



Universidade Federal do Pará Faculdade de Meteorologia Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

RAIMUNDO NONATO NASCIMENTO AARÃO JUNIOR

**ESTUDO DE CRESCIMENTO DE RAÍZES NA ÁREA
EXPERIMENTAL DO PROJETO ESECAFLOR NA
FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ-PA.**

Nº 295

**BELÉM – PARÁ
DEZEMBRO – 2010**

RAIMUNDO NONATO NASCIMENTO AARÃO JUNIOR

ESTUDO DE CRESCIMENTO DE RAÍZES NA ÁREA
EXPERIMENTAL DO PROJETO ESECAFLOR NA
FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ-PA.

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.
Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Lôla da Costa.

Belém
2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

A113e Aarão Junior, Raimundo Nonato Nascimento

Estudo de crescimento de raízes na área experimental do projeto esecaflor na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA / Raimundo Nonato Nascimento Aarão Junior; Orientador: Antonio Carlos Lôla da Costa – 2010

35 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Quarto Período de 2010.

1. Meteorologia. 2. Raízes. 3. Carbono. I. Costa, Antônio Carlos Lôla da, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 20^o ed.: 551.5098115

RAIMUNDO NONATO NASCIMENTO AARÃO JUNIOR

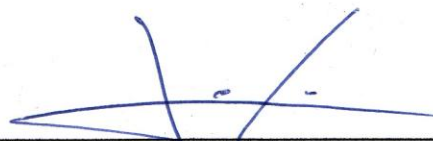
ESTUDO DE CRESCIMENTO DE RAÍZES NA ÁREA
EXPERIMENTAL DO PROJETO ESECAFLOR NA
FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ-PA.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.


Data de aprovação: 13/12/2010

Conceito: BOM

Banca examinadora:



Prof. Antônio Carlos Lda da Costa - Orientador
Doutor em Eng. Ambiental
Universidade São Paulo



Prof(a). Maria do Carmo Felipe de Oliveira - Membro
Mestre em Meteorologia Agrícola
Universidade Federal de Viçosa



Maurício Castro Costa - Membro
Mestre em Meteorologia Tropical
Universidade Federal de Alagoas

Dedico a Deus, a minha família
e aos amigos que me ajudaram
nesses anos de curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre estar comigo e me mostrar o caminho certo nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus pais, Sara Chagas Aarão e Raimundo Nonato Nascimento Aarão por toda ajuda necessária e aos aconselhamentos que deram.

Agradeço a minha irmã, Aline Chagas Aarão pela ajuda necessária para terminar o curso.

Agradeço ao professor Antônio Carlos Lôla da Costa, pela ajuda, pela sua orientação, sua dedicação para mostrar o certo nos momentos de dúvidas e pela sua paciência na realização deste trabalho, utilizando todos seus conhecimentos e compartilhando-os comigo meu aprimoramento.

As professoras Maria do Carmo Felipe de Oliveira e Isa Maria Oliveira da Silva, pelo apoio, carinho, amizade e ajuda em todo o período do curso.

A todos os professores da Faculdade de Meteorologia, que compartilharam seus conhecimentos comigo.

A todos os amigos do Curso de Meteorologia que fiz no decorrer do curso.

Ao PIBIC/UFGA pela oportunidade de participar de uma bolsa de iniciação científica.

Ao Projeto ESECAFLO, pelo fornecimento dos dados para a realização deste trabalho.

A todos, Muito Obrigado!!

“Comece fazendo o que é necessário,
depois o que é possível, e de repente
você estará fazendo o impossível”. São
Francisco de Assis.

RESUMO

Utilizou dados de crescimento radicular no sítio experimental do projeto ESECAFLO, que simula seca na floresta, localizado na Floresta Nacional de Caxiuanã, município de Melgaço no Estado do Pará, nas coordenadas 01° 42' 30" S e 51° 31' 45" W a 60m de altitude. Foram analisados as componentes de precipitação e umidade do solo para quantificação do crescimento de raízes. Para esse estudo foram utilizadas 18 imagens obtidas através de Rhizotrons, que são câmaras fixadas no solo e que possibilitam a verificação do crescimento de raízes, sendo que nove Rhizotrons em cada parcela (controle (A) e exclusão da água da chuva (B)). Para o cálculo da biomassa total e da densidade de raízes utilizou-se a técnica do Ingrowth cores. Os resultados obtidos mostram que a parcela A teve um crescimento das raízes maior quando comparado a parcela B, enquanto que a parcela B apresentou maiores quantidade de biomassa e densidade das raízes.

Palavras-Chave: Meteorologia. Raízes. Carbono.

ABSTRACT

Used data on root growth in the experimental design ESECAFLOR that simulates dry forest, located on National Forest Caxiuanã, Melgaço municipality in Pará, in the coordinates 01 ° 42 '30 "S and 51 ° 31' 45" W 60m altitude. We analyzed the components of precipitation and soil moisture to quantify the growth of roots. For this study we used 18 images taken through rhizotrons, cameras that are attached to the ground and make it possible to check the growth of roots, nine rhizotrons in each plot (A and B). To calculate the total biomass and density of roots used the technique Ingrowth colors. The results show that the parcel A had a greater root growth when compared to parcel B, while plot B showed higher amount of biomass and density of roots.

Key words: Meteorology. Roots. Carbon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 01 – Floresta Nacional de Caxiuanã.....	18
FIGURA 02 – Rhizotron no campo.....	20
FIGURA 03 – Leitura das transparências de crescimento de raízes, através do Rhizotron, mostrando o crescimento das raízes.....	21
FIGURA 04 – Comportamento da umidade do solo na área do projeto ESECAFLORE.....	24
FIGURA 05 – Crescimento total das raízes na área do projeto ESECAFLORE em (Km/ha)/Dia.....	25
FIGURA 06 – Crescimento total das raízes em (Km/ha)/Dia, no período de Janeiro à Setembro de 2010 na área do Projeto ESECAFLORE.....	25
FIGURA 07 – Crescimento total das raízes em (Km/ha)/Dia e precipitação na área do projeto ESECAFLORE.....	26
FIGURA 08 – Biomassa total em t/ha na área do projeto ESECAFLORE.....	27
FIGURA 09 – Densidade total em Kg/m ³ , na área do projeto ESECAFLORE.....	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- EFCPn – Estação Científica Ferreira Penna.
- EL NIÑO – Fenômeno de escala que provoca a seca em determinados locais, devido ao aquecimento das águas do Pacífico Equatorial.
- ESECAFLOR – Estudo que simula seca na floresta.
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudança no Clima.
- MAM – Março, Abril, Maio
- MPEG – Museu Paraense Emílio Goeldi.
- PA – Pará.

LISTA DE SÍMBOLOS

A e B	– parcela de 1 hectare.
C	– carbono.
cm	– centímetro.
CO ₂	– gás carbônico.
ha	– hectare.
Kg	– quilograma.
Km	– quilômetro.
m	– metro.
N	– nitrogênio.
mg	– miligrama.
mm	– milímetro.
S	– sul.
t	– tonelada.
W	– oeste.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3	DADOS E METODOLOGIA	18
3.1	FÓRMULA PARA CÁLCULO DA BIOMASSA, CRESCIMENTO TOTAL DE RAÍZES E DENSIDADE TOTAL	21
4	RESULTADOS	24
5	CONCLUSÃO	28
	REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

À primeira vista, a Amazônia aparenta ser uma fonte de gás carbônico (CO₂) para a atmosfera, em função do desmatamento de 15 e 20 mil km² ao ano, somente na Amazônia brasileira (INPE, 2001). Entretanto, uma série de estudos recentes sobre o papel das florestas tropicais da Amazônia no ciclo de carbono abre a possibilidade de que também as florestas tropicais estejam desempenhando um papel relevante como sumidouros de CO₂.

A concentração excessiva de CO₂ na atmosfera é responsável pelo efeito estufa, fenômeno que contribui para o aquecimento da Terra e pode levar a efeitos como enchentes, secas e aumento do nível dos mares.

A relação entre mudança do clima global e o crescimento vegetal e o papel das florestas como locais de seqüestro de carbono encorajou o refinamento das estimativas de biomassa subterrânea de raízes finas e sua produção. Entretanto, existe diferenças na literatura sobre qual é o melhor método para determinar a produção de biomassa subterrânea de raízes finas. (VOGT, 1998). A biomassa subterrânea de uma vegetação compreende todos os órgãos vivos localizados abaixo da linha do solo, tendo como função fixar a vegetação, captar e transportar recursos como água e nutrientes, além de estocar reservas. Os órgãos subterrâneos também podem assumir a função de refúgio contra distúrbios que afetam a parte aérea, como fogo e herbivoria foliar.

Diversos estudos demonstram que florestas tropicais absorvem quantidades significativas de CO₂ (GRACE *et al.*, 2002), e podem ter influência substancial no balanço de carbono global.

Este trabalho tem como objetivo principal estudar o crescimento de raízes em diferentes condições de umidade do solo e biomassa radicular, na área do projeto ESECAFLOR, que simula seca na floresta e que está localizado na Floresta Nacional de Caxiuanã no Estado do Pará, para que se possa fazer um estudo posterior sobre a quantidade de carbono que a biomassa subterrânea possa contribuir na ciclagem do CO₂.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desde o trabalho pioneiro de Schimper (1898) sobre a geografia em "plant geography upon a physiological basis", ecologistas têm feito progressos consideráveis na compreensão dos fatores que moldam a distribuição global da vegetação e sua estrutura aérea (por exemplo, BOX 1981, WOODWARD 1987, PRENTICE et al. 1992, NEILSON, 1995), mas os fatores que controlam a biogeografia da estrutura da vegetação subterrânea permanecem menos clara.

Os diferentes tipos de vegetação de biomassa radicular, volume radicular, distribuições verticais de raiz, e máxima profundidade de enraizamento influenciam os fluxos de água, carbono (C) e nutrientes do solo e da distribuição e atividade da fauna do solo, transporte de nutrientes e água das raízes para cima (STONE; KALISZ, 1991, CANADELL et al. 1996, JACKSON et al. 1996, JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997, VOGT et al. 1996, CAIRNS et al. 1997), mas eles também são vias de C e transporte de nutrientes em camadas mais profundas do solo e para a profunda infiltração de água (JOHNSTON et al. 1983, MEEK et al. 1992, SMITH et al. 1999, JACKSON et al., 2000; JACKSON; SPERRY; DAWSON, 2000). As raízes também afetam as taxas de intemperismo minerais do solo (BORMANN et al. 1998).

A distribuição de C nas raízes apresenta um papel significativo no ciclo de carbono global (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997) e desde que a produção de raiz foi sugerida na contribuição da metade do carbono que é anualmente ciclado em muitas florestas (VOGT et al., 1996), obter estimativas precisas de biomassa no subsolo são importantes para este entendimento. Grandes flutuações diárias e sazonais em temperaturas são normais em muitos ambientes, como nas temperaturas do ar e da superfície do solo, muitas vezes exibindo variações sazonais e diurnas de 20 ° C ou mais. No entanto, a extensão dessas variações pode mudar ao longo do próximo século em associação com o esperado aumento entre 1,5 e 4,5 ° C na temperatura média anual da superfície da Terra (WIGLEY, 1989). Por exemplo, a diferença relativa entre as temperaturas médias de Inverno e Verão pode ser reduzida (LONG; HUTCHIN, 1991; MOORE; ROULET; WADDINGTON, 1998). Além disso, alguns modelos prevêem que a média das temperaturas mínima e máxima aumentará aproximadamente entre 3,0 e 5,0 ° C

durante o próximo século (CULLEN, 1993). Tais mudanças provavelmente têm um significativo impacto sobre o crescimento de carbono e sobrevivência das plantas. A resposta da respiração de raiz para as futuras alterações de temperatura serão cruciais para determinar a resposta da vegetação a mudança ambiental global. A respiração das raízes supre energia e estruturas de carbono necessárias para captação de íons e a síntese e manutenção de biomassa das raízes. Além de ser responsável por aproximadamente 33 a 60% do total da respiração do solo (BOWDEN et al. 1993; PREGITZER et al, 1998) a respiração radicular, também representa um importante sumidouro de CO₂ por parte das plantas, com cerca de aproximadamente 8 a 52% de CO₂ fixadas em suas estruturas através da fotossíntese, sendo liberado para a atmosfera através da respiração das raízes (LAMBERS; ATKIN; SCHEURWATER, 1996). Este percentual provavelmente sofre alterações devido às flutuações na temperatura, pois a respiração radicular é geralmente mais sensível que a temperatura da fotossíntese líquida (ATKIN et al. 2000).

A temperatura do solo pode influenciar o crescimento radicular, incluindo o início e a interrupção do crescimento, o alongamento da célula, o comprimento da raiz e sua extensão, o diâmetro de iniciação de novas raízes laterais e raízes de ramificação padrões (KASPER; BLAND, 1992; MCMICHAEL; BURKE, 1998). Temperaturas do solo mais quentes freqüentemente resultam em maiores taxas de respiração radicular e na absorção de íons se outros fatores, como a luz e a seca, não se limitam a atividade fisiológica das plantas (OERTLI, 1996; BURTON et al, 1998; BASSIRIRAD, 2000). Taxas de mortalidade de raízes também parecem aumentar com a temperatura do solo (FORBES; BLACK; HOOKER, 1997; KING; PREGITZER; ZAK, 1999) e o fluxo de carbono a partir de raízes das plantas para a cadeia alimentar do solo pode aumentar se as temperaturas subirem, como previsto (HOUGHTON et al., 1996).

Alterações na temperatura do solo interagem com as mudanças e outros recursos essenciais. Por exemplo, a água e disponibilidade de nutrientes, muitas vezes variam com mudanças na temperatura do solo. As temperaturas mais elevadas do solo resultam em aumento de nitrogênio (N), de mineralização da água no solo se não se limitam a atividade microbiana (PIATEK; ALLEN, 1999; ZAK et al, 1999). No entanto, ocorrem condições de seca muitas vezes quando as temperaturas do solo são relativamente alta (KUHN et al, 1985; PIATEK; ALLEN,

1999). Além disso, a temperatura do solo pode afetar a fotossíntese e com a temperatura do solo e o aumento da fotossíntese em conjunto, podem ocorrer mudanças na planta inteira (LIPPU; PUTTONEN, 1991; LANDHAUSSER; WEIN; LANGE, 1996). Por exemplo, baixa temperatura do solo pode limitar as taxas enzimáticas de raízes conduzido processos como crescimento e absorção de nutrientes e respiração, diminuindo a demanda por carbono e resultando em um feedback negativo para a fotossíntese através da acumulação de carboidratos não estruturais em folhas (THOMAS; STRAIN, 1991).

A renovação de raízes é um componente central do ecossistema de carbono e ciclagem de nutrientes, e provavelmente será sensível a muitos dos fatores considerados na análise de mudança global (ABER et al., 1985). Em particular, discernir como atributos das plantas, processos do solo, e os padrões climáticos podem influenciar nas taxas de renovação das raízes é importante, dado atual e projetado do clima futuro e mudança na vegetação (JACKSON et al., 2000). Embora seja importante compreender os mecanismos que controlam a longevidade de raiz e sua renovação para uma raiz individual ou vegetal, é também desejável identificar padrões em larga escala entre as renovações das raízes, tipos de plantas funcionais e em grandes gradientes climáticos. Compreendendo as diferenças entre os grupos de plantas pode ser útil na modelagem de como as mudanças nos tipos funcionais em colheita, influenciam a raiz, hidrologia e dinâmica de nutrientes. Além disso, examinar como a renovação das raízes está relacionada à temperatura e precipitação regional pode ajudar a identificar quais grupos de plantas são mais sensíveis as alterações climáticas. A temperatura do solo provavelmente tem um papel importante na determinação da renovação das raízes, uma vez que o início da produção é freqüentemente introduzido pelo aquecimento do solo na primavera (HENDRICK; PREGITZER, 1993; FITTER et al., 1997; ATKIN et al., 2000).

O Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) concluiu que o clima tem mudado ao longo do século passado e é esperado que continue a mudar (HOUGHTON et al., 1996). Aumentos nos níveis de gases de efeito estufa na atmosfera estão previstos para causar um aumento de temperatura adicional entre 1,0 e 3,5 ° C em média na superfície global até o ano 2100 (KATTENBERG et al., 1996). Estes aumentos de temperaturas devem modificar o balanço hidrológico global, levando ao aumento da precipitação de Inverno em altas latitudes, com dias mais quentes e menos dias frios (RIND et al., 1990; KATTENBERG et al., 1996). A

resposta das florestas para a diminuição da disponibilidade de água é considerada uma questão chave nos cenários de mudanças climáticas (WIGLEY; BRIFFA; JONES, 1984).

Vários estudos indicam que, quando as árvores têm experiência de estresse de umidade em uma parte da zona de enraizamento, o crescimento da raiz aumenta em áreas onde a água ainda está disponível, geralmente em profundidades maiores (DICKMAN; NGUYEN; PREGITZER, 1996; HENDRICK; PREGITZER, 1996; TORREANO; MORRIS, 1998).

As raízes constituem cerca de 30% da produtividade primária líquida global (JACKSON; MOONEY; SCHULZE, 1997), sendo que a entrada de carbono e nutrientes no solo, proveniente das raízes, é igual ou maior que a proporcionada pelas folhas (HENDRICK; PREGITZER, 1993). Apesar de sua importância no entendimento da ecologia terrestre, ciclagem de nutrientes e carbono, poucas informações existem sobre as suas características básicas (biomassa, comprimento, área superfície) e como elas podem responder a futuras mudanças globais. Essa carência de estudos é função, principalmente, das dificuldades relacionadas com suas determinações. As raízes finas (diâmetro < 2,0mm) são as principais responsáveis pela captura de água e nutrientes, para as plantas, o mesmo papel apresentado pelas folhas na captura de carbono e energia.

Enquanto que as raízes finas constituem menos 1% da biomassa total das florestas, a produção anual de raízes finas pode contribuir com mais de 50% na produção primária líquida total das florestas (PORTELA, 2010).

3 DADOS E METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido no sítio experimental localizado na Floresta Nacional de Caxiuanã, localizada no Estado do Pará, com uma área de 324.060 ha, nas proximidades da baía de Caxiuanã, entre os rios Tapajós e Xingu (Figura 01). Correspondendo aproximadamente 70% do município de Portel e de 30% do município de Melgaço – PA, distante 400 km da cidade de Belém - PA. Na Flona de Caxiuanã encontram-se alguns dos ecossistemas naturais bem representativos da região amazônica, tais como florestas de terra firme, igapó e várzea (LISBOA, 2009). Nela está localizado a Estação Científica Ferreira Penna - ECFPn, (01° 42' 30" S; 51° 31' 45" W; 60 m de altitude), que é administrada pelo Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e ocupa uma área física de, aproximadamente, 33.000 ha (LISBOA, 1997).



FIGURA 01 – Floresta Nacional de Caxiuanã
Fonte: Projeto ESECAFLOR.

Seus limites geográficos são: ao Norte, o divisor de água entre as bacias do rio Caxiuanã e do rio Amazonas, ao Sul, o rio Caxiuanã, a Leste a baía de Caxiuanã e o Igarapé Laranjal e a Oeste o Igarapé Grande. Seus rios são de águas negras, ricos em plantas aquáticas (LISBOA, 2007).

A Floresta de Caxiuanã é constituída em cerca de 85% de sua área por florestas de terra firme, com as maiores árvores chegando entre 30 e 40 m de altura, mas interceptando somente cerca de 10% da precipitação que recai sobre si (MORAES et. al, 1997).

A Flona de Caxiuanã, de acordo com a classificação climática de Koppen, é do tipo tropical quente e úmido e o subtipo climático “Am”, com curta estação seca entre agosto e novembro e uma distribuição regular de chuvas no decorrer do ano, mas com uma sazonalidade definida (LISBOA, 2009). Ela também apresenta uma diversidade de espécies bastante elevada e árvores de grande porte (ALMEIDA; LISBOA; SILVA; 1993). Enquanto que os solos predominantes são do grupo dos latossolos (KERN, 1996).

Os dados para esse estudo foram obtidos na área de abrangência do projeto ESECAFLO, que consiste em um experimento que simula um período de seca prolongada na floresta, para avaliar quais impactos teriam nos fluxos hídricos e de dióxido de carbono em uma floresta tropical localizada na Amazônia, investigando assim a influência da exclusão de água no solo sobre o ciclo da floresta, e as alterações provocadas por esse evento de seca (MEIR et al., 2003). Seria algo parecido ou semelhante ao que acontece em um fenômeno de El Niño - Oscilação Sul (ENSO), que provoca uma seca anômala em determinadas áreas da região Amazônica.

O projeto ESECAFLO é estruturado fisicamente por duas parcelas, denominadas de A e B, de 1 ha cada. Estão localizadas cerca de 800 m de distância da base física da ECFPn.

A parcela A é usada como referência para os experimentos realizados na B, pois ela mantém as condições naturais intactas, já a parcela B é onde se faz o experimento de exclusão de cerca de 98% da água da chuva que recai nessa parcela (observando-se que existe uma distância de 20 m entre as parcelas A e B). Estas parcelas são delimitadas por trincheiras de 0,5 m de largura e cavadas com profundidades que variam entre 0,5 m a 1,5 m, servem para que se tenha facilidade na drenagem da água da chuva. Observa-se também que a trincheira localizada na parcela B foi toda revestida com lona plástica preta para que se minimize a infiltração lateral, todavia na parcela A não ocorreu esse procedimento, visto que essa parcela mantenha suas condições naturais (LISBOA, 2009).

Para cobertura da parcela B foram utilizados cerca de 6.000 painéis plásticos, que foram instalados a uma altura variável de 1,5 m a 4,0 m acima do solo (COSTA et al., 2003).

Na área do ESECAFLOR existe uma diversidade de árvores muito acentuada, sendo que se pode destacar o predomínio na parcela A das espécies *Manilkara bidentata*, *Couratari multiflora*, *Minquartia guianensis* e *Rinoria guianensis*, enquanto na parcela B têm-se as espécies *Stachyarrhena*, *Swartzia racemosa*, *Xylopia nitida*, *Lecythis*, *Manilkara bidentata*, *Tetragastris panamensis* e *Escheweileira* coriácea como predominantes (PORTELA, 2007).

O solo é do tipo *latossolo amarelo distrófico* e tem em sua constituição 53% de argila, 37% de areia e 10% de slite. Isso em sua camada superior de 50 cm de profundidade composta por argila arenosa média, sendo que guarda uma boa porosidade (SOUZA, 2002).

A quantificação da taxa de crescimento de raízes foi feita através da inserção de Rhizotrons (Figura 02), que são câmaras fixadas no solo e que possibilitam a verificação do crescimento das raízes. Para isso instalou-se 18 Rhizotrons, sendo que 9 foram instalados na parcela A (controle) e os outros 9 na parcela B (exclusão). As leituras do crescimento dessas raízes (Figura 03) foram acompanhadas durante o período de sete meses, - Janeiro à Setembro de 2010, com intervalo de tempo de 30 dias entre as leituras.



FIGURA 02 – Rhizotron no campo.
Fonte: Projeto ESECAFLOR.

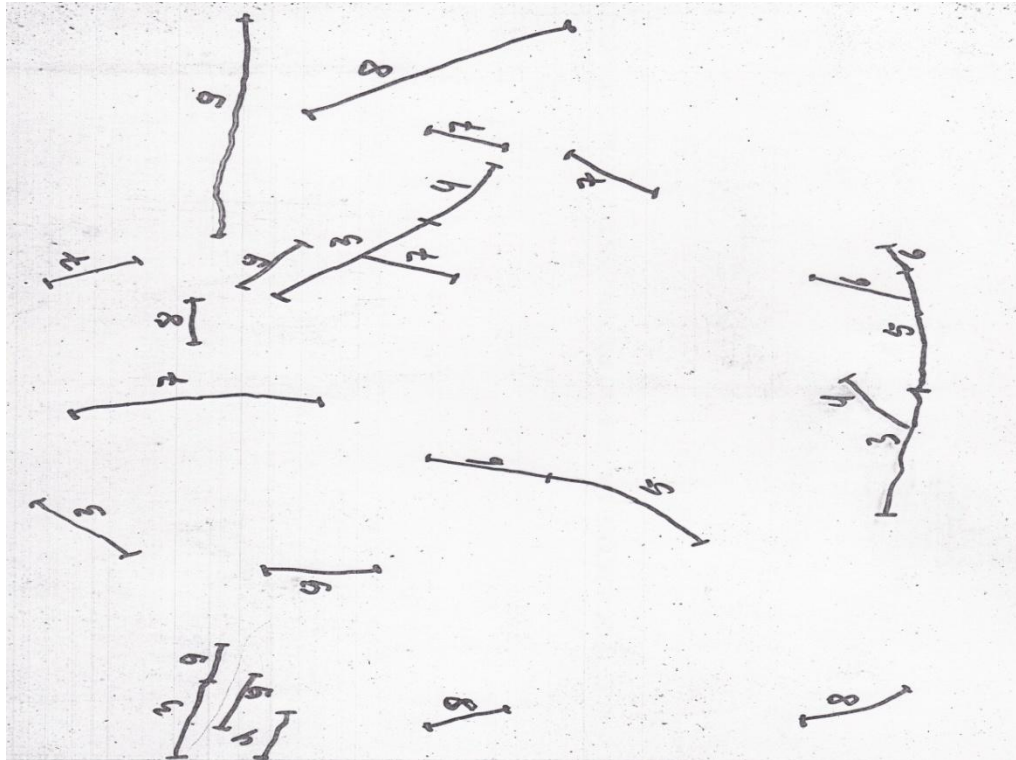


FIGURA 03 – Leitura das transparências de crescimento de raízes, através do Rhizotron, mostrando o crescimento das raízes.
Fonte: Projeto ESECAFLOR.

Para calcular a biomassa utilizou-se a técnica do Ingrowth cores, sendo 16 em cada parcela. Ingrowth cores são cestas de malha plástica apropriadas que são inseridas no solo a uma profundidade de 30 cm. A cada 90 dias estes recipientes são retirados, sendo as raízes triadas, secadas e pesadas para posterior cálculo de sua biomassa total.

3.1 FÓRMULA PARA CÁLCULO DA BIOMASSA, CRESCIMENTO TOTAL DE RAÍZES E DENSIDADE TOTAL

Para o cálculo de crescimento das raízes na área do ESECAFLOR utilizou-se uma regra de três simples, como demonstrado abaixo:

$$\begin{array}{ccc}
 \text{C.T.R.} & \text{-----} & \text{AT}_{\text{total do Rhizotron}} \\
 & \diagdown & / \\
 \text{X} & \text{-----} & 1\text{ha}
 \end{array}$$

$$X = (\text{C.T.R.P.} \times 1\text{ha}) / \text{AT}_{\text{total do Rhizotron}} \quad (1)$$

Onde:

C.T.R. = Crescimento Total das raízes pela soma dos Rhizotrons por parcela.

$AT_{\text{total do Rhizotron}} = \text{Área total de Rhizotron.}$

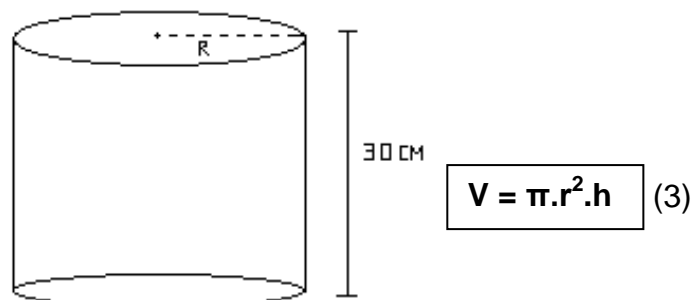
1ha = 10000 m².

X = Crescimento Total das Raízes Parcela A ou B.

Sendo,

$$A_{\text{Rhizotron}} = 21 \times 29,7 = 623,7 \text{ cm}^2 \quad (2)$$

Para o cálculo da biomassa e densidade das raízes, inicialmente calculou-se o volume do Ingrowth cores, dado por:



Onde:

r = Raio do Ingrowth cores = 5 cm.

h = Altura do Ingrowth cores.

Achado o volume total através de (3) fez-se uma regra de três simples, para o cálculo da biomassa total, como segue:

$$\begin{array}{ccc} A.T_i & \text{-----} & P.T.R \\ & \diagdown & / \\ 1ha & \text{-----} & X \end{array}$$

$$X = (P.T.R. \times 1ha) / A.T_i \quad (4)$$

Onde:

A.T_i = Área Total do Ingrowth cores (m²).

P.T.R = Peso Total das Raízes (parcela A ou B) em Kg.

1ha = 10000 m².

X = Valor da Biomassa (Kg/ha).

Posteriormente foi feito a conversão para t/ha.

Para cálculo da densidade da Biomassa utilizou-se a seguinte fórmula:

$$D = m / v \quad (5)$$

Onde:

m = Massa Total da biomassa das raízes parcela A ou B.

V = Volume Total do ingrowth cores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 04 mostra o comportamento médio da umidade do solo na área experimental do ESCAFLOOR, entre Janeiro e Setembro de 2010. A umidade do solo na área do controle teve um valor de 15,5 %, enquanto que na área da exclusão esse valor foi de 4,5%, representando uma redução média de cerca 70%. Comparando-se com os resultados obtidos no estudo realizado por Portela (2007) observou-se que para área de controle o resultado não foi muito diferente, visto que ficou em torno de 14,8%, enquanto que para área de exclusão esse valor é quase que o dobro, na ordem de 8%, representando assim uma redução média de cerca de 44,8%. Isso pode ser explicado devido o estudo realizado por Portela (2007) o experimento ainda estava em início, por isso os valores encontrados na exclusão não serem tão baixos ainda.

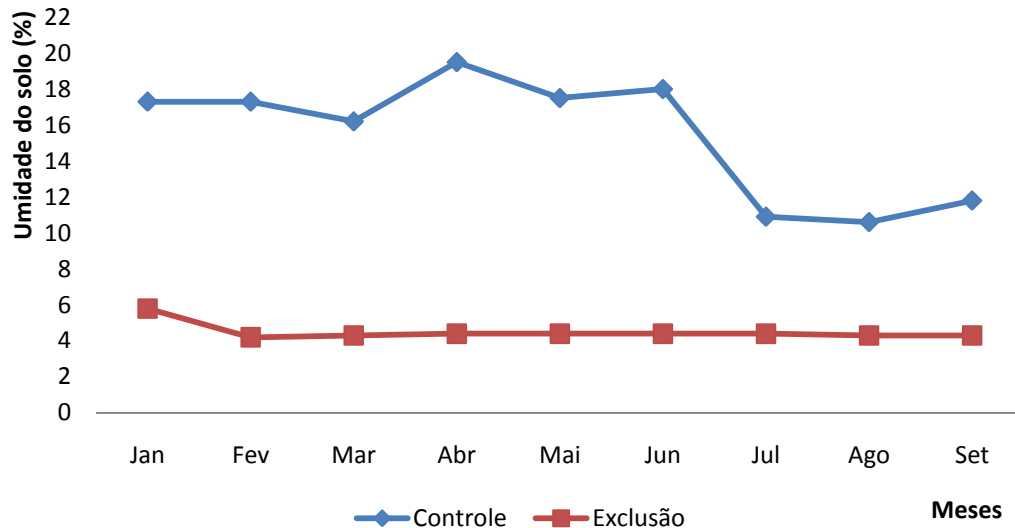


FIGURA 04 – Comportamento da umidade do solo na área do projeto ESECAFLOOR.
Fonte: Do autor.

A Figura 05 apresenta o crescimento total das raízes na área do projeto ESECAFLOOR em (Km/ha)/Dia e verificou-se que a parcela do controle apresenta maior taxa de crescimento do que a parcela da exclusão, com valores de crescimento de 0,391 (Km/ha)/Dia para a área do controle e de 0,329 (Km/ha)/Dia para a área da exclusão. A diferença do crescimento total das raízes foi de apenas 15,9%, apesar da parcela do controle dispor de mais umidade.

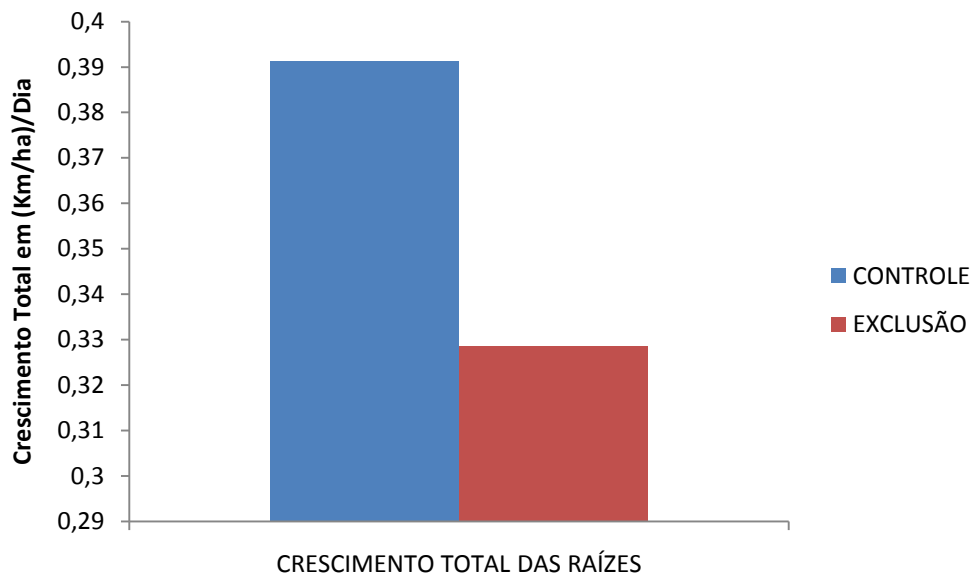


FIGURA 05 – Crescimento total das raízes na área do projeto ESECAFLOR em (Km/ha)/Dia.
Fonte: Do autor.

A Figura 06 mostra a taxa de crescimento total, em Km/ha, no período de tempo estudado, que foi de Janeiro à Setembro de 2010. Percebeu-se que, com exceção dos meses de Abril, Junho e Setembro, a área do controle teve uma taxa de crescimento total maior do que em relação à área da exclusão, sendo que o maior valor foi de 0,06 (Km/ha)/Dia, em Fevereiro para o controle e de 0,05 (Km/ha)/Dia, para a exclusão também em Fevereiro. Já o menor valor de crescimento encontrado para área do controle foi de 0,009 (Km/ha)/Dia, verificado em Abril e de 0,016 (Km/ha)/Dia, para área de exclusão verificada no mês de março.

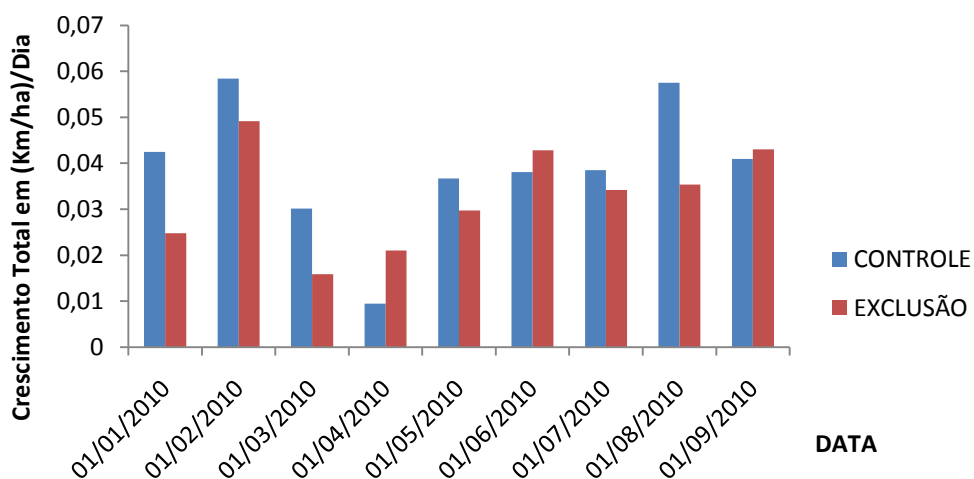


FIGURA 06 – Crescimento total das raízes em (Km/ha)/Dia, no período de Janeiro à Setembro de 2010 na área do Projeto ESECAFLOR.
Fonte: Do autor.

Na Figura 07 observou-se a taxa de crescimento total, em (Km/ha)/Dia, com a precipitação acumulada, no período de tempo de Janeiro à Setembro de 2010. Percebe-se perceber que nos meses de maior precipitação (MAM) as taxas de crescimento são as menores, tanto no controle quanto na exclusão, sendo que o maior valor de precipitação foi observado no mês de Abril, com valor de 518 mm e o menor observado em agosto com 12,40 mm, sendo que setembro não houve registro de precipitação.

É importante observar que nos primeiros meses de 2010 estava ocorrendo o fenômeno El niño, por isso nos meses de Janeiro, Fevereiro e Março houve uma redução de aproximadamente 50% da precipitação, ou seja, ocorreu uma anomalia na precipitação nos três primeiros meses do ano de 2010.

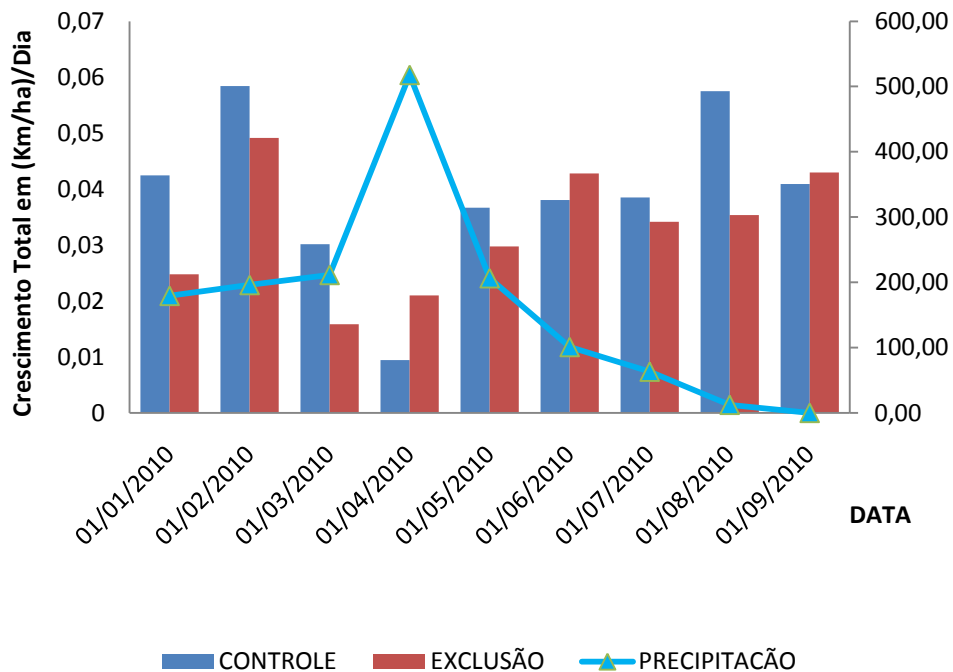


FIGURA 07 – Crescimento total das raízes em (Km/ha)/Dia e precipitação na área do projeto ESECAFLOR.

Fonte: Do autor.

A Figura 08 mostra a biomassa total das raízes na área do controle e exclusão do projeto ESECAFLOR, e observa-se que a área da exclusão apresenta um total de 42,69 t/ha e de 41,66 t/ha para o controle respectivamente. Essa maior quantidade de biomassa por parte das raízes da área de exclusão pode ser explicado pelo fato dessas raízes apresentarem uma maior necessidade de busca de água no solo, sendo que é na parcela B onde ocorre a exclusão de água no solo, por isso o maior crescimento de biomassa nessa parcela.

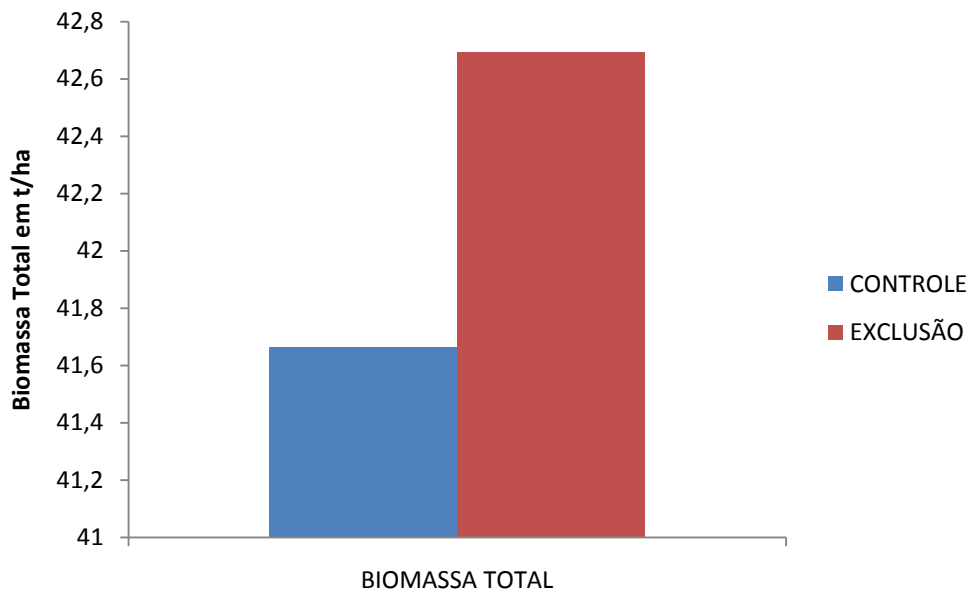


FIGURA 08 – Biomassa total em t/ha na área do projeto ESECAFLOR.
Fonte: Do autor.

Observou-se na Figura 09 a densidade total da biomassa em Kg/m^3 e verifica-se que a área de exclusão apresenta uma densidade maior em relação à área de controle com valor da ordem de $14,2 \text{ Kg}/\text{m}^3$, e de $13,9 \text{ Kg}/\text{m}^3$ para densidade total da área do controle.

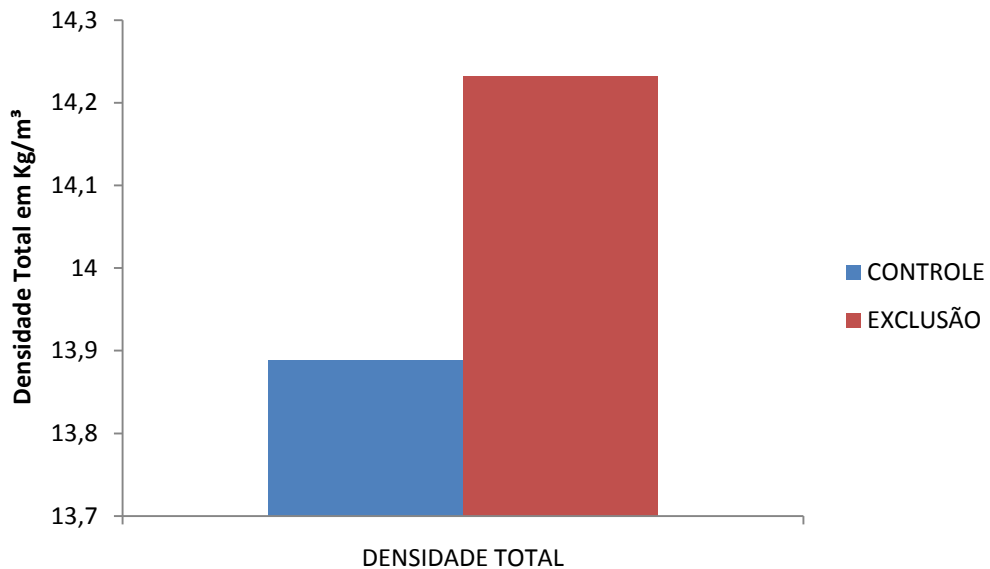


FIGURA 09 – Densidade total em Kg/m^3 , na área do projeto ESECAFLOR.
Fonte: Do autor.

5 CONCLUSÃO

O crescimento total das raízes nas parcelas de controle e exclusão não apresentou uma diferença muito significativa, ficando em uma taxa de crescimento maior em favor da área de controle. Isto provavelmente é explicado pelo fato da área do controle dispor de umidade do solo maior do que a área de exclusão. Em relação à biomassa total, observou-se que a área em que se faz a exclusão da água da chuva tem uma maior quantidade de biomassa total. Isso pode ser explicado pelo fato das raízes finas dessa parcela ter maior necessidade de buscar água no solo para seu desenvolvimento, aprofundando-se cada vez mais no solo em busca de água. Além disso, essa parcela apresentou maior quantidade de raízes grossas do que na parcela de controle.

Já em relação à densidade total da biomassa, verificou-se que sua maior densidade é encontrada na área da parcela de exclusão, devido aos mesmos motivos citados no parágrafo anterior.

REFERÊNCIAS

- ABER, J. D.; MELILLO, J. M.; NADELHOFFER, K. J.; MCCLAUGHERTY, C. A.; PASTOR J. Fine root turnover in forest ecosystems in relation to quantity and form of nitrogen availability: a comparison of two methods. **Oecologia**, v. 66, p. 317-321, 1985.
- ALMEIDA, S. S.; LISBOA, P. L. B., SILVA, A. S. L. Diversidade florística de uma comunidade arbórea na Estação Científica Ferreira Penna, em Caxiuanã – PA. **Bol. Museu Emilio Goeldi, Ser. Bot.**, Belém, v. 9, n. 1, p. 99-120, 1993.
- ATKIN, O. K. et al. Response of root respiration to changes in temperature and its relevance to global warming. **New Phytologist**, v. 147, p. 141-154, 2000.
- BASSIRIRAD, H. Kinetics of nutrient uptake by roots: responses to global change. **New Phytologist**, v. 147, p. 155-169, 2000.
- BORMANN, B. T., D. WANG, F. H. BORMANN, G. BENOIT, R. APRIL, AND M. C. SNYDER. Rapid, plant-induced weathering in an aggrading experimental ecosystem. **Biogeochemistry**, v. 43, p. 129–155, 1998.
- BOWDEN, R. D; NADELHOFFER, K. J.; BOONE, R. D.; MELILLO, J. M.; GARRISON, J. B. Contributions of aboveground litter, belowground litter, and root respiration to total soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, p. 1402-1407, 1993.
- BOX, E. O. Predicting physiognomic vegetation types with climate variables. **Vegetatio**, v. 45, p. 127–139, 1981.
- BURTON, A. J.; PREGITZER, K. S.; ZOGG, G. P.; ZAK, D. R. Drought reduces root respiration in sugar maple forests. **Ecological Applications**, v. 8, p. 771-778, 1998.
- CAIRNS, M. A., S. BROWN, E. H. HELMER, AND G. A. BAUMGARDNER. Root biomass allocation in the world's upland forests. **Oecologia**, v. 111, p.1–11, 1997.
- CANADELL, J., R. B. JACKSON, J. R. EHLERINGER, H. A. MOONEY, O. E. SALA, And E.-D. SCHULZE. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. **Oecologia**, v. 108, p. 583–595, 1996.

COSTA, R.; COSTA, A. C. L.; MEIR, P., MALHI, Y. S., FISHER, R. A., BRAGA, A. P., OLIVEIRA, P. J., SILVA JUNIOR, J. A., GONÇALVES, P. H. L., COSTA, J. M. N., VALE, R. L., SOTTA, E. D., COHEN, J. C. P., RUIVO, M. L. P., SILVA, R. B.; ANDRADE, V. M. S.; GRACE, J. Projeto LBA/ESECAFLOR em Caxiuanã: Características, Atividades e Resultados. In: SEMINÁRIO DE 10 ANOS DE ATIVIDADES DA ECFPn, CAXIUANÃ, 1., 2003, Belém. **Resumos...** Belém: MPEG, 2003. CD-ROM.

CULLEN, M. J. P. The united forecast climate model. **The Meteorological Magazine**, v. 122, p. 81-95, 1993.

DICKMAN, D. I; NGUYEN, P. V; PREGITZER, K. S. Effects of irrigation and coppicing on above-ground growth, physiology, and fine-root dynamics of two field-grown hybrid poplar clones. **Forest Ecology and Management**, v. 80, p. 163-174, 1996.

FITTER, A. H.; GRAVES, J. D.; WOLFENDEN, J.; SELF, G. K.; BROWN, T. K.; BOGIE, D.; MANSFIELD, T. Root production and turnover and carbon budgets of two contrasting grasslands under ambient and elevated atmospheric carbon dioxide concentrations. **New Phytologist**, v. 137, p. 247-255, 1997.

FORBES, P. J.; BLACK, K. E.; HOOKER, J. E. Temperature-induced alteration to root longevity in *Lolium perenne*. **Plant and Soil**, v. 190, p. 87-90, 1997.

GRACE, J.; J. LLOYD; J. MCINTYRE; A. MIRANDA; P. MEIR; H. MIRANDA; C.A. NOBRE; J. MONCRIEFF; J. MASSHEDER; Y. MALHI; I. WRIGHT; J. GASH. Carbon Dioxide Uptake by an Undisturbed Tropical Rain Forest in Southwest Amazonia. **Science**, vol. 270, p.778-780, 2002.

HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. The dynamics of fine root length, biomass, and nitrogen content in two northern hardwood ecosystems. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 23, p. 2507-2520. 1993.

HENDRICK, R. L.; PREGITZER, K. S. Temporal and depth-related patterns of fine root dynamics in northern hardwood forests. **Journal of Ecology**, v. 84, p. 167-176, 1996.

HOUGHTON, J. T; MEIRA FILHO, L. G.; CALLANDER, B. A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. Technical summary. In: HOUGHTON, T.; MEIRA FILHO, LG; CALLANDER, B.A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (Ed.). **Climate change 1995: the science of climate change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, p. 13-49. (Contribution of Working Group 1 to the

Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.). 1996.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da floresta Amazônica brasileira por satélite: 1998 – 2000**. São José dos Campos, 2001.

JACKSON, R. B., J. CANADELL, J. R. EHLERINGER, H. A. MOONEY, O. E. SALA, AND E.-D. SCHULZE. A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. **Ecologic**, v. 108, p. 389–411, 1996.

JACKSON, R. B., et al. Belowground consequences of vegetation change and their treatment in models. **Ecological Applications**, v. 10, p. 470–483, 2000

JACKSON, R. B., J. S. SPERRY, AND T. E. DAWSON. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. **Trends in Plant Science**, v. 5, p. 482–488, 2000.

JACKSON, R. B.; MOONEY H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. **Ecology**, .v. 94, p. 7362–7366, 1997.

JOHNSTON, C. D., D. H. HURLE, D. R. HUDSON, AND M. I. HEIGHT. Water movement through preferred paths in lateritic profiles of the Darling Plateau, Western Australia. **CSIRO Groundwater Research Technical Paper**, v. 1, p. 1–34, 1983.

KASPER, T. C.; BLAND, W. L. Soil temperature and root growth. **Soil Science**, v. 154, p. 290-299, 1992.

KATTENBERG, A.; GIORGI, F.; GRASSL, H.; MEEHL, G. A.; MITCHELL, J. F. B.; STOUFFER, R. J.; TOKIOKA, T.; WEAVER, A. J.; WIGLEY, T. M. L. Climate models - projections of future climate. In: HOUGHTON, T.; MEIRA FILHO, J. T; CALLANDER, L. G.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (Ed.). **Climate change 1995: The science of climate change**. New York, USA: Cambridge University Press, p. 283-357, 1996.

KERN, D. C. **Geoquímica e pedoquímica em sítios arqueológicos com terra preta na Floresta Nacional de Caxiuanã (Portel –PA)**. 119 f. 1996. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

KING, J. S.; PREGITZER, K. S.; ZAK, D. R. **Clonal variation in aboveand belowground growth responses of *Populus tremuloides* Michaux: Inuence of soil warming and nutrient availability.** *Plant and Soil* v. 217, p. 119-130, 1999.

KUHNS, M. R.; GARRETT, H. E.; TESKEY, R. O.; HINCKLEY, T. M. Root growth of black walnut trees related to soil temperature, soil water potential, and leaf water potential. **Forest Science**, v. 31, p. 617-629, 1985.

LAMBERS, H.; ATKIN, O. K; SCHEURWATER, I. Respiratory patterns in roots in relation to their functioning. In: Waisel Y, Eshel A, Kafkaki U, eds. **Plant roots. The hidden half**. New York, USA: Marcel Dekker, p. 323-362, 1996.

LANDHAUSSER, S. M.; WEIN, R. W.; LANGE, P. Gas exchange and growth of three arctic tree-line tree species under different soil temperature and drought preconditioning regimes. **Canadian Journal of Botany**, v. 74, p. 686-693, 1996.

LIPPU, J.; PUTTONEN, P. Soil temperature limitations on gas exchange in 1-year old *Pinus sylvestris* (L.) seedlings. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 6, p. 73-78, 1991

LISBOA, P. L. B. Caxiuanã desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia. Belém. **Museu Paraense Emílio Goeldi**, 2009.

LISBOA, P. L. B. Estação Científica Ferreira Penna ciência e desenvolvimento na Amazônia. Belém. **Museu Paraense Emílio Goeldi**, 2007.

LISBOA, P. L. B.; SILVA, A. S. L.; SOARES, S. S. Florística e estrutura dos ambientes. In: LISBOA, P. L. B.(Org.). **Caxiuanã**. Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, . p. 163–197, 1997.

LONG, S. P.; HUTCHIN, P. R. Primary production in grasslands and coniferous forests with climate change an overview. **Ecological Applications**, v. 1, p. 139-156, 1991.

MCMICHAEL, B. L.; BURKE, J. J. Soil temperature and root growth. **HortScience**, v. 33, p. 947-951, 1998.

MEEK, B. D. E. R.; RECHEL, L. M.; CARTER, W. R.; DETAR, AND A. L. URIE. Infiltration rate of sandy loam soil: effects of traffic, tillage, and plant roots. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 908–913, 1992.

MEIR, P.; COSTA, A. C. L.; FERREIRA DA COSTA, R.; SILVA JÚNIOR, J. A.; RUIVO, M. L. P.; COSTA, J. M. N.; MALHI, Y.; GREICE, J; SOTTA, E. D.; VALE, R. L. Effects of experimental drought on carbon cycling in an Eastern Amazonia. In: **SEVENTH LBA-ECOSCINCETEAM BUSINESSMEETING**, 2003, Fortaleza. Results of ecological studies of the large scala biosphere-atmosfere experiment in Amazonia (LBA). 2003.

MOORE, T. R; ROULET, N. T.; WADDINGTON, J. M. Uncertainty in predicting the effect of climatic change on the carbon cycling of Canadian peatlands. **Climatic Change**, v. 40, p. 229-245, 1998.

MORAES, J. C. et al. Estudos hidrometeorológicos na bacia do rio Caxiuanã. In: LISBOA, P. L. B.(Org.). **Caxiuanã**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 85-95, 1997.

NEILSON, R. P. A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. **Ecological Applications**, v. 5, p. 362–385, 1995.

OERTLI, J. J. Transport of water in the rhizosphere and in roots. In: Waisel, Y, Eshel, A, eds. **Plant roots, the hidden half**. New York, USA: Marcel Dekker, 607-633, 1996.

PIATEK, K. B.; ALLEN, H. L. Nitrogen mineralization in a pine plantation fteen years after harvesting and site preparation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 990-998, 1999.

PORTELA, B. T. T. **Dinâmica de biomassa de raízes em floresta nativa e floresta plantada em áreas perturbadas pela exploração petrolífera - Urucú – AM**, Belém – PA, 2010.

PORTELA, B. T. T. **Estudo da variabilidade mensal da taxa de crescimento de raízes em diferentes condições de umidade do solo na Floresta Nacional de Caxiuanã-Pa**. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2007.

PREGITZER, K. S.; LASKOWSKI, M. J; BURTON, A. J; LESSARD, V. C; ZAK, D. R. Variation in sugar maple root respiration with root diameter and soil depth. **Tree Physiology**, v. 18, p. 665-670, 1998.

PRENTICE, I. C.; CRAMER, W.; HARRISON, S. P.; LEEMANS, R.; MONSERUD, R. A. AND SOLOMON, A. M. A global biome model based on plant physiology and

dominance, soil properties and climate. **Journal of Biogeography**, v. 19, p.117–134, 1992.

RIND, D.; GOLDBERG, R.; HANSEN, J.; ROSENZWEIG, C.; RUEDY, R. Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought. **Journal of Geophysical Research**, v. 95(D7), p. 9983-10004, 1990.

SCHIMPER, A. F. W. **Pflanzen-Geographie auf physiologischer Grundlage**. Gustav Fischer, Jena, Germany, 1898.

SMITH, D. M.; N. A. JACKSON; J. M. ROBERTS; AND C. K. ONG. Reverse flow of sap in tree roots and downward siphoning of water by *Grevillea robusta*. **Functional Ecology**, v. 13, p. 256–264, 1999.

SOUZA, J. R. S. Variabilidade da temperatura e umidade em solos sob floresta, pastagem e manguezal, no Leste da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002, Foz do Iguaçu- PR, **Anais**. Foz do Iguaçu-PR, 2002. 1 CD-ROM.

STONE, E. L.; KALISZ, P. J. On the maximum extent of tree roots. **Forest Ecology Management**, v. 46, p. 59–102, 1991.

THOMAS, R. B; STRAIN, B.R. Root restriction as a factor in photosynthetic acclimation of cotton seedlings grown in elevated carbon dioxide. **Plant Physiology**, v. 9, p. 627-634, 1991.

TORREANO, S. J.; MORRIS, L. A. Loblolly pine root growth and distribution under water stress. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 818-827, 1998.

VOGT, K. A.; VOGT, D. A.; BLOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. **Plant and Soil**, v. 200, p. 71–89, 1998.

VOGT, K. A. et al. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climatic forest type and species. **Plant Soil**, v.187, p.159–219, 1996.

WIGLEY, T. M. L. Measurement and prediction of global warming. In: JONES R.R.; WIGLEY, T.M.L. (eds.) **Ozone depletion: health and environmental consequences**. Chichester, UK: John Wiley, 1989. p.85-97.

WIGLEY, T. M. L.; BRIFFA, K. R.; JONES, P. D. Predicting plant productivity and water resources. **Nature**, v. 312, p. 102-103. 1984.

WOODWARD, F. I. **Climate and plant distribution**. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1987.

ZAK, D. R.; HOLMES, W. E.; MACDONALD, N. W.; PREGITZER, K. S. Soil temperature, matric potential, and the kinetics of microbial respiration and nitrogen mineralization. **Soil Science Society of America Journal**, v. 63, p. 575-584, 1999.