- Costa, M. C.; Albuquerque, M. C. F.; Albrecht, J. M. F. et al. Substratos para produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana*). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35. p. 19-24. 2005.
- Cronk, J.K., Fennessy, M.S. Wetland plants: biology and ecology, **American Journal of Botany**, v. 95, p.516–519, 2001
- Dalmagro, H. J.; de Lobo, F. A.; Vourlitis, G. L.; Dalmolin, Â. C.; Antunes JR. M. Z.; Ortíz, C. E. R.; Nogueira, J. de S. Photosynthetic parameters of two invasive tree species of the Brazilian Pantanal in response to seasonal flooding. **Revista Photosynthetica**, v.51, p. 281-294, 2013.
- Dias-Filho, M.B. Physiological response of *Solanum crinitum* Lam. to contrasting light environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, p.789-796,1997.
- Duboc, E. Erva-Mate: Parâmetros para seleção de planta matriz e área de coleta de sementes. **Circular técnica**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2014.
- Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2ª ed. 2009.
- Drew, M .C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia



- and anoxia. **Annual review of plant biology**, v. 48, n.1, p. 223-250, 1997.
- Francis, J. K. *G. americana*. Jagua, genipa. New Orleans, L.A: US. Department of Agriculture, Forest Service, **Southern Forest experiment Station**, 5p. 1993.
- Ferreira, W. R.; Ranal, M.; Dorneles, M. C.; Santana, D. G. Crescimento de mudas de *G. americana* submetidas a condições de pré-semeadura. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p.1026-1028, 2007.
- Flexas, J., Medrano, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of Botany**. v.89, p.183–189, 2002.
- Gomes, A.R.S., Kozlowski, T.T. Growth responses and adaptations of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings to flooding. **Plant Physiol**, v.66, p.267–271.1980.
- Gomes, J.M. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagens de N-P-K. Viçosa, 2001.126p. **Tese (Doutorado em Ciências Florestais)** - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- Gonçalves, C. J. F.; Melo, F. E. G.; Ferreira, M. J.; Silva, C. E. M., Gomes, I. B. Crescimento, partição de biomassa e fotossíntese em plantas jovens de *Genipa spruceana* submetidas ao alagamento. **Cerne**, v.19, p.193-200, 2013.
- Hameed, M.A.; Reid, J.B.; Rowe R.N. Root confinement and its effects on the water relations, growth and assimilate partitioning of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Annals of Botany**, v.59, p.685-692, 1987.
- Haddad, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v. 1, n. 2, p. 150- 152, 2015.
- Herrera, A. Responses to flooding of plant water relations and leaf gas exchange in tropical tolerant trees of a black-water wetland. **Frontiers in Plant Science. Sci.**v.4, p.1-12, 2013.
- Herrera, A.; Tezara, W.; Marín, O.; Rengifo, E. Stomatal and non-stomatal limitations of photosynthesis in trees of a tropical seasonally flooded forest. **Revista Physiologia Plantarum**, v. 134, p. 41-48, 2008.
- Hunt, T. Growth analysis, individual plants, in: Thomas, B., Murray, B.G., Murphy, D.J. (Eds.) Encyclopedia of Applied Plant Sciences, Second Edition, Volume 1, **Plant physiology and development**. Academic Press is an imprint Elsevier, p. 421-429, 2017.
- Kato, Y.; Okami, M. Root morphology, hydraulic conductivity and plant water relations of high-yielding rice grown under aerobic conditions. **Annals of Botany**. **Annals of Botany**, v.108, p.575–583, 2011.
- Kozlowski, T.T. Variations among woody angiosperms in response to flooding. **Plant**

- Physiology**, v.41, p.184-192, 1977.
- Kozlowski, T.T, Pallardy, S.G. Stomatal responses of *Fraxinus pennsylvanica* seedlings during and after flooding. **Plant Physiology**, v.46, p.155-158, 1979.
- Kozlowski, T.T, Pallardy, S.G. Effect of flooding on water, carbohydrate, and mineral relations. **Flooding and plant growth**, p. 165-193, 1984.
- Kozlowski, T.T. Responses of woody plants to flooding and salinity. **Tree Physiology**, v.1, p.1-29, 1997.
- Kozlowski, T.T. Physiological-ecological impacts of flooding on riparian forest ecosystems. **Wetlands**, v.22, p.550-561, 2002.
- Lavinsky, A.O.; Sant'ana, C.S.; Mielke, M.S.; Almeida, A-A.F.; Gomes, F.P.; França, S.; Silva, D.C. Effects of light availability and soil flooding on growth and photosynthetic characteristics of *Genipa americana* L. seedlings. **New Forests**, Berlin, v.34, p.41-50, 2007.
- Lehmann, M.; Vinatea, L. Metodologia de amostragem de solo para a determinação do potencial redox em viveiros de cultivo de água doce e salgada. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v.34, n.1, p.131-140, 2008.
- Lima, H. N.; Mello, J.W.V. de; Schaefer, C.E.G.R.; Ker, J.C. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. **Acta Amazônica**, Manaus, v.35, n.3, p. 317-330. 2005.
- Lima, B. C.; Francisco, C. N.; Bohrer, C. B. A. Deslizamentos e fragmentação florestal na região serrana do Estado do Rio de Janeiro. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1283–1295, 2017.
- Livingston, W.H. *Armillaria ostoyae* in young spruce plantations. **Canadian Journal Forest Research**, v.20, p.1773–1778, 1990.
- Lindstrom, A.; Rune, G.; Root deformation in plantations of container-grown Scots pine trees: Effects on root growth, tree stability and stem straightness. **Plant Soil**, v. 217, p.29–37,1999.
- Lobo, P. C; Joly, C. A. Aspectos ecofisiológicos da vegetação de mata ciliar do sudeste do Brasil. **Matas ciliares: conservação e recuperação**, v. 1, 2000.
- Lorenzi, H. Árvores brasileiras: manual de identificação de plantas arbóreas nativas do Brasil. São Paulo, **Plantarum**. 1992.
- Macedo, A. C.; Kageyama, P. Y.; Costa, L.G.S. da. **Produção de Mudanças em viveiros florestais**. São Paulo: Fundação Florestal, 1993. 18 p.
- Messias, I. A.M. Guimarães, C. E., Silva S, A, R., Johnson, M. S., Borges, P, J. O. Monitoramento contínuo do potencial redox e de variáveis complementares em ambiente hipersazonal no Pantanal Norte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 632-639,

2013.

- Maurel, C., Boursiac, Y., Luu, D. T., Santoni, V., Shahzad, Z., Verdoucq, L. Aquaporins in plants. **Revista Physiological reviews**, v. 95 p. 1321-1358, 2015.
- Medina, C.L.; Sanches, M.C.; Tucci, M.L.S.; Sousa, C.A.F.; Cuzzuol, G.R.F.; Joly, C.A. *Erythrina speciosa* (Leguminosae-Papilionoideae) under soil water saturation: morphophysiological and growth responses. **Annals of Botany**, Oxford, v.104, p.671-680, 2009.
- Mielke, M.S., Almeida, A.A.F., Gomes, F.P., Aguilar, A.G., Mangabeira, P.A.O. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and growth responses of *Genipa americana* seedlings to soil flooding. **Environmental and Experimental Botany**, v.50, p.221-231, 2003.
- Mielke, M.S., Almeida, A.A.F. DE, Gomes, F.P., Mangabeira, P.A.O., Costa, S. D. Effects of soil flooding on leaf gas exchange and growth of two neotropical pioneer tree species. **New Forests**. v.29, p.161-168, 2005a.
- Mielke, M.S., Matos, E.M., Couto, V.B., Almeida, A.A.F., Gomes, F.P., Mangabeira, P.A.O. Some photosynthetic and growth responses of *Annona glabra* L. seedlings to soil flooding. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p.905-911, 2005b.
- Mielke, M.S., Schaffer, B. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence and pigment indexes of *Eugenia uniflora* L. in response to changes in light intensity and soil flooding. **Tree Physiology**, v.30, p.45-55, 2010.
- Novaes, A. B. et al. Comportamento de mudas de *Pinus taeda* produzidas em raiz nua e em dois tipos de recipientes, 24 meses após o plantio. **Floresta**, Curitiba, n. 31, p. 62-71, 2002.
- Netto-Torres, A.; Campostrini, E.; Gomes, M. M. A. Efeitos do confinamento radicular nas medidas biométricas e assimilação de CO<sub>2</sub> em plantas de *Coffea canéfora* Pierre. **Revista Brasileira de Agrobiociências**, v.12, p. 295-303, 2006.
- Ojeda, M.G.; Schaffer, B.; Davies, F.S. Flooding, root temperature, physiology, and growth of two *Annona* species. **Tree Physiology**, Oxford, v.24, p.1019-1025, 2004.
- Ortega, U.; Majada, J.; Mena-Petite, A.; Sanchez- Zabala, J.; Rodriguez-Iturrizar, N.; Txarterina, K.; Azpitarte, J.; and M. Dunabeitia. Field performance of *Pinus radiata* D. Don produced in nursery with different types of containers. **New Forestry**, v.31, p.97-112, 2006.
- Paz, H. Root/shoot allocation and root architecture in seedlings: Variations among forest sites, microhabitats and successional groups. **Biotropica**, v.35, p.318-332, 2003.
- Pezeshki, S.R. Responses of baldcypress (*Taxodium distichum*) seedlings to hypoxia: leaf protein content, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase activity and photosynthesis. **Photosynthetica**. V.30, p. 59-68, 1994.

- Pezeshki, S.R. Wetland plant responses to soil flooding. Environ. **Journal of Experimental Botany**, v.46, p.299-312, 2001.
- Pezeshki, S.R., Delaune, R.D. Responses of seedlings of selected woody species to soil oxidation-reduction conditions. Environ. **Journal of Experimental Botany**, v.40, p.123-133, 1998.
- Pezeshki, S.R., Delaune, R.D. Soil oxidation-reduction in wetlands and its impact on plant functioning. **Biology**, v.1, p.196-221, 2012.
- Pociecha, E. Different physiological reactions at vegetative and generative stage of development of field bean plants exposed to flooding and undergoing recovery. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.199, p.195–199, 2013.
- Ponnamperuma, F.N. The Chemistry of Submerged Soils. **Advances in Agronomy**, v.24, p.29-96, 1972.
- Poorter, L. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, v.13, p.396-410, 1999.
- Raij, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres: Potafos, p.343, 1991.
- Reis, G. G. et al. Efeito da poda de raízes sobre a arquitetura do sistema radicular e o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora* produzidas em tubetes. **Revista Árvore**, v.15, p.43- 54, 1991.
- Rieger, M.; Marra, F. Responses of young peach trees to root confinement. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, p.223-228, 1994.
- Rodrigues, R. R.; Nave, A. G. **Heterogeneidade Florística das Matas Ciliares**. In: Rodrigues, R. R.; Leitão Filho H. F. (eds.). *Matas Ciliares: Conservação e Recuperação*. 3 ed. São Paulo: EDUSP/FAPESP, p. 45-72, 2000.
- Salvador, J.L.G. Comportamento de espécies florestais nativas em áreas de depleção de reservatório. Piracicaba. **Revista IPEF**, v. 33:73-78, 1986.
- Santiago, E. F.; Paoli, A. A. S. Respostas morfológicas em *Guibourtia hymenifolia* (Moric.) *J. Leonard* (Fabaceae) e *Genipa americana* L.(Rubiaceae), submetidas ao estresse por deficiência nutricional e alagamento do substrato. **Brazilian Journal of Botany**, p. 131-140, 2007.
- Sauter, M. Root responses to flooding. **Current Opinion in Plant Biol**, v.16, p.282-286, 2013.
- Schmidt et al. Community-based native seed production for restoration in Brazil – the role of science and policy. **Plant Biology**, 2018.

- Silva et al. Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil? **Restoration Ecology**, v. 25 p. 509-515, 2016.
- Slik et al. An estimate of the number of tropical tree species. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 24, p. 7472-7477, 2015.
- Simões, J. W. A problemática de produção de mudas de essências florestais. In: **Problemática da produção de mudas de essências florestais**. n.13. Piracicaba: IPEF, v.4, p.3-8, 1987.
- Schmidt-Vogt, H. Morpho-physiological quality of forest tree seedlings: the present international status of research. In: Simpósio internacional sobre métodos de produção e controle de qualidade de sementes e plantas florestais, 1984, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, p. 366-378, 1984.
- Schultz, R.C.; Thompson, J.R. Effect of density control and undercutting on root morphology of 1+0 bareroot hardwood seedlings: Five-year field performance of root-grated stock in the central USA. **New Forestry**, v.13, p.301–314, 1997.
- Srivastava, A.K., Penna, S., Nguyen, D. Van, Tran, L.S.P. Multifaceted roles of aquaporins as molecular conduits in plant responses to abiotic stresses. **Critical Reviews in Biotechnology**, v.10, p.1-10, 2014.
- Steffens, B., Steffen-Heins, A., Sauter, M. Reactive oxygen species mediate growth and death in submerged plants. **Frontiers in Plant Science**, v.4, p.179, 2013.
- Striker, G.G. **Flooding stress on plants: anatomical, morphological and physiological responses, Botany**. Mworio, J. (ed.) InTech, Available from: Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/botany/flooding-stress-on-plants-anatomical-morphological-and-physiological-responses>> Acesso em: 13/09/2018\_2012\_
- Tsakalidimi, M.; Zagas, T.; Tsitsoni, T.; Ganatsas, P. Root morphology, stem growth and field performance of seedlings of two Mediterranean evergreen oak species raised in different container types. **Plant Soil**, v.278, p.85–93, 2005.
- Tsukahara, H., Kozłowski, T.T. Importance of adventitious roots to growth of flooded *Platanus occidentalis* seedlings. **Plant Soil**, v.88, p.123-132, 1985.
- Valladares, F., Wright, S.J., Lasso, Kitajima, K., Pearcy, R.W. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. **Ecology**, v. 81, n. 7, p. 1925-1936, 2000.
- Varjabedian, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. **Estudos avançados**, v.24,n.68, p.147-160, 2010.
- Viani, R A. G.; Brancalion, P. H. S.; Rodrigues, R. R. Corte foliar e tempo de transplântio para o uso de plântulas do sub-bosque na restauração florestal. **Revista Árvore**, v.36, n.2, p.331-45

- 339, 2012.
- Visser, E. J. W.; Zhang, Q.; Gruyter, F.; Martens, S.; Huber, H. Shade affects responses to drought and flooding-acclimation to multiple stresses in bittersweet (*Solanum dulcamara* L.). **Plant Biology**, v. 18, p. 112-119, 2016.
- Voesenek L, Bailey-Serres, J. Flood adaptive traits and processes: an overview. **New Phytologist**, 206: 57-73, 2015.
- Voesenek, L.A.C.J., Sasidharan, R., Visser, E.J.W., Bailey-Serres, J. Flooding stress signaling through perturbations in oxygen, ethylene, nitric oxide and light. **New Phytologist**, v.209, p.39- 43, 2016.
- Von Caemmerer S, Farquhar GD. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. *Planta*, v.153, p.376–387, 1981.
- Xu, Q. T.; Yang, L.; Zhou, Z.Q.; Mei, F. Z.; Qu, L.H.; Zhou, G.S. Process of aerenchyma formation and reactive oxygen species induced by waterlogging in wheat seminal roots. **Plant**, v. 238, p. 969-982, 2013.
- Zanella, F.; Soncela, R.; Lima, A.L.S. Crescimento e acúmulo de pigmentos fotossintéticos em plantas de maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. flavicarpa Deg.) formadas sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30: p.880- 884, 2006.
- Zhang, Q. Visser, E. J. W.; de Kroon, H.; Huber, H. Life cycle stage and water depth affect flooding-induced adventitious root formation in the terrestrial species *Solanum dulcamara*. **Revista Annals of Botany**. v. 116, p. 279-290, 2015.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando a importância da produção e plantio de mudas de espécies florestais nativas para a restauração das florestas tropicais, com base nos resultados obtidos não foi possível observar efeitos claros da deformação das raízes na fotossíntese e crescimento, tanto para plantas submetidas ou não ao alagamento do solo. Contudo, foi possível observar que ocorreram alterações na translocação dos macronutrientes N, P e K, principalmente, o K em escala de planta inteira.

Nota-se por meio do estudo que os efeitos da deformação de raízes na fotossíntese e no crescimento podem ocorrer a longo prazo, mas os efeitos na translocação de nutrientes já podem ser observados em mudas. Quanto aos aspectos morfológicos ligados a avaliação de crescimento, estes podem ser vistos por observação simples, sem análises ou equipamentos mais complexos, entretanto para os nutrientes requerem análise química, ou seja, na idade das plantas (do experimento) os danos causados pela deformação das raízes estão ocultos e podem causar sérios problemas em idades mais avançadas nas plantas, principalmente o pós plantio.

Nesse sentido, percebe-se a necessidade da continuação de estudos que visem construir uma base de conhecimento sobre os efeitos da deformação de raízes ocorridas durante o processo da repicagem em *G. americana*.

**Tabela 1** -Valores médios de radiação fotossinteticamente ativa total diária (RFA), da temperatura do ar diurna (Td), da temperatura noturna (Tn), da temperatura máxima (Tmax), do déficit de pressão de vapor diurno (VPDd) e do máximo (DPVm) no pré- alagamento, no alagamento e no pós-alagamento do solo. Para RFA e DPV foram considerados apenas os dados obtidos entre 06:00 e 18:00. Dados coletados entre 21/07/2017 e 05/02/2018, em Ilhéus, BA, Brasil. Os valores entre parênteses são o mínimo e máximos para cada período.

Variável	Pré alagamento (n=129)	Alagamento (n=42)	Pós alagamento (n=28)
RFA (mol m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	18,2 (2,8 - 27,5)	19,2 (6,1 - 27,1)	19,11 (0,00 - 25,36)
Td (°C)	25,3 (21, 2 - 29,1)	30,0 (25,0 - 30,0)	28,01 (25,0-29,30)
Tn (°C)	20,3 (16,2 - 24,3)	23,3 (21,1 - 26,0)	25,50 (24,1 - 30,70)
Tmax (°C)	28,7(20,7 -32,7)	31,8 (26,8 - 34,3)	31,50 (28,7 - 33,10)
VPDd (kPa)	0,69 (0,0 - 1,15)	0,93 (0,12 - 1,47)	0,82 (0,19 - 1,80)
VPDm (kPa)	1,35 (0,0 - 2,15)	1,73 (0,34 - 1,73)	1,60 (0,6 - 1,60)



**Tabela 2** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das duas condições das raízes, sobre as variáveis de crescimento e trocas gasosas foliares para plantas de *G. americana*. Aos 129 dias (Pré- alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=9$ ).

Variável	Sem deformação (SD)	Com deformação (CD)	ANOVA
LA	370,9 $\pm$ 29,91	350,8 $\pm$ 27,33	ns
LAR	0,57 $\pm$ 0,04	0,57 $\pm$ 0,03	ns
RGR	34,66 $\pm$ 0,68	34,20 $\pm$ 0,71	ns
NAR	0,53 $\pm$ 0,04	0,51 $\pm$ 0,03	ns
A	12,45 $\pm$ 0,34	12,20 $\pm$ 0,53	ns
gs	0,33 $\pm$ 0,03	0,27 $\pm$ 0,02	ns
Ci/Ca	0,81 $\pm$ 0,01	0,78 $\pm$ 0,01	ns

$p > 0,05$  (ns);  $p < 0,05$ (\*);  $p < 0,01$ (\*\*);  $p < 0,001$ (\*\*\*). Abreviações: LA - Área foliar ( $\text{cm}^2$ ), LAR - Razão de área foliar ( $\text{dm}^2 \text{g}^{-1}$ ), RGR - taxa de crescimento relativo em biomassa ( $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), NAR - taxa assimilatória líquida ( $\text{mg cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), A - Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), gs - condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Ci/Ca - Relação entre a concentração interna e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$ .

**Tabela 3** - Efeito do alagamento sobre o potencial de Oxidação - redução do solo (Eh) em mV para plantas jovens de *Genipa americana* sem e com deformação da raiz, durante 42 dias de inundação. Valores médios apresentados são referentes a um total de 20 repetições (n = 20).

Dias	Sem deformação (SD)	Com deformação (CD)
2	10,59	-28,92
7	-164,41	-196,40
14	-240,67	-237,77
21	-233,56	-236,40
30	-230,13	-238,50
40	-233,10	-236,70

**Tabela 4** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das diferentes condições de raízes, sobre as variáveis de crescimento e trocas gasosas foliares para plantas jovens de *G. americana* submetidas ao alagamento do solo. Aos 42 dias (período de alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=9$ ).

Variável	Deformação (D)		Alagamento (A)		ANOVA		
	SD	CD	NA	A	D	A	D x A
LA	378,47 $\pm$ 28,65	384,8 $\pm$ 17,47	392,5 $\pm$ 17,77	370,5 $\pm$ 11,05	ns	ns	ns
LAR	0,30 $\pm$ 0,04	0,37 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,04	0,34 $\pm$ 0,05	ns	ns	ns
LA/RM	0,91 $\pm$ 21,25	1,01 $\pm$ 14,01	0,89 $\pm$ 16,99	1,03 $\pm$ 15,93	ns	ns	ns
RGR	17,22 $\pm$ 1,94	14,43 $\pm$ 1,89	16,96 $\pm$ 3,18	14,74 $\pm$ 3,19	ns	ns	ns
NAR	0,46 $\pm$ 0,08	0,38 $\pm$ 0,07	0,39 $\pm$ 0,11	0,45 $\pm$ 0,10	ns	ns	ns
A	7,25 $\pm$ 0,60	7,06 $\pm$ 0,70	9,35 $\pm$ 0,68	4,96 $\pm$ 0,84	ns	***	ns
gs	0,13 $\pm$ 0,02	0,16 $\pm$ 0,02	0,19 $\pm$ 0,03	0,10 $\pm$ 0,03	ns	***	ns
Ci/Ca	0,70 $\pm$ 0,02	0,76 $\pm$ 0,03	0,74 $\pm$ 0,02	0,72 $\pm$ 0,02	***	ns	ns

$p > 0,05$  (não significativo);  $p < 0,05$ (\*);  $p < 0,01$ (\*\*);  $p < 0,001$ (\*\*\*), Abreviações: R = raiz, SD = sem deformação, CD = com deformação, A = alagadas e NA = não alagadas, LA - Área foliar ( $\text{cm}^2$ ), LA/RM- relação de área foliar e massa de raízes, RGR - taxa de crescimento relativo em biomassa ( $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), NAR - taxa assimilatória líquida ( $\text{mg cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), A - Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), gs - condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Ci/Ca - Relação entre a concentração interna e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$ .

**Tabela 5** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das duas condições das raízes, sobre as variáveis de crescimento e trocas gasosas foliares para mudas de *G. americana* submetidas a inundação. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=9$ ).

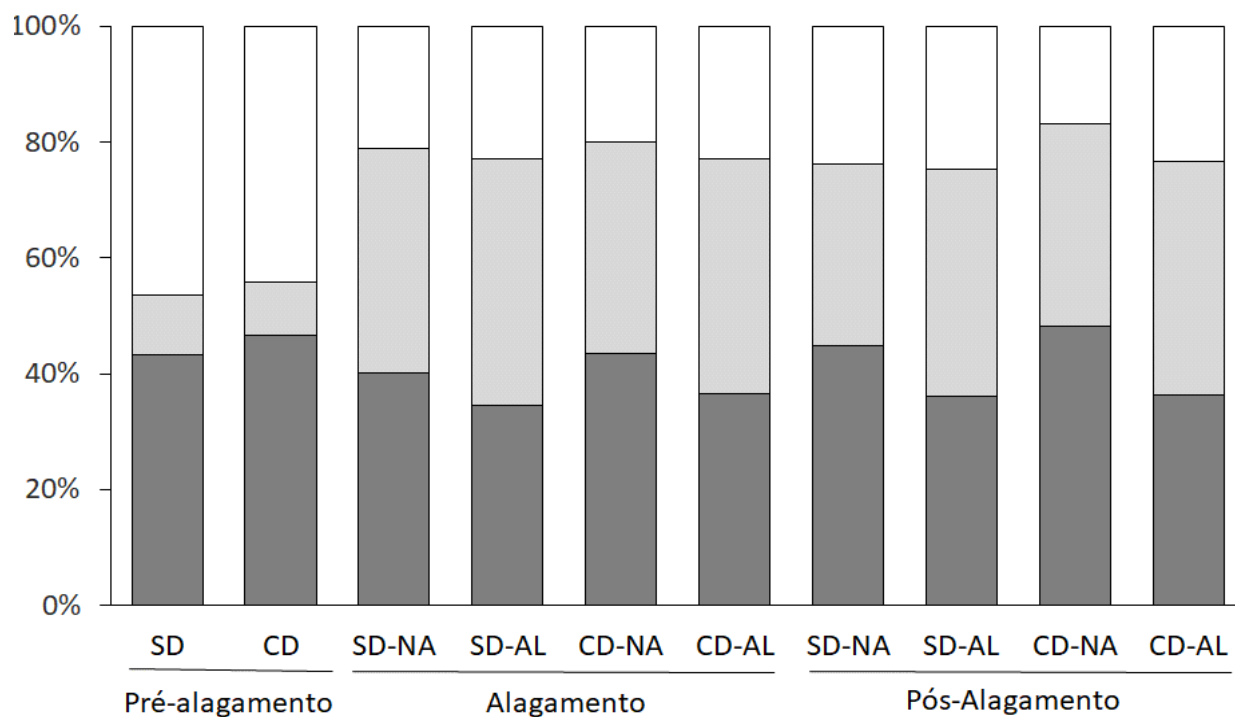
Variável	Deformação (D)		Pós-alagamento (PA)		ANOVA		
	SD	CD	NA	A	D	PA	D x PA
LA	392,7 $\pm$ 14,09	393,7 $\pm$ 29,79	383,7 $\pm$ 10,32	402,7 $\pm$ 17,42	ns	ns	ns
LAR	0,23 $\pm$ 0,01	0,27 $\pm$ 0,03	0,23 $\pm$ 0,01	0,27 $\pm$ 0,03	ns	*	ns
LA/RM	0,64 $\pm$ 2,68	0,69 $\pm$ 10,38	0,50 $\pm$ 5,26	0,81 $\pm$ 10,18	ns	***	ns
RGR	10,06 $\pm$ 1,76	9,29 $\pm$ 2,98	13,53 $\pm$ 1,33	5,83 $\pm$ 2,17	ns	**	ns
NAR	0,42 $\pm$ 0,09	0,32 $\pm$ 0,12	0,51 $\pm$ 0,06	0,23 $\pm$ 0,08	ns	**	ns
A	9,03 $\pm$ 0,50	8,61 $\pm$ 0,45	8,9 $\pm$ 0,28	8,97 $\pm$ 0,24	ns	ns	ns
gs	0,17 $\pm$ 0,01	0,17 $\pm$ 0,01	0,16 $\pm$ 0,01	0,18 $\pm$ 0,01	ns	*	ns
Ci/Ca	0,72 $\pm$ 0,01	0,74 $\pm$ 0,01	0,73 $\pm$ 0,01	0,76 $\pm$ 0,01	ns	*	ns

$p > 0,05$  (não significativo);  $p < 0,05$ (\*);  $p < 0,01$ (\*\*);  $p < 0,001$ (\*\*\*), Abreviações: R = raiz, SD = sem deformação, CD = com deformação, A = alagadas e NA = não alagadas, LA - Área foliar ( $\text{cm}^2$ ), LA/RM- relação de área foliar e massa de raízes, RGR - taxa de crescimento relativo em biomassa ( $\text{mg g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), NAR - taxa assimilatória líquida ( $\text{mg cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), A - Taxa fotossintética líquida ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), gs - condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), Ci/Ca - Relação entre a concentração interna e concentração ambiente de  $\text{CO}_2$ .

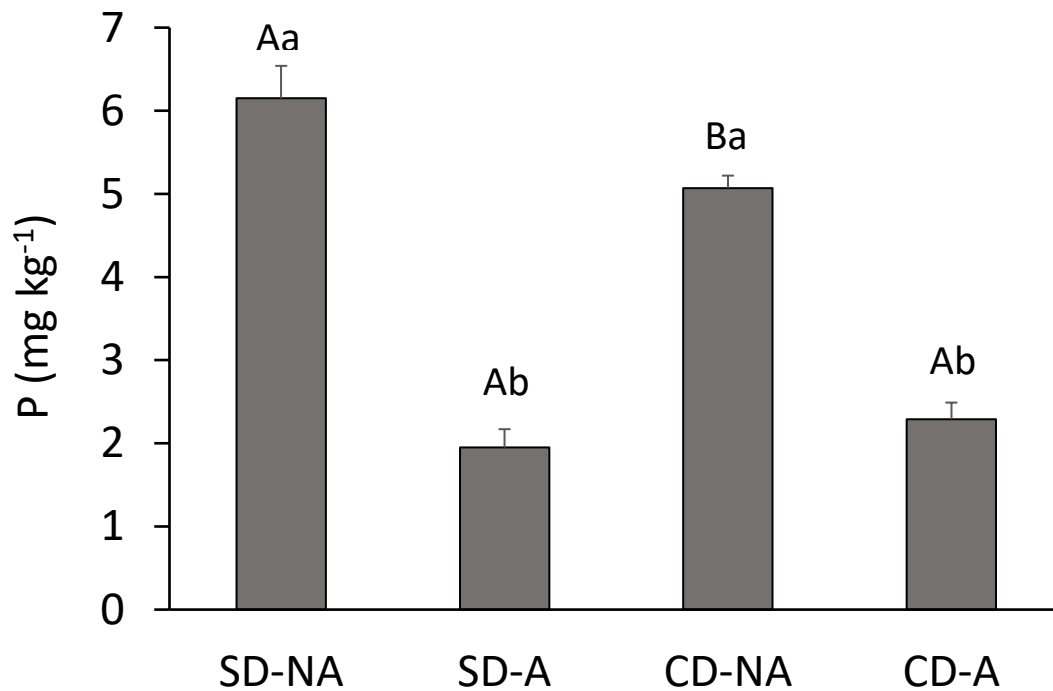
**Tabela 6** - Valores médios e resultado da ANOVA comparando os efeitos das duas condições das raízes, sobre os teores ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de N, P e K em folhas, caules, raízes, e a razão folha/raiz para esses nutrientes em plantas jovens de *G. americana* após a inundação do solo. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ).

		Deformação (D)		Pós-alagamento (PA)		ANOVA		
		SD	CD	NA	A	D	PA	D x PA
Folha	N	10,40 $\pm$ 0,29	11,10 $\pm$ 0,18	10,78 $\pm$ 0,26	10,73 $\pm$ 0,29	ns	ns	ns
	P	4,05 $\pm$ 0,82	3,68 $\pm$ 0,53	5,61 $\pm$ 0,33	2,12 $\pm$ 0,20	ns	***	*
	K	10,40 $\pm$ 0,77	11,14 $\pm$ 0,47	12,19 $\pm$ 0,34	9,35 $\pm$ 0,46	ns	**	ns
Caule	N	4,48 $\pm$ 0,15	5,18 $\pm$ 0,14	4,57 $\pm$ 0,19	5,08 $\pm$ 0,15	*	*	ns
	P	3,51 $\pm$ 0,49	3,01 $\pm$ 0,46	4,24 $\pm$ 0,34	2,28 $\pm$ 0,31	ns	*	ns
	K	5,02 $\pm$ 0,24	5,60 $\pm$ 0,21	5,03 $\pm$ 0,35	5,60 $\pm$ 0,28	ns	ns	ns
Raiz	N	5,18 $\pm$ 0,45	5,95 $\pm$ 0,17	5,23 $\pm$ 0,43	5,90 $\pm$ 0,24	ns	ns	ns
	P	2,16 $\pm$ 0,15	2,57 $\pm$ 0,12	2,53 $\pm$ 0,13	2,20 $\pm$ 0,16	ns	ns	ns
	K	5,00 $\pm$ 0,21	18,16 $\pm$ 1,07	12,60 $\pm$ 2,83	10,55 $\pm$ 2,05	***	ns	ns
Folha/Raiz	N	2,13 $\pm$ 0,21	1,88 $\pm$ 0,07	1,17 $\pm$ 0,20	1,83 $\pm$ 0,08	ns	ns	ns
	P	1,84 $\pm$ 0,37	1,42 $\pm$ 0,18	2,29 $\pm$ 0,25	0,97 $\pm$ 0,07	ns	**	ns
	K	2,12 $\pm$ 0,18	0,62 $\pm$ 0,03	1,52 $\pm$ 0,34	1,21 $\pm$ 0,25	***	ns	ns

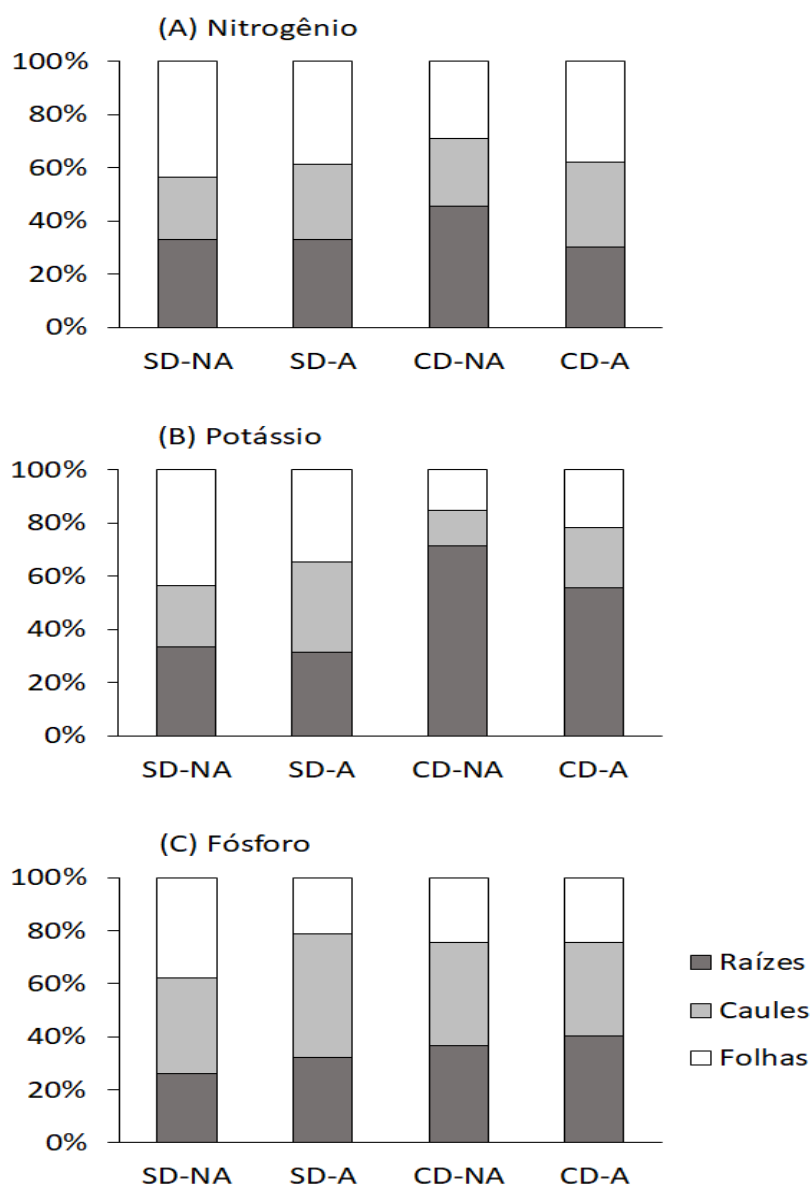
$p > 0,05$  (ns);  $p < 0,05$ (\*);  $p < 0,01$ (\*\*);  $p < 0,001$ (\*\*\*). Abreviações: SD = sem deformação, CD = com deformação, A = alagadas e NA = não alagadas, N - Nitrogênio (mg), P- Fósforo (mg), K- Potássio (mg).



**Figura 1** - Partição de biomassa de raiz, caule e folha em plantas jovens de *Genipa americana* submetidas a deformação radicular e alagamento. Abreviações: SD = Sem deformação, CD = Com deformação, NA = Não alagada e A = Alagada, ao longo dos 199 dias de experimento. Cinza escuro = raiz, cinza claro = caule e branco = folhas. Valores apresentados são referentes a um total de 9 repetições (n = 9).



**Figura 2** - Efeitos das duas condições das raízes, sobre o teor ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de Fósforo (P) em folhas de plantas jovens de *G. americana*. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Letras maiúsculas comparam efeitos das duas condições de raízes dentro das diferentes condições hídricas. Letras minúsculas comparam efeitos das duas condições hídricas nas diferentes condições de raízes. Valores médios  $\pm$  erro padrão ( $n=3$ ).



**Figura 3** - Partição de nutrientes nas raízes, caules e folhas em plantas jovens de *G. americana* submetidas a deformação radicular e alagamento. Abreviações: SD = Sem deformação, CD = Com deformação, NA = Não alagada e A = Alagada. Aos 28 dias após a drenagem do solo (pós-alagamento). Cinza escuro = raiz, cinza claro = caule e branco = folhas. Valores apresentados são referentes a um total de 3 repetições (n = 3).