

JOSÉ AUGUSTO DE SOUZA JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NAS TAXAS DE
CRESCIMENTO DE RAÍZES NA FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ-PA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729i
2011

Souza Júnior, José Augusto de, 1986-

Influência da precipitação pluviométrica nas taxas de
crescimento de raízes na floresta nacional de Caxiuanã-PA /
José Augusto de Souza Júnior. – Viçosa, MG, 2011.
xi, 47f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: José Maria Nogueira da Costa.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 44-47.

1. Micrometeorologia - Amazônia. 2. Solos florestais.
3. Dióxido de carbono. 4. Microclimatologia. 5. Plantas -
Fatores climáticos. 6. Precipitação (Meteorologia) -
Amazônia. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 551.6609811

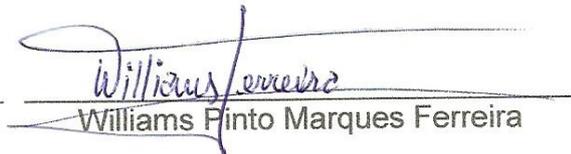
JOSÉ AUGUSTO DE SOUZA JÚNIOR

**INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NAS TAXAS DE
CRESCIMENTO DE RAÍZES NA FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ-PA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de fevereiro de 2011.


Hernani José Brazão Rodrigues


Williams Pinto Marques Ferreira


Jose Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

Dedico esta Obra:

À minha mãe, Maria do Carmo Felipe de Oliveira.

Ao meu pai, José Augusto de Souza.

Ao meu orientador, José Maria Nogueira da Costa.

Ao meu co-orientador, Antônio Carlos Lôla da Costa.

À minha namorada, Patrícia Porta Nova da Cruz.

AGRADECIMENTOS

À Deus por todas as vitórias alcançadas.

À minha Mãe Maria do Carmo Felipe de Oliveira por todos os momentos de carinho, atenção e auxílio a mim dedicado, sua participação em minha vida é fundamental e é o meu maior exemplo a ser seguido.

Ao meu Pai José Augusto de Souza por todo o apoio, sempre acreditar em mim, estar presente em todos os momentos bons, e solucionando os de dificuldade. Um grande exemplo de pessoa e herói.

Ao meu orientador Professor José Maria Nogueira da Costa por toda a sabedoria. Tudo que me ensinou será importante em todos os momentos. Estar sob vossa orientação é receber o mais valioso dos conhecimentos.

Ao meu co-orientador Antônio Carlos Lôla da Costa por todo o apoio, suporte, auxílio e disponibilidade. Seu apoio foi fundamental para o desenvolvimento dessa pesquisa e por isso lhe serei grato eternamente.

Ao Professor Hernani José Brazão Rodrigues, por todo o incentivo, todo o apoio, todos os conselhos que me ajudaram muito. Agradeço a oportunidade de trabalhado com o Sr. e espero que possamos trabalhar juntos novamente.

À minha namorada Patrícia Porta Nova da Cruz, por estar sempre comigo, por todos os momentos de carinho e paciência e por ser simplesmente essencial.

Aos grandes amigos Rômulo Oliveira, Monik Albuquerque, Patrícia Chaves e Jeferson Machado, por serem grandes amigos e irmãos e por sempre ter podido contar com vocês.

Às minhas irmãs Adriana e Pauline de Souza, ao Irmão Gustavo de Souza, à Tia Ana e à Ana Flávia por sempre acreditarem em mim e poder contar com vocês quando preciso. Passar esses anos de mestrado perto de vocês foi mais do que especial.

À todos os membros do Projeto ESECALOR e amigos Alex Oliveira, Bruno Takeshi e João Athaydes. Não tenho palavras para agradecer todo o suporte que vocês me proporcionaram ao longo de meu mestrado, sem dúvida vocês formam a melhor equipe que já conheci, vocês terão minha eterna admiração.

Ao Professor Dimitrie Nechet, por ser um grande mestre, muito obrigado por todos os conselhos e todo o conhecimento que sempre me passou.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso e aos Professores do Programa de Meteorologia Agrícola pelos ensinamentos ministrados.

À todos que de certa forma contribuíram de forma direta ou indireta na construção desse trabalho.

À todos, Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

JOSÉ AUGUSTO DE SOUZA JÚNIOR, filho de Maria do Carmo Felipe de Oliveira e José Augusto de Souza, nasceu em 27 de outubro de 1986, em Belém, Estado do Pará.

Em dezembro de 2008, concluiu o curso de Graduação em Meteorologia na Universidade Federal do Pará.

Em março de 2009, iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós Graduação em Meteorologia Agrícola no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, na área de Micrometeorologia de Ecossistemas, submetendo-se à defesa de dissertação em 16 de fevereiro de 2011.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.	5
2.1. Floresta Nacional de Caxiuanã.	5
2.1.1. Vegetação.	5
2.1.2. Solo.	6
2.1.3. O Projeto LBA.	7
2.1.4. O Experimento ESECAFLOR.	7
2.2. Temperatura do Solo.	7
2.3. Umidade do Solo.	10
2.4. Crescimento de Raízes	11
2.5. Clima da Floresta Nacional de Caxiuanã.	12
2.6. Zona de Convergência Intertropical.	14
2.7. El Niño e La Niña.	15
3. MATERIAIS E MÉTODOS.	16
3.1. Área de estudo.	16
3.2. O Experimento.	17
3.3. Dados.	19
3.4. Coleta de Dados.	20
3.4.1. Sensor de Temperatura do Solo	21
3.4.2. Sensor de Umidade do solo.	21
3.4.3. Armazenamento de dados.	22
3.5. Rhizotron.	23
3.6. Ingrowth Cores.	24
3.7. Tratamento de dados.	6
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1. Precipitação pluviométrica.	28
4.2. Temperatura do solo.	30
4.3. Umidade do solo.	33

4.4. Taxa de crescimento de raízes.	36
4.4.1. Taxa de crescimento médio das raízes.	36
4.4.2. Taxa de crescimento total de raízes.	37
4.5. Correlação entre as variáveis meteorológicas e a taxa de crescimento de raízes.	39
4.6. Biomassa das Raízes	41
5. CONCLUSÕES.	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Percentual dos diferentes tipos de Solo da FLONA Caxiuanã.	6
Figura 02 – Variação horária de temperaturas do solo em um solo arenoso com argila vermelha em uma superfície descoberta.	9
Figura 03 – Tautócronas de temperatura em um latossolo desnudo.	10
Figura 04 – Imagem de Satélite da ZCIT, sobre a América do Sul.	14
Figura 05 – Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã.	16
Figura 06 – Parcela “A” (de controle) do projeto ESECAFLOR.	17
Figura 07 – Parcela “B” (de exclusão da precipitação pluviométrica) do projeto ESECAFLOR.	18
Figura 08 – Visão da Parcela “B” abaixo dos painéis.	18
Figura 09 – Calhas que fazem o transporte da água da precipitação pluvial excluída até as trincheiras.	19
Figura 10 – Poço de medição fechado e protegido, instalado na parcela “B” e painel fotovoltaico de alimentação dos sensores.	20
Figura 11 – Visão superior do poço de medição com os sensores instalados no seu interior.	20
Figura 12 – Sonda de mensuração da temperatura do solo.	21
Figura 13 – Sensor de mensuração da umidade do solo Campbell Scientific CS 616.	22
Figura 14 – <i>Datalogger</i> Campbell Scientific CR 1000.	22
Figura 15 – Rhizotron instalado na parcela do projeto ESECAFLOR.	23
Figura 16 – <i>Ingrowth Core</i> na parcela do experimento ESECAFLOR.	25
Figura 17 – Esquematização de posicionamento das medições nas parcelas do experimento ESECAFLOR.	26
Figura 18 – Precipitação Pluviométrica em Caxiuanã, ocorrida no período de janeiro de 2009 a março de 2010.	29
Figura 19 – Média horária das temperaturas do solo ocorridas no mês de janeiro de 2009 para a parcela “A”.	30

Figura 20 – Média horária das temperaturas do solo ocorridas durante o mês de janeiro de 2009 para a parcela “B”.	31
Figura 21 – Variação horária das temperaturas do solo no dia 08/01/2009.	32
Figura 22 – Variação horária das temperaturas do solo no dia 30/01/2009.	32
Figura 23 – Média das umidades do solo na parcela “A” para o mês de janeiro de 2009.	34
Figura 24 – Média das umidades do solo na parcela “B” para o mês de janeiro de 2009.	34
Figura 25 – Valores médios obtidos dos percentuais de umidade entre às 0, 6, 12 e 18 h, nos 100 primeiros centímetros de profundidade do solo, para os primeiros 15 dias do mês de janeiro nas parcelas “A” e “B”.	35
Figura 26 – Valores médios obtidos dos percentuais de umidade entre às 0, 6, 12 e 18 h, nos 100 primeiros centímetros de profundidade do solo, para os últimos 16 dias do mês de janeiro nas parcelas “A” e “B”.	36
Figura 27 – Taxa de crescimento médio de raízes, para as parcelas de controle e de exclusão, período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010.	37
Figura 28 – Taxa de crescimento total de raízes, nas parcelas de controle e exclusão, período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010.	38
Figura 29 – Correlação entre temperatura do solo e a Taxa de Crescimento de Raízes na Parcela de Controle e na Parcela de Exclusão.	39
Figura 30 – Correlação entre umidade do solo e a Taxa de Crescimento de Raízes na Parcela de Controle e na Parcela de Exclusão.	40
Figura 31 – Correlação entre Precipitação Pluviométrica e a Taxa de Crescimento de Raízes na Parcela de Controle e na Parcela de Exclusão	40

RESUMO

SOUZA JÚNIOR, José Augusto de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011. **Influência da precipitação pluviométrica nas taxas de crescimento de raízes na floresta nacional de Caxiuanã-Pa.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Co-Orientador: Antônio Carlos Lôla da Costa.

Estudos sobre estimativa de biomassa de raízes e seu crescimento, particularmente em ecossistemas florestais, vem sendo intensificados ultimamente pelo papel exercido pelas florestas no seqüestro de carbono e as possíveis conseqüências sob condições de mudança climática. O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento do crescimento de raízes de árvores na floresta de Caxiuanã – PA, sob diferentes condições de, temperatura e umidade do solo e exposição à precipitação pluvial, no período de janeiro de 2009 a março de 2010. Esse trabalho experimental foi realizado na Floresta Nacional de Caxiuanã – PA, no sítio do Projeto ESECAFLOR (Experimento de Seca na Floresta), localizado na Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), no município de Melgaço – PA. O monitoramento dos dados de temperatura e umidade do solo e de crescimento de raízes foi feito em duas parcelas, de 1ha cada, do Projeto ESECAFLOR (A e B). A parcela “A” consistiu de uma área sob condições naturais, denominada de parcela de controle. Na parcela “B”, foi feita a instalação de 5000 painéis plásticos a uma altura de 1,5 a 4 metros acima do solo, possibilitando, assim, a exclusão de aproximadamente 90% da água da chuva. A coleta de dados sobre o crescimento de raízes foi feita mensalmente, de outubro de 2009 à fevereiro de 2010, utilizando-se 18 Rhizotrons. A taxa de crescimento total de raízes foi superior na parcela de controle “A”, onde a taxa de crescimento de raízes mostrou-se positivamente correlacionada com a precipitação pluvial demonstrando a alta dependência da água para o desenvolvimento da floresta.

ABSTRACT

SOUZA JÚNIOR, José Augusto de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February of 2011. **Influence of rainfall on root growth rates on Caxiuanã national forest-Pa.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Co-Adviser: Antônio Carlos Lôla da Costa.

Studies about root biomass estimates and its growth, particularly in forest ecosystems, has been intensified lately by the role played by forests in carbon sequestration and the possible consequences under conditions of climate change. This study aimed to analyze the behavior of root growth of trees in the Caxiuanã – PA forest under different soil temperature and moisture and rainfall exposure conditions, from January 2009 to March 2010. This experiment was done in Caxiuanã National Forest - PA, in the site of the ESECAFLO Project (Experiment of Dry in Forest), located in the Ferreira Penna Scientific Station (FPSS), municipality of Melgaço - PA. The monitoring data of soil temperature and moisture and the root growth was made in two areas, one hectare each that belongs to ESECAFLO Project (A and B). The parcel "A", consisted of an area under natural conditions, called control parcel. In parcel "B", was made the installation of 5000 plastic panels to a height of 1.5 to 4 meters above the ground, enabling the exclusion of approximately 90% of rainwater. Data collection of root growth was assessed monthly, from October 2009 to February 2010, using 18 rhizotrons. The total root growth rate was higher in the control parcel "A", where the root growth rate was positively correlated with precipitation, showing the high dependence of water for forest development

1. INTRODUÇÃO

Os solos, por representarem a interface entre a litosfera, atmosfera e hidrosfera, possuem papel de grande relevância por serem bases de sustentação das atividades humanas. Pelo fato de demonstrarem as interações do material de origem com o clima e os componentes bióticos do ambiente, representam excelente estratificador do meio (Assad et al., 1998). Também possuem função de registro de informações históricas de certa região, referente à possível variação climática ou se a floresta foi substituída por pastagens ou campos de agricultura. Tais mudanças poderão ser registradas e identificadas pelas análises do perfil do solo (Costa et al., 2009).

Os solos estão relacionados com todo o processo de troca de água e energia entre a atmosfera, a biota e a superfície. Em processos de interação solo-atmosfera, propriedades como a temperatura e umidade do solo são regidos, dentre outros fatores, pelas características físicas dos mesmos e das trocas de calor e vapor d'água com a atmosfera, que, por sua vez, dependem do clima e da cobertura vegetal local (Souza, 2002). O estudo das propriedades térmicas, por meio da análise espacial e temporal, tem grande importância, à medida que, os ecossistemas são alterados por perturbações praticadas pelo homem. Na Floresta Amazônica, a extração industrial de madeira, queimadas, desmatamento e expansão da fronteira agrícola têm apresentado impactos significativos nas mudanças da interação solo-planta-atmosfera, conforme constatado por Carvalho (2007).

A temperatura do solo é uma das propriedades físicas de grande relevância na identificação e determinação do comportamento dos processos físicos do solo como troca de massa e energia, aeração e evaporação, além de influenciar na taxa de crescimento de vegetais e decomposição de matéria orgânica (Carvalho, 2007, Novak, 2005), e de estar relacionado com a mineralização da matéria orgânica do solo e liberação de CO₂ (Paul et al., 2004). O comportamento espacial e temporal da temperatura do solo depende da condutividade térmica, do calor específico e de sua emissividade, os quais dependem da textura, densidade e umidade do solo, além da influência dos

elementos meteorológicos que afetam o balanço de energia na superfície e os fatores relacionados com o tipo de cobertura da superfície e relevo (Pereira et al., 2002).

A umidade do solo também é uma variável importante nos processos de troca entre o solo e a atmosfera, afetando o comportamento radicular das plantas, contribuindo para a diluição dos nutrientes que são absorvidos e utilizados pelos vegetais para o seu crescimento e desenvolvimento, bem como para estudos de infiltração, de drenagem, de condutividade hidráulica e de irrigação, entre outros. Além disso, é uma variável indispensável para o entendimento de muitos processos hidrológicos que estão envolvidos em grande variedade de processos naturais (geomorfológicos, climáticos, ecológicos, etc.) que atuam em diferentes escalas espaciais e temporais. Considerando a importância da umidade do solo, várias técnicas ou métodos têm sido propostos para a sua determinação, podendo esta ser feita direta ou indiretamente. A escassez de dados de umidade do solo, com o nível de precisão desejável tem limitado o entendimento da interação entre a umidade do solo com as demais propriedades físicas do solo, associados com o crescimento de raízes (Entin et al., 2000).

Estudos sobre estimativa de biomassa de raízes e seu crescimento, particularmente em ecossistemas florestais, vem sendo intensificados ultimamente pelo papel exercido pelas florestas no seqüestro de carbono e pelas conseqüências de uma possível mudança climática nesses ecossistemas (Vogt et al., 1997). A floresta Amazônica contém de 70 a 80 bilhões de toneladas de carbono em biomassa vegetal e é responsável por mais de 10% do saldo de produção primária do ecossistema terrestre (Houghton et al., 2001, Metcalfe et al., 2008a). Segundo Costa (2006a), cerca de 20% da biomassa total de florestas está abaixo do solo, sendo que dentro desses 20%, mais de 50% do carbono absorvido pode estar alocado abaixo do solo.

A maioria dos estudos, realizados sobre crescimento de raízes em ecossistemas florestais se concentra nas regiões temperadas ou boreais, sendo ainda muito escasso esse tipo de pesquisa em florestas tropicais (Metcalfe et al., 2008b), embora vários trabalhos já tenham sido realizados na

floresta amazônica relacionados com a análise da biomassa aérea e a fisiologia das plantas.

O melhor conhecimento da influência do microclima do solo sobre a distribuição e crescimento de raízes das árvores possibilita uma maior compreensão das propriedades que influenciam os fluxos de água, carbono e nutrientes no solo (Costa et al., 2006b), suprimindo, assim, lacuna nas parametrizações de modelos sobre o papel das florestas tropicais no balanço global de carbono (Jackson et al., 1997, Vogt et al., 1996).

Diante do exposto e considerando a carência de pesquisas experimentais sobre as propriedades do solo e sua relação com a taxa de crescimento de raízes e quantificação de biomassa em diferentes condições de temperatura e umidade do solo e exposição à precipitação justifica-se o estudo aprofundado e contínuo sobre a taxa de crescimento de raízes relacionado com a precipitação pluviométrica, temperatura e umidade do solo em florestas tropicais chuvosas, como é o caso da floresta de Caxiuanã no estado do Pará, objetivando-se ampliar o conhecimento dessas interações, bem como possibilitar o uso desse no aperfeiçoamento de modelos de dinâmicas de raízes.

O presente trabalho teve como objetivos específicos:

1) Analisar o comportamento horário e diário da temperatura e umidade do solo em duas parcelas: uma em condições naturais de floresta e outra modificada, com instalação de painéis impedem o acesso ao solo da água da chuva.

2) Avaliar a taxa de crescimento de raízes nas duas parcelas experimentais, mencionadas no item anterior, estabelecendo relações de dependência entre as taxas de crescimento de raízes e as variações de temperatura, umidade do solo e exposição à precipitação.

3) Analisar o comportamento da precipitação pluvial e os fenômenos meteorológicos atuantes durante o período de estudo.

2. REVISÃO DE LITERATURA.

2.1. Floresta Nacional de Caxiuanã.

A floresta ombrófila densa (floresta tropical) é a vegetação nativa presente em Caxiuanã que também apresenta campos naturais. Pertencente ao bioma Amazônia ela apresenta 324ha de superfície, considerada como Unidade de Conservação Federal pelo decreto número 239, é a floresta mais antiga da Amazônia legal e abriga grande número de espécies arbóreas sendo 85% da vegetação predominante de terra firme, 10% de floresta alagada de igapó e várzea, sendo os 5% restantes composta por pequenas porções de vegetação alterada e manchas de vegetação de savana não florestal (Lisboa, 2009).

A Floresta Nacional de Caxiuanã é formada por ampla extensão de terrenos aquosos, possuindo alguns dos ecossistemas naturais mais representativos da região amazônica, e ainda desconhecido, nos mais diversos campos do conhecimento científico. É uma região que apresenta ambientes naturais bem conservados, baixa densidade demográfica, determinada pelo isolamento, e alta biodiversidade local, com excelente estado de conservação de sua floresta de terra firme, igapó e várzea (Lisboa, 2009).

2.1.1. Vegetação.

O ecossistema da floresta amazônica é um dos maiores da atualidade e de grande importância local e mundial. Com área em torno de 6,3 milhões de km² distribuída entre o Brasil, a Guiana, a Guiana Francesa, a Colômbia, o Equador e a Venezuela, abrange grandes rios e imensas áreas florestais, sendo considerada mundialmente como a mais rica por sua extensa biodiversidade e material genético (Costa, 2008). Por essas características, é indiscutível a importância que ela mantém nos processos que controlam o equilíbrio climático da região e do planeta e assim, a base da sustentabilidade ambiental (Santiago, 2005).

A cobertura vegetal é constituída de floresta densa de terra firme. Do ponto de vista da flora, Caxiuanã é uma das áreas de terra firme com maior riqueza de espécies raras e presença de espécies de fanerógamas e criptógamas que foram encontradas posteriormente em apenas alguns outros locais da Amazônia ou demais regiões brasileiras. Também estão presentes diversas espécies de fungos, orquídeas e insetos, caracterizando, assim, a floresta de Caxiuanã como detentora de um material biológico riquíssimo para pesquisas (Lisboa, 2009).

2.1.2. Solo.

A FLONA Caxiuanã é composta por diferentes tipos de solo, como argissolo, latossolo, plintossolo, alissolo, gleissolo e neossolo, Figura 01, sendo a predominância de latossolo amarelo, em torno de 65%, assentados sobre um material sedimentar, do tipo argiloso e coloração variando de bruno a amarelado (Costa, 2009). Esses solos variam de moderadamente drenados, a bem drenados, com pH entre 3,5 (ácido) e 5,5 (moderadamente ácido), caracterizando-se assim pela acidez e boa drenagem, apesar de alguns perfis apresentarem textura muito argilosa (Chaves, 2008).

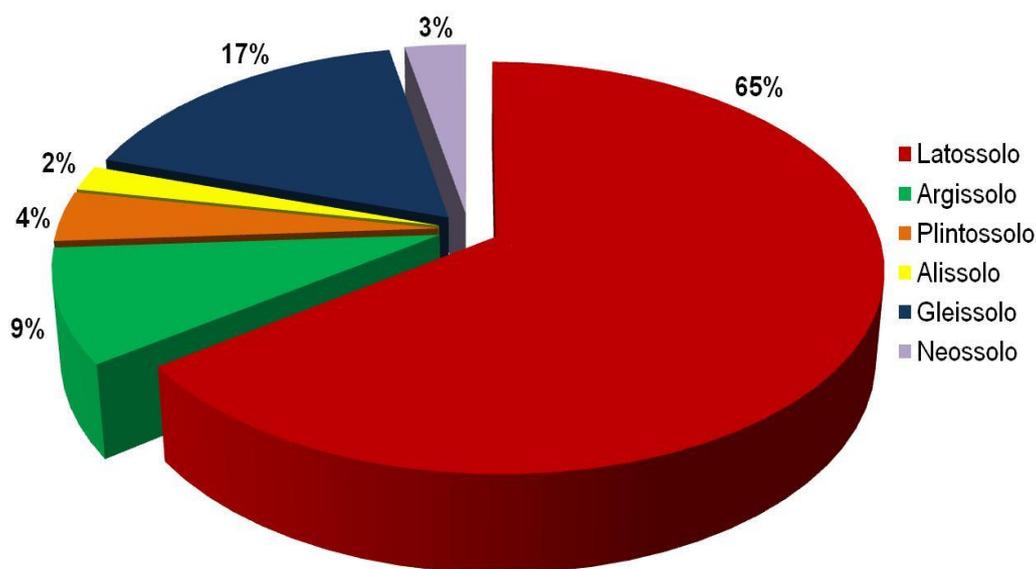


Figura 01 – Percentual dos diferentes tipos de Solo da FLONA Caxiuanã.
[Fonte: Costa, 2009].

2.1.3. O Projeto LBA.

Objetivando estudar Floresta Nacional de Caxiuanã existem diversos Projetos de pesquisa, dentre os quais se destaca o LBA. O Projeto LBA: Experimento em Grande Escala da Biosfera – Atmosfera na Amazônia é um programa de pesquisa multinacional e interdisciplinar liderado pelo Brasil, que tem como objetivo o entendimento das alterações nos ciclos de água, carbono e nutrientes, assim como também estudar os balanços de energia por meio das mudanças realizadas na cobertura vegetal da região. O projeto estuda as relações entre o clima, os solos, os gases atmosféricos e os impactos do uso da terra na Amazônia, além de pesquisar as interações dos processos entre o ciclo biogeoquímico, a biosfera e o ciclo hidrológico amazônico.

2.1.4. O Experimento ESECAFLOR.

Desenvolvido desde o ano 2000 no âmbito do Projeto LBA. O ESECAFLOR é um Experimento de Seca na Floresta, que simula o impacto da seca prolongada nos fluxos de água e dióxido de carbono em uma porção da floresta tropical Amazônica, localizada na Floresta Nacional de Caxiuanã, no Município de Melgaço – Pa. Assim, as conseqüências ocasionadas pela exclusão da água precipitada da atmosfera são investigadas, simulando assim, os impactos na floresta em situação de seca prolongada, como no caso de ocorrência do fenômeno El Niño.

2.2. Temperatura do Solo.

A energia radiante que atinge a superfície terrestre será destinada a alguns processos físicos principais, e dentre esses, um (convecção) está relacionado ao aquecimento do ar e outro (condução) ao aquecimento do solo, assim, responsáveis pelas variações de temperatura nesses meios. A temperatura é a grandeza que expressa a quantidade de calor sensível em um corpo (Pereira et. al., 2002).

A superfície do solo é aquecida principalmente pela absorção de energia solar durante o dia, e durante a noite a noite ocorre liberação de calor do solo para a atmosfera, onde ocorrem trocas de calor entre a superfície do solo e a atmosfera, tanto por condução quanto por irradiação, além do intercâmbio de calor através de processos como evaporação e condensação da água. No interior do solo, o transporte de calor se dá por condução e, através da água, por convecção.

A temperatura do solo, tanto na superfície como em diferentes profundidades pode variar bastante no tempo e no espaço. De vêz que o fluxo de calor no solo é condicionado principalmente pela absorção de energia solar à superfície, a oscilação da temperatura do solo apresenta ciclos horários, diários e anuais, que embora com certa defasagem, acompanham os respectivos movimentos aparentes do sol. Isso é explicado porque o fluxo de calor no interior do solo é relativamente lento, assim, quando se verifica a temperatura máxima do ar, algum tempo depois se verificará a temperatura máxima do solo em função da defasagem, fato esse válido também para as temperaturas mínimas (Varejão-Silva, 2001), como se pode observar na Figura 02. A defasagem é tanto maior quanto mais profunda for a camada considerada. Por outro lado a amplitude térmica do solo será tanto menor quanto maior a profundidade selecionada (Geiger, 1980), pois, através de experimentos, foi observado que o intervalo ou amplitude de variação diurna da temperatura do solo decresce exponencialmente com a profundidade, tornando-se insignificante por volta da profundidade de 1 metro (Arya, 1990).

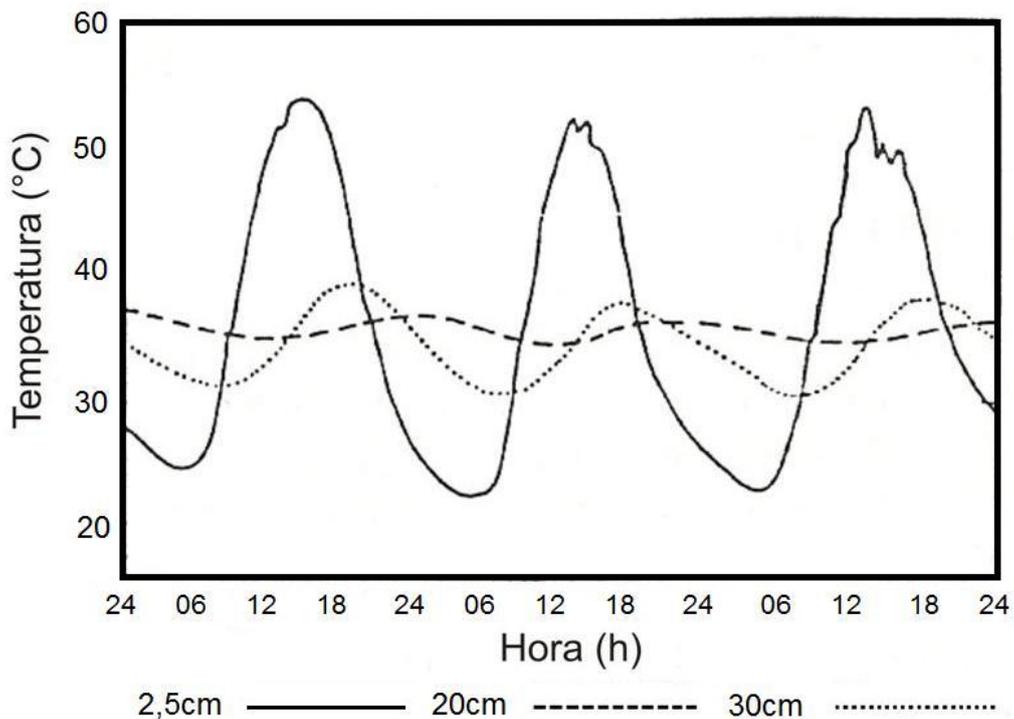


Figura 02 – Variação horária de temperaturas do solo em um solo arenoso com argila vermelha em uma superfície descoberta. [Fonte: Deacon, 1969].

Além dos ciclos horários, diários e anuais, a variação da temperatura do solo ao longo do dia e da profundidade pode ser estudada a partir da elaboração de perfis de variação da temperatura (tautócronas) como no seguinte exemplo de Pereira et al., (2002), Figura 03, onde pode se observar que durante a madrugada (entre 23 horas e 05 horas) a temperatura aumenta com a profundidade do solo mostrando o fluxo de calor negativo, da superfície para a atmosfera enquanto que durante o período da tarde (entre 13 horas e 19 horas), a temperatura do solo diminui com a profundidade, mostrando um fluxo de calor inverso, positivo, da atmosfera para a superfície do solo. É notado ainda a isotermia (mesmos valores de temperatura) a partir de 35 cm de profundidade, ou seja, a partir desse nível ocorre amortecimento da onda diária de calor.

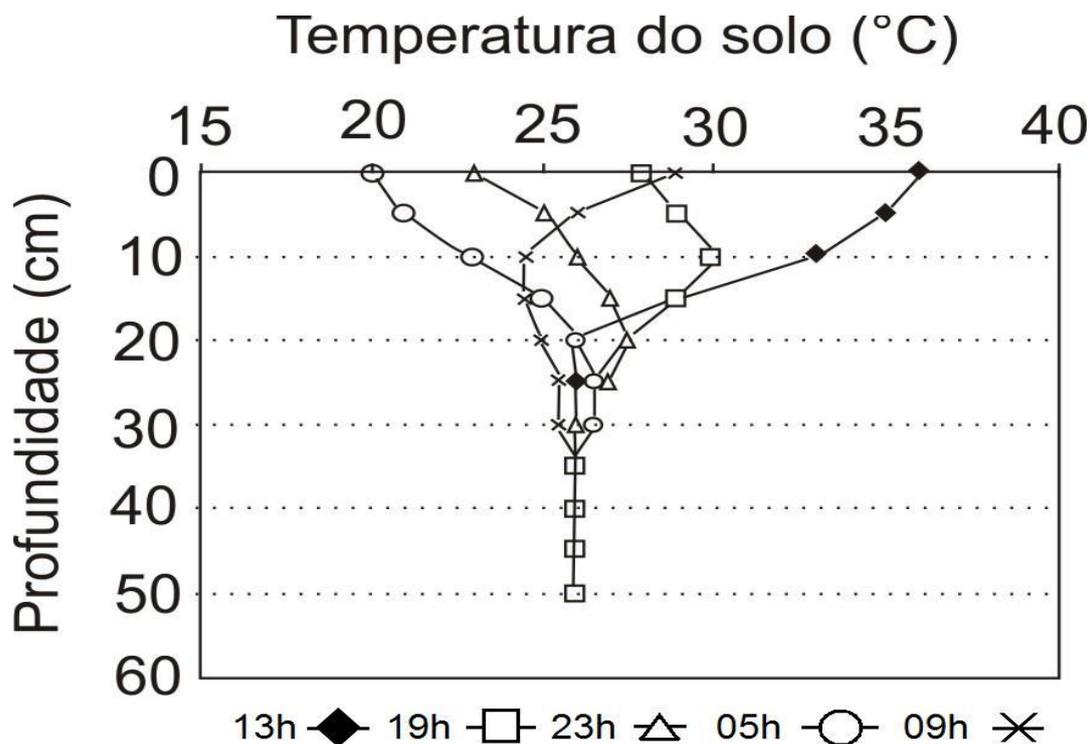


Figura 03 – Tautócronas de temperatura em um latossolo desnudo. [Fonte: Pereira et al., 2002].

2.3. Umidade do Solo.

A umidade do solo expressa o teor de água presente no solo a qual pode ser obtida pelo método de secagem em estufa. Possui papel fundamental nos processos de transferência de energia interna (calor) e momento entre a atmosfera e a superfície. A velocidade de infiltração de água no solo é inversamente proporcional à precipitação pluvial, quando há a ocorrência de pequenas quantidades de chuva, período menos chuvoso, (Julho à Dezembro) a infiltração atinge velocidades maiores do que durante os meses do período chuvoso (Janeiro à Junho) (COSTA, 2006a).

2.4. Crescimento de Raízes.

A relação entre a mudança do clima global, o crescimento vegetal e o papel das florestas no seqüestro de carbono tem encorajado o aprimoramento dos estudos de biomassa de raízes (Vogt, et al., 1997), embora ainda sejam escassos os resultados conclusivos sobre o assunto.

Em estudo de Hendrick et al., (1993) é sugerido que a temperatura do solo pode influenciar de forma negativa ou positiva na longevidade de raízes. Black et al., (1995) utilizaram dados experimentais para realizar estudos sobre a longevidade de raízes em diferentes tipos de árvores, observaram que as diferenças encontradas são determinadas predominantemente por fatores como diferenças fisiológicas e condições ambiente influenciados por processos físicos no solo.

Pregitzer et al., (2000) sugerem a hipótese de que, em situações de aumento de temperatura do ar, como o aquecimento global, pode ocorrer modificações no comportamento do crescimento de raízes. Para ecossistemas boreais e de tundra, com certo aumento de temperatura média do ar resultará em aquecimento antes da primavera o que desregulará e poderá aumentar a produção ou mortalidade de raízes.

Segundo Kuhn et al., (1985) mudanças na umidade do solo ocasionam alterações na disponibilidade de nutrientes que pode levar a interferências no crescimento de raízes e através de experimentos observaram que em condição de déficit hídrico culturas tiveram diminuição no crescimento de raízes.

Dentre as metodologias de estudo de crescimento de raízes, Bernier e Robtaille, (2000); Black et al., (1998); Vogt et al., (1997) afirmam que o excelente método de obtenção de resultados é a instalação de rizotrons, que eles classificam como uma ferramenta única e excelente para acompanhamento experimental a fim de se estabelecer o estudo sobre dinâmica de crescimento de raízes e busca de resultados estimados de produtividade desse componente das plantas.

Devido às dificuldades em estudar a dinâmica de raízes em plantas em geral, no campo, houve tendência concentrada em coleta de dados para

biomassa de raízes e para suas distribuições dentro dos perfis de solo (Böhm, 1979, Vogt et al., 1997). Este tipo de estudo é válido, porém, não avalia as influências diretas ou indiretas que estas raízes têm em atividades biológicas e químicas no solo, ou até mesmo que raízes possam ter outras adaptações para aumentar suas aquisições em recursos bióticos, que a estimativa de biomassa não reflete (Eissenstat e Vanrees, 1994, Vogt, 1997).

Dentre os estudos sobre crescimento de raízes, um grande consenso é o de que existe uma necessidade de pesquisas em regiões tropicais e muitos autores sugerem que esses devem ser implementados cada vez mais visando estabelecer resultados nessas áreas, para assim suprir a atual carência de informações existente, demonstrando a relação do crescimento de raízes com outros fatores, como precipitação pluvial, temperatura e umidade do solo.

2.5. Clima da Floresta Nacional de Caxiuanã.

Os elementos meteorológicos determinam as seguintes condições gerais do microclima local: A temperatura do ar apresenta uma distribuição uniforme durante todo o ano, com o mês mais quente em outubro e o mais frio em março. A temperatura média anual é de 26,8°C, variando de 26,0°C no mês de março a 27,5°C no mês de outubro. As temperaturas máximas variam de 34,1°C (outubro) e 31,3°C (março), enquanto as temperaturas mínimas variam de 23,4°C (outubro) e 23,0 °C (março).

O regime pluviométrico caracteriza-se por uma estação mais chuvosa, de janeiro a junho, sendo março o mês mais chuvoso com 380 mm e uma estação menos chuvosa, abrangendo os demais meses do ano, sendo outubro o mês menos chuvoso, com 51 mm. A estação chuvosa varia bastante com relação à intensidade e frequência das chuvas, em decorrência da maior atuação da Zona de Convergência Intertropical. No período menos chuvoso predominam as chuvas de caráter convectivo, que são chuvas locais, decorrentes da ascendência de massas de ar quente e úmida. A variação média mensal da umidade relativa do ar oscila entre 91% e 83%, nos meses de

março e outubro, respectivamente, com uma média anual de 87% (Oliveira et al., 2001).

A velocidade média do vento é de $0,9 \text{ m.s}^{-1}$, onde os maiores valores ocorrem durante os meses de agosto, setembro e outubro com valores médios de $1,54$; $1,76$ e $1,55 \text{ m.s}^{-1}$, respectivamente, e o menor valor médio acontece no mês de março com $0,46 \text{ m.s}^{-1}$. Sazonalmente, os valores médios são de $1,0$ e $0,9 \text{ m.s}^{-1}$ para os períodos seco e chuvoso, respectivamente, a velocidade é maior no período seco, que se justifica pela maior incidência de radiação solar nessa época, aumentando o contraste térmico entre as superfícies líquidas e solo, ocasionando o fortalecimento do efeito de brisa local na floresta pelo gradiente de pressão alterado.

A direção do vento é predominantemente de nordeste e sudeste, sendo em torno de 80% na parte leste-oeste, principalmente nos períodos noturnos e matutinos e os outros 20% se encontram no setor leste-sudeste, principalmente no período vespertino.

A radiação global e a direta sofrem influência da intensa nebulosidade existente no período chuvoso, reduzindo a intensidade. A radiação difusa segue no caminho contrário, apresentando maiores valores no período chuvoso devido ao maior espalhamento causado pelos múltiplos reflexos que ocorrem quando a radiação atravessa as gotas de água que compõem a nuvem.

Devido à grande influência da nebulosidade durante a época chuvosa, a radiação solar global sofre redução em torno 22% quando comparada com a época menos chuvosa. Durante as épocas chuvosas e secas (ou menos chuvosas) as médias horárias da radiação solar global são de $366,8 \text{ W.m}^{-2}$ e $282,8 \text{ W.m}^{-2}$, respectivamente (Costa et al., 2009).

2.6. Zona de Convergência Intertropical.

A Zona de Convergência Intertropical se caracteriza por uma grande faixa de instabilidade atmosférica e nebulosidade em grande escala, que favorece o desenvolvimento de intensas correntes ascendentes, com formação de grandes nuvens convectivas, geradoras de precipitação abundante. Fortes aguaceiros acompanhados de relâmpagos e trovões são comuns em toda a faixa da ZCIT e como sua posição oscila durante o tempo, a precipitação gerada vai sendo distribuída sobre determinada faixa de considerável largura (Varejão-Silva, 2001).

A ZCIT oscila entre 05° Sul e 14° Norte. Esse equador térmico, que acompanha o movimento aparente do sol, durante o período em que se encontra sobre o hemisfério sul (dezembro a maio) é o fator fundamental para determinar a precipitação na região, Figura 04.

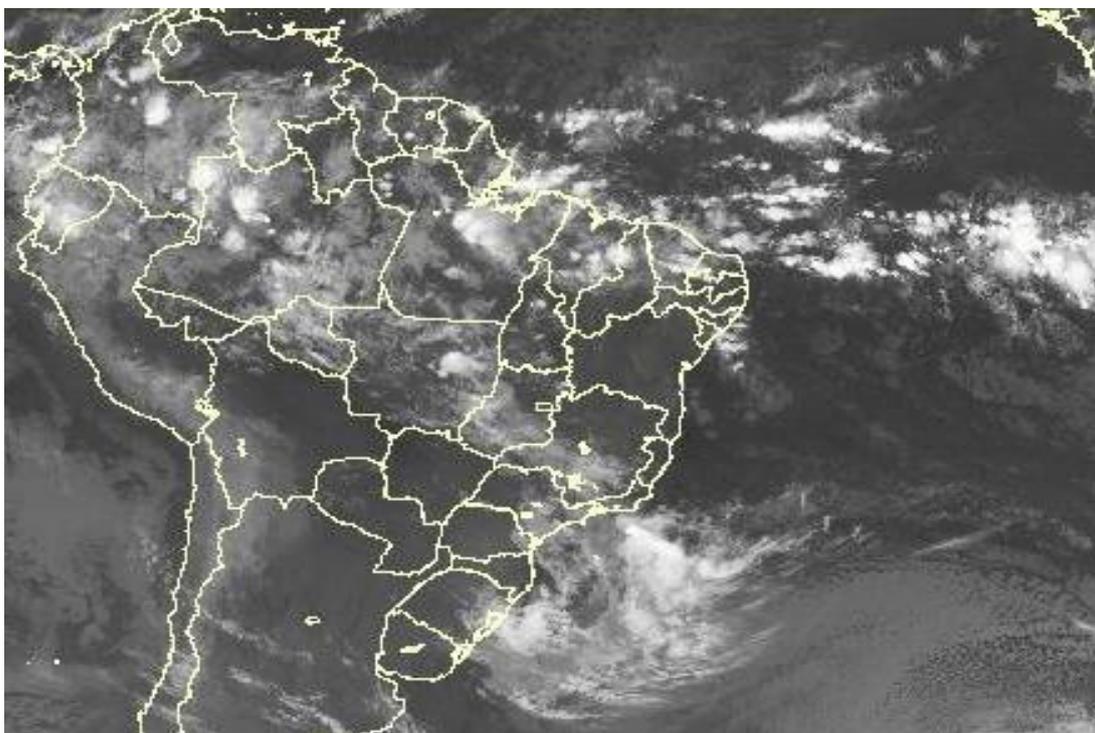


Figura 04 – Imagem de Satélite da ZCIT, sobre a América do Sul. [Fonte: http://www6.cptec.inpe.br/revclima/boletim/2008/abr/zcit_b.gif].

2.7. El Niño e La Niña.

Com o aquecimento de uma faixa do Pacífico Equatorial, o ramo descendente da Célula de Walker (correntes de ventos paralelos à linha do equador sobre o Oceano Pacífico) pode algumas vezes atuar sobre o Brasil (Amazônia e Nordeste), dependendo da posição da área mais aquecida. Se a área aquecida estiver próxima ao litoral da América do Sul, o ramo descendente pode chegar até o Nordeste, se estiver mais afastado do litoral o ramo pode atingir a Amazônia e se o aquecimento ocorrer bem longe do litoral, pode não atingir o Brasil. Esse ramo descendente sobre determinada área, em princípio, deve aumentar a pressão sobre este e conseqüentemente inibir a formação de nuvens contribuindo assim para a redução da precipitação pluvial.

Durante o La Niña, as temperaturas são mais frias que o normal no Oceano Pacífico Equatorial Central, contribuindo para a inibição da formação de nuvens precipitáveis sobre aquela região. Condições mais úmidas que o normal se desenvolvem à Oeste do Oceano Pacífico Equatorial, sobre o norte da Austrália, Indonésia, Malásia e sobre as Filipinas. Estas condições também são observadas sobre o Sudeste da África e Norte do Brasil, onde, causam efeito contrário àqueles do El Niño, aumentando o índice e precipitação nessas regiões.

A Floresta Nacional de Caxiuanã está localizada na região norte do Brasil, e pelo seu posicionamento geográfico sofre as conseqüências dos dois fenômenos. Em anos de El Niño ocorre diminuição da precipitação e ocorrência de seca, aumentando o risco de incêndios florestais e durante a ocorrência de La Niña, ocorre aumento da precipitação e das vazões dos rios.

3. MATERIAIS E MÉTODOS.

3.1. Área de estudo.

A Floresta Nacional de Caxiuanã está localizada no setor sudoeste do Estado do Pará (Figura 05), ocupa 324.060 ha nas proximidades da baía de Caxiuanã, entre os rios Xingu e Tapajós. Compreende aproximadamente 70% do município de Portel e 30% do município de Melgaço-PA, distante 400 km a oeste de Belém, capital do estado do Pará, tem como coordenadas 01°42'30"S, 51°31'45"W e 60 m de altitude.

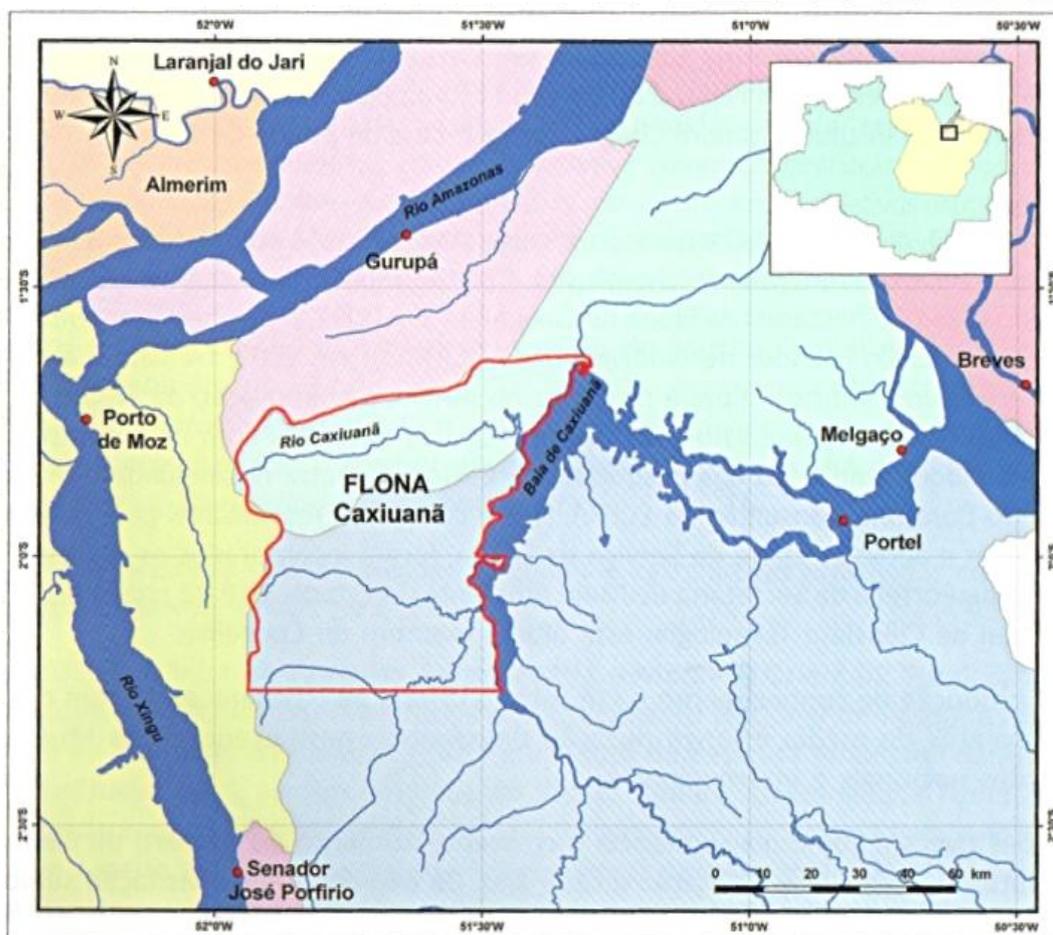


Figura 05 – Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã. [Fonte: Lisboa, 2009].

3.2. O Experimento.

A estrutura física do Projeto ESECAFLOR é composta por duas parcelas “A” e “B” de um hectare cada, com a predominância de solo do tipo latossolo. A parcela “A” (Figura 06) consiste de uma área sob condições naturais, denominada de parcela de controle, com as condições naturais de floresta que serve de base para se estabelecer o padrão para comparação com os experimentos da parcela B (Figuras 07, 08 e 09) onde foram instalados 5000 painéis plásticos a uma altura de 1,5 à 4 metros acima do solo, proporcionando assim a exclusão de, aproximadamente, 90% da água da chuva que alcança o solo. Entre os painéis foram posicionadas calhas para evitar que a água precipitada escorre entre os mesmos e fosse transportada para trincheiras posicionadas nas bordas da parcela B, isolando assim a parcela de estudo.

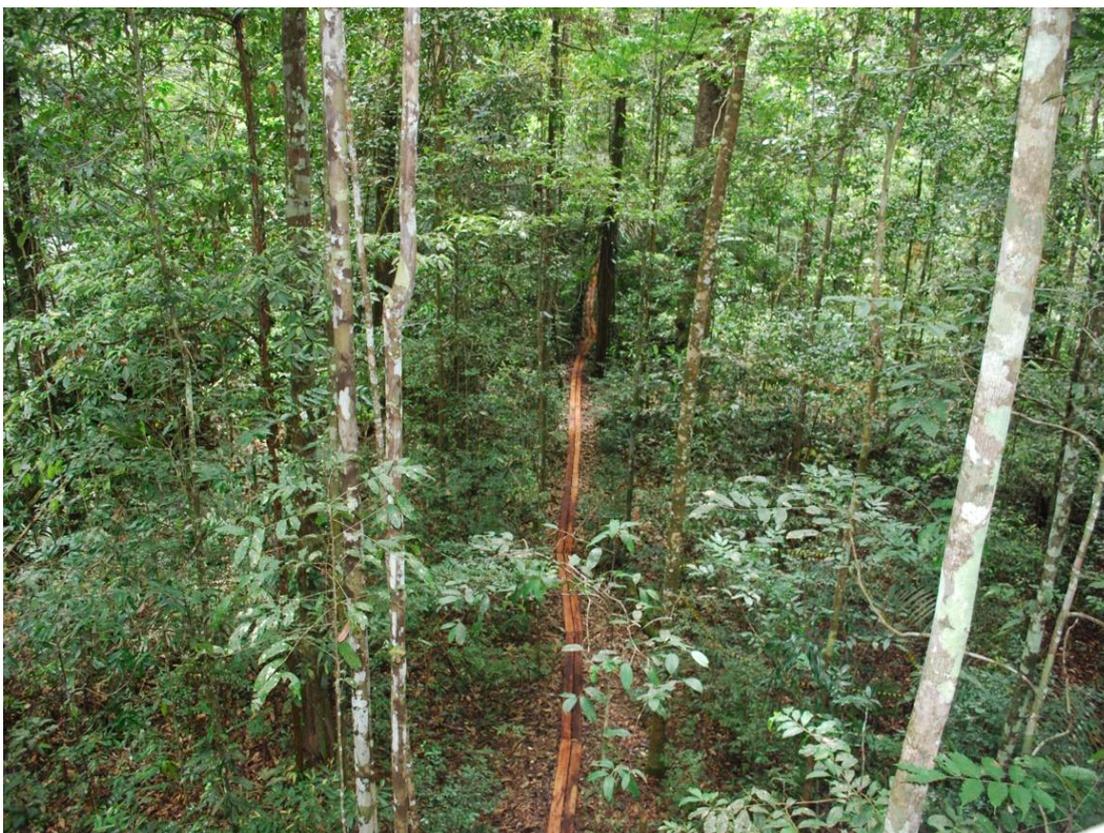


Figura 06 – Parcela “A” (de controle) do projeto ESECAFLOR.



Figura 07 – Parcela “B” (de exclusão da precipitação pluviométrica) do projeto ESECAFLOR.



Figura 08 – Visão da Parcela “B” abaixo dos painéis.



Figura 09 – Calhas que fazem o transporte da água da precipitação pluvial excluída até as trincheiras.

3.3 . Dados.

Foram utilizados dados horários de temperatura do solo, coletados nas profundidades de 5 e 20 cm; dados horários de umidade do solo na superfície e nas profundidades de 100 e 250 cm durante 15 meses, iniciando em 01 de Janeiro de 2009 e finalizando em 31 de março de 2010. Também foram utilizados dados mensais de crescimento de raízes coletados por meio de Rhizotrons, durante o período de 5 meses, iniciando a coleta em outubro de 2009 até fevereiro de 2010, além da coleta de biomassa realizada em agosto de 2009. Todas as coletas foram efetuadas tanto na Parcela “A” (de controle) como na Parcela “B” (de exclusão) para comparação das diferentes condições. Os dados de Precipitação mensal foram cedidos pela estação do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos - IBAMA na Floresta de Caxiuanã.

3.4. Coleta de Dados.

Os dados de temperatura e umidade do solo foram coletados tanto na Parcela “A” quanto na Parcela “B”, por meio de sensores, alimentados por painéis fotovoltaicos, instalados em poços de medição de 1,8 metros de comprimento, 0,8 de largura e 10 de profundidade, Figuras 10 e 11.



Figura 10 – Poço de medição fechado e protegido, instalado na parcela “B” e painel fotovoltaico de alimentação dos sensores.

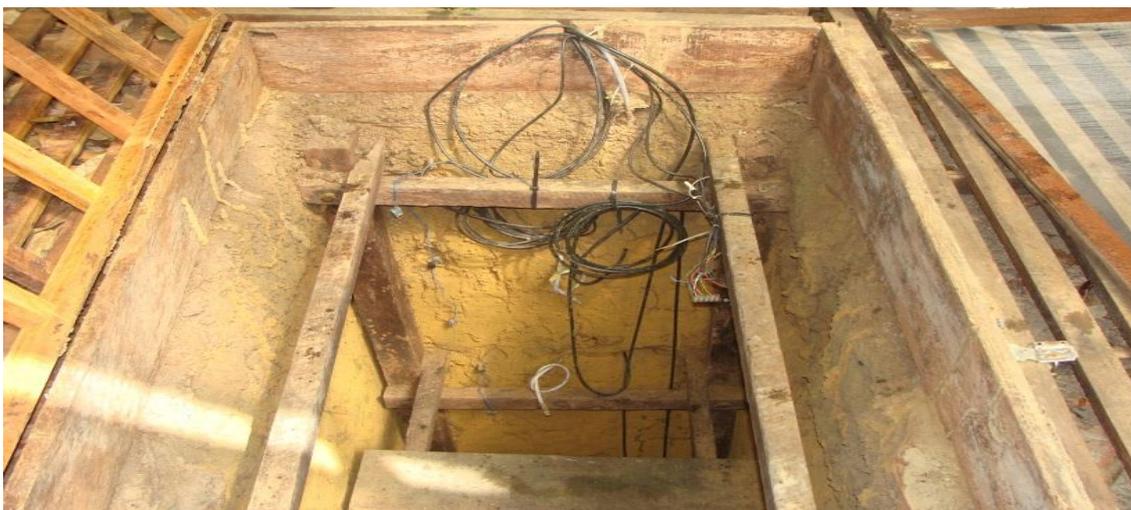


Figura 11 – Visão superior do poço de medição com os sensores instalados no seu interior.

3.4.1. Sensor de temperatura do solo.

Para a medida de dados de temperatura do solo foram utilizados sensores de sondas do tipo termistores, modelo Campbell Scientific LC 108, com erro máximo de $\pm 0,01$ °C, Figura 12, nas profundidades de 5 e 20 cm nas parcelas “A” e “B”. O LC 108 pode realizar medidas de temperatura do ar, da água e do solo em uma faixa de -5,0 à 95,0°C e consiste de um termistor protegido por uma cápsula de epóxi e alumínio. Foram instalados dois sensores para mensuração horária da temperatura do solo em cada parcela em duas profundidades, já que a partir de 1 metro, a temperatura do solo não apresenta mais variação significativa.



Figura 12 – Sonda de mensuração da temperatura do solo.

3.4.2. Sensor de umidade do solo.

A umidade do solo foi medida por sensores FDR (Reflectômetro de domínio de frequência) do modelo Campbell Scientific CS 616, com precisão de $\pm 0,05\%$, Figura 13. A técnica de Reflectometria de domínio de frequência utiliza equipamentos para medição de umidade do solo por meio da propagação de ondas eletromagnéticas. Esta metodologia mede características do solo, devido ao efeito sensível do conteúdo de água no solo sobre a velocidade de propagação de pulsos de microondas em cabos condutores enterrados no solo. O Sensor consiste de duas hastes de metal de 30 cm protegidas por epóxi, onde ocorre a emissão de ondas eletromagnéticas.

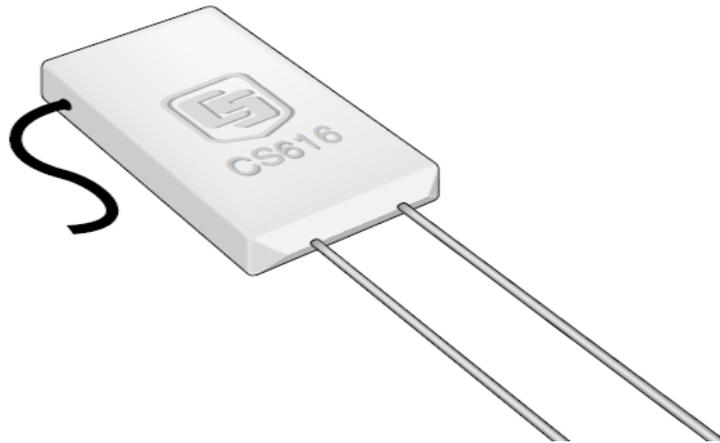


Figura 13 – Sensor de mensuração da umidade do solo Campbell Scientific CS 616.

3.4.3. Armazenamento de dados.

Os dados coletados pelos sensores de temperatura e umidade foram armazenados em um sistema de armazenamento de dados *Datalogger* modelo Campbell Scientific CR 1000, Figura 14, e posteriormente convertidos para planilhas eletrônicas, para serem analisados.



Figura 14 – *Datalogger* Campbell Scientific CR 1000.

3.5. Rhizotron.

Para quantificar a taxa de crescimento de raízes, foram utilizados Rhizotrons (Figura 15), que consistem de câmaras inseridas no solo em torno de 30 cm de profundidade que possibilitam o acompanhamento *in situ* do crescimento das raízes. Foram utilizados 18 Rhizotrons nessa pesquisa experimental, sendo nove instalados em cada parcela.



Figura 15 – Rhizotron instalado na parcela do projeto ESECAFLOR.

O Rhizotron é uma construção no subsolo com janelas de policarbonato que permite a observação do crescimento de raízes enquanto a parte aérea do rhizotron fica protegida por esponjas e lonas pretas para isolamento térmico e luminoso do ambiente.

Para instalação do rhizotron, foi cavada uma trincheira de 30 cm de profundidades próxima à área de crescimento das plantas. Em seguida foi escolhida a face que melhor possibilitaria o acompanhamento do

desenvolvimento das raízes e assim essa face foi subdividida em 9 partes sobre a qual foi posicionada uma tela de policarbonato para proteger a área de leitura. De acordo com pesquisa de Böhm (1979), foi observado que existe uma maior facilidade das raízes se desenvolverem junto à superfície.

Após a instalação do rhizotron foi esperado o período de um mês para estabilização da câmara e em seguida foram iniciadas as leituras mensais. Assim, foi posicionada uma câmera que digitalizava as 9 subdivisões da superfície de policarbonato para serem observadas as taxas de crescimento mês a mês e assim permitir o estudo do desenvolvimento das raízes e a relação com os fatores que podem ou não influenciar no seu crescimento. Ao final foi utilizado o software WinRHIZO onde foram realizadas as leituras via scanner o que permitiram os cálculos do crescimento total de raízes mês a mês.

3.6. *Ingrowth Cores.*

Para a coleta de dados e determinação da biomassa das raízes foi utilizada a metodologia de *ingrowth cores* (Figura 16), que são armadilhas enterradas no solo a uma profundidade de 30 centímetros, que permitem estimar a produção de raízes, por unidade de área e tempo. Foram monitoradas 32 armadilhas de raiz (*ingrowth cores*), sendo 16 em cada parcela. Após a coleta, foi aplicada a metodologia proposta por Costa et al., (2006a), considerando o crescimento total de raízes. Em seguida, o material coletado foi triado, escaneado, secado em estufa e pesado em balança de precisão, antes e depois da secagem, para posteriores análises e comparação entre os desenvolvimentos das raízes nas duas parcelas, sendo assim possível a quantificação da biomassa subterrânea, e verificação de possíveis efeitos decorridos das variações de exposição à precipitação pluvial, temperatura e umidade do solo.



Figura 16 – *Ingrowth Core* na parcela do experimento ESECAFLOR.

Após a pesagem do material coletado, ele foi submetido à estufa para secagem e pesado novamente sem o conteúdo de água, pela técnica do peso seco, após, foi calculada área de captação de dados de cada *ingrowth core* e somada a área total das 16 armadilhas de raízes e assim foi obtido o peso total em gramas por dia por cm^2 do incremento da biomassa de raiz para ambas as parcelas.

Em seguida os pesos foram convertidos para tonelada por hectare por dia e por fim foi realizada a extrapolação para toda a área de Caxiuanã obtendo assim os valores de tonelada por ano para a Floresta de Caxiuanã.

Na Figura 17 encontra-se a esquematização do posicionamento dos Rhizotrons, Ingrowth Cores e do Poço de Medição nas parcelas “A” e “B” do experimento ESECAFLOR.

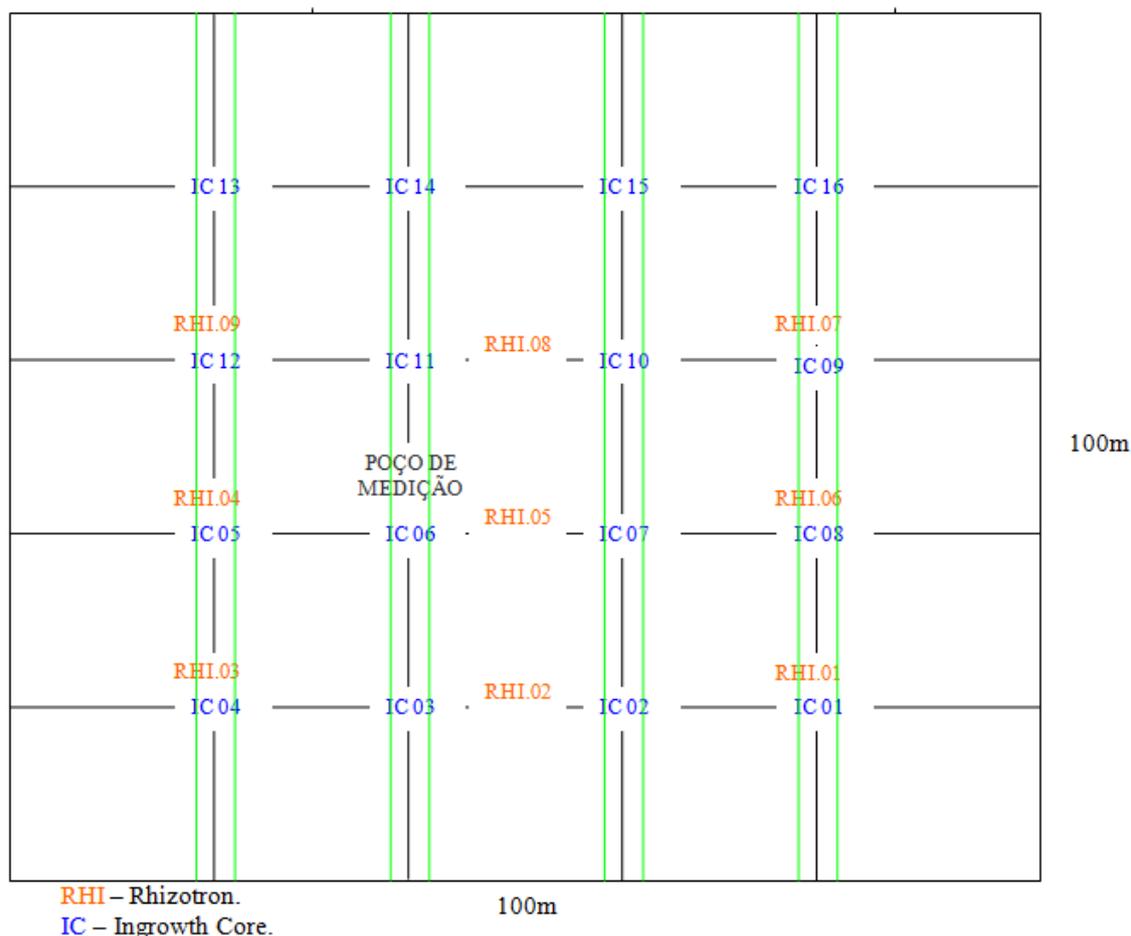


Figura 17 – Esquematização de posicionamento das medições nas parcelas do experimento ESECAFLOR.

3.7. Tratamento de dados.

Após a coleta de dados de temperatura e umidade do solo e armazenamento no *Datalogger*, esses foram reunidos junto com as medidas de crescimento de raízes e de biomassa, bem como os dados de precipitação pluvial e submetidos à análise exploratória, visando a obtenção das relações de dependência entre o crescimento de raízes com a temperatura, umidade do solo e precipitação, por meio de técnicas de regressão.

Foram aplicados conceitos de estatística clássica nas series de dados. Inicialmente foram calculadas médias horárias. De posse dos valores médios horários calculados, o próximo passo foi calcular os valores mensais de temperatura e umidade do solo para as suas respectivas profundidades de medições e efetuar as análises dos resultados obtidos.

Após o conhecimento dos valores mensais, foi possível o pareamento dos dados com os dados de crescimento de raízes e de precipitação pluviométrica, assim, foi possível estabelecer as relações entre as variáveis estudadas e análises dos períodos com maior e menor precipitação pluvial para comparações e compreensões os efeitos da exclusão da água da chuva proposta no objetivo do experimento ESECAFLOR.

Após os cálculos, foram estabelecidos índices para aplicação nos resultados por meio de fórmulas estatísticas que demonstraram as margens de erros e amplitude de variação para validação dos cálculos efetuados.

Foram realizados também estudos de regressão e correlação, em que os mesmos exercem papel relevante dentro do campo da estatística experimental devido a larga aplicação na interpretação de resultados experimentais, e tem por objetivo determinar relação existente entre uma característica qualquer de interesse experimental, dependente, e outra característica independente. Determinou-se também o grau de relação entre as variáveis através do coeficiente de correlação (r).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

4.1. Precipitação pluviométrica.

Climatologicamente, a região amazônica, como um todo, não apresenta estação térmica definida, já que a variação anual da temperatura é pequena e as estações são definidas pela distribuição de chuva, com o período chuvoso compreendido de janeiro a junho. De acordo com Souza (2003), as precipitações pluviais dentro da média normal para o período do ano são influenciadas pelas temperaturas da superfície do mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico no primeiro trimestre do ano sendo que o período com precipitações pluviais com valores fora da média estão normalmente associados à presença dos eventos La Niña e El Niño. Outro fator determinante para as características pluviométricas da região é a presença da Zona de Convergência Intertropical. As precipitações pluviais que ocorrem no período menos chuvoso, de julho a novembro, são causadas, principalmente por sistemas convectivos.

Os totais mensais da precipitação pluviométrica da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn), registradas no período de janeiro de 2009 a março de 2010 estão apresentados na Figura 18. Nela observa-se a sazonalidade de precipitação na ECFPn é bem caracterizada, com o período chuvoso, de janeiro a junho, com totais pluviométricos de 1967 mm, que correspondem a 86,23% do total anual, sendo o período menos chuvoso, de julho a dezembro, com total de 314,14 mm, que representa o percentual restante de 13,77%.

O total de precipitação pluvial em 2009 foi de 2206 mm, com variação mensal de 449 mm em maio e 26 mm em novembro. O 1º trimestre de 2010 apresentou o total pluviométrico de 587 mm, bem baixo do total de precipitação pluviométrica ocorrida no 1º trimestre de 2009, que foi de 841 mm, correspondendo a redução de aproximadamente 69,7%. Esta grande variação pode estar relacionada ao fenômeno El Niño que ocorreu naquele ano, pois, quando o ramo descendente é dominante, ocorre escassez de chuvas. Na presença do fenômeno El Niño, ocorre o enfraquecimento dos ventos alísios do sudeste que convergem na região e com isso, as atividades convectivas são

reduzidas, provocando grande variabilidade da precipitação pluviométrica na região.

A ocorrência de precipitação pluvial no período menos chuvoso é causada principalmente por sistemas convectivos, enquanto que, na estação chuvosa, é causada por intensos sistemas convectivos (final da tarde, entre 17 e 18 h) que, segundo Molion (1997), e Fisch et., al. (1996), é também influenciada por sistemas de grande escala, como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Linhas de Instabilidade.

Comparando os dados obtidos com a média da série climatológica de 1980 a 2005, pode-se notar também a precipitação pluviométrica acima da média no período chuvoso, onde, o período de janeiro à junho de 2009 apresentou 486 mm acima da média, enquanto que o período menos chuvoso apresentou 154 mm abaixo da média climatológica, tendo continuidade do comportamento nos meses iniciais de 2010 que apresentaram 147 mm abaixo da média, reafirmando a ocorrência do fenômeno El Niño no final de 2009 e início de 2010 que ocasionou anomalia negativa de precipitação pluvial.

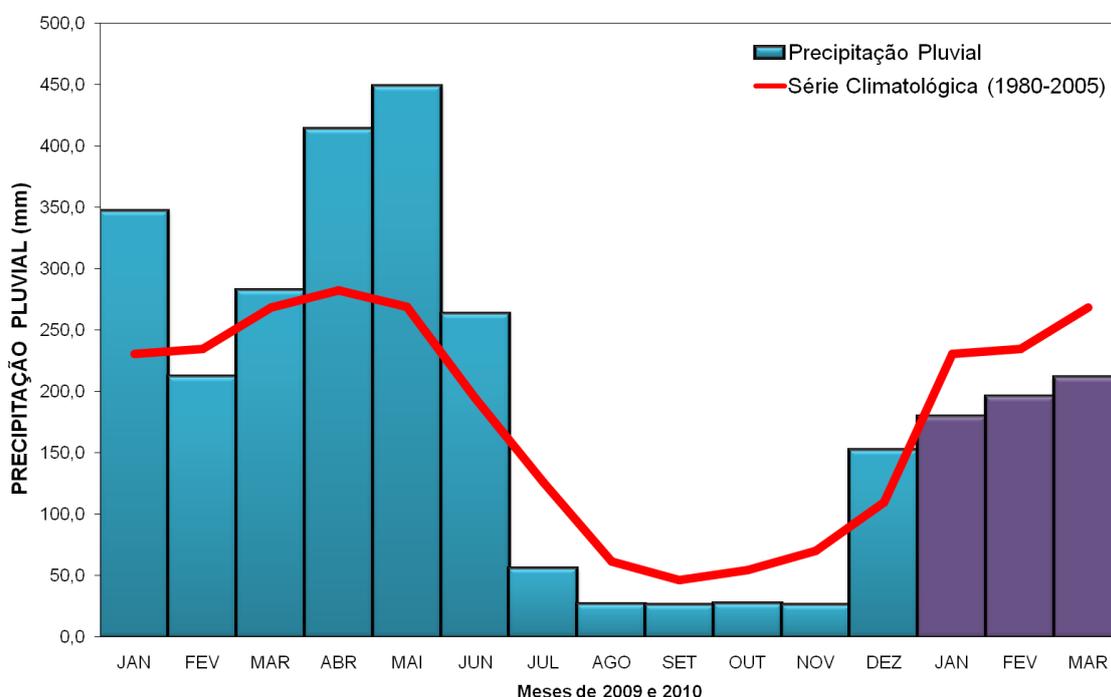


Figura 18 – Precipitação Pluviométrica em Caxiuanã, ocorrida no período de janeiro de 2009 a março de 2010.

4.2. Temperatura do solo.

Nas Figuras 19 e 20 estão apresentadas o comportamento médio horário das temperaturas do solo às profundidades de 05 e 20 cm nas duas áreas de estudo, parcela de controle “A” e parcela de exclusão de precipitação pluviométrica “B”, para o mês de janeiro de 2009. Nas duas figuras pode-se notar a defasagem entre os valores os máximos e mínimos das ondas de temperatura, indicando a propagação diária de calor com a profundidade do solo. Em ambas parcelas a amplitude da onda de temperatura foi superior no nível mais próximo à superfície (05 cm).

A temperatura do solo à 5 cm de profundidade em janeiro de 2009 variou de 25,3 °C a 26,1 °C, com um valor médio de 25,7 °C na parcela “A”. Na parcela “B”, a variação de temperatura do solo à mesma profundidade foi de 25,6 °C a 26,5 °C com média de 26,0 °C. No nível de 20 cm de profundidade a temperatura do solo em janeiro de 2009 variou de 25,5 °C a 25,8 °C, com valor médio de 25,6 °C na parcela “A”, enquanto que na parcela “B” a variação foi de 25,9°C a 26,1 °C com média de 26,0 °C.

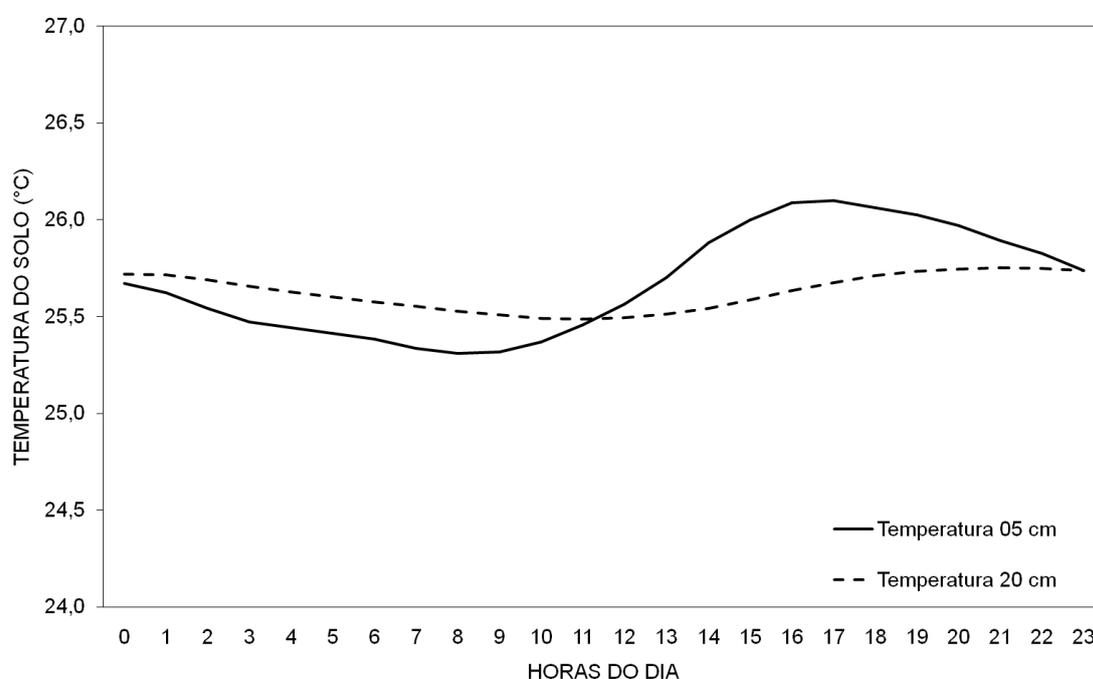


Figura 19 – Média horária das temperaturas do solo ocorridas no mês de janeiro de 2009 para a parcela “A”.

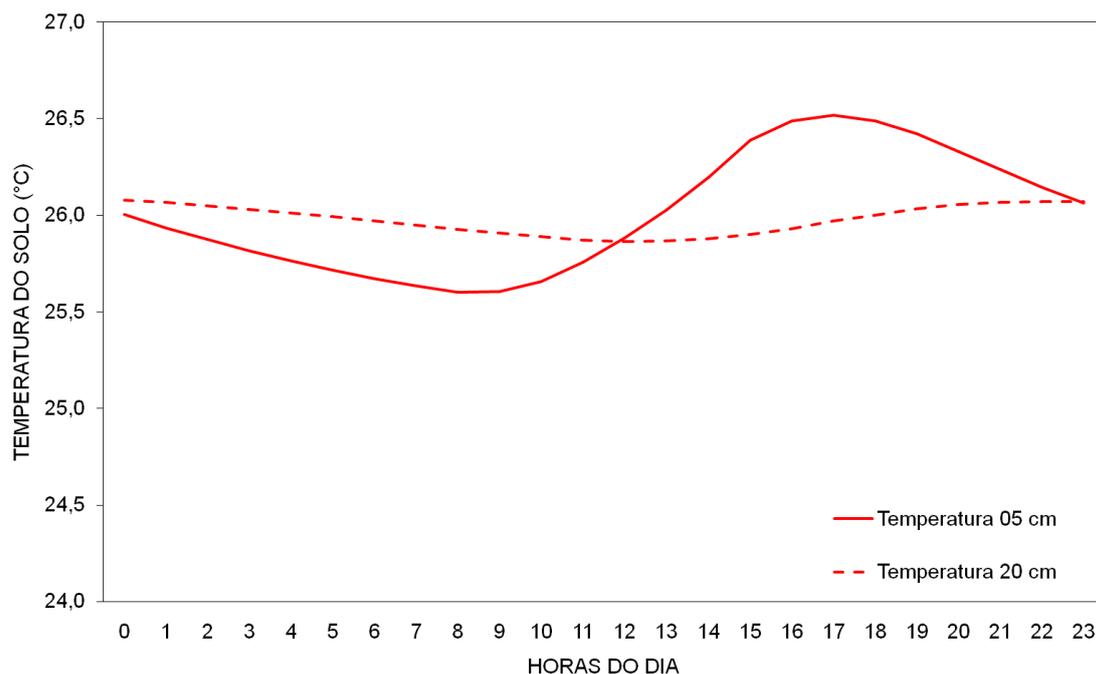


Figura 20 – Média horária das temperaturas do solo ocorridas durante o mês de janeiro de 2009 para a parcela “B”.

Visando analisar a influência da precipitação pluviométrica no comportamento das variações de temperatura do solo entre as duas parcelas foram ilustrados nas Figuras 21 e 22, com as variações da precipitação pluvial e temperatura do solo em dois níveis, referentes aos dias 8 e 30 de janeiro de 2009, respectivamente. Após a ocorrência de precipitação pluvial no dia 8 às 2 horas houve redução acentuada na temperatura do solo na parcela “A” nos níveis de 5 e 20 cm, enquanto na parcela “B” as temperaturas nesse mesmo horário permaneceram praticamente inalteradas. No dia 30 de janeiro a precipitação pluvial ocorrida à 1 hora apresentou o mesmo comportamento ocorrido anteriormente.

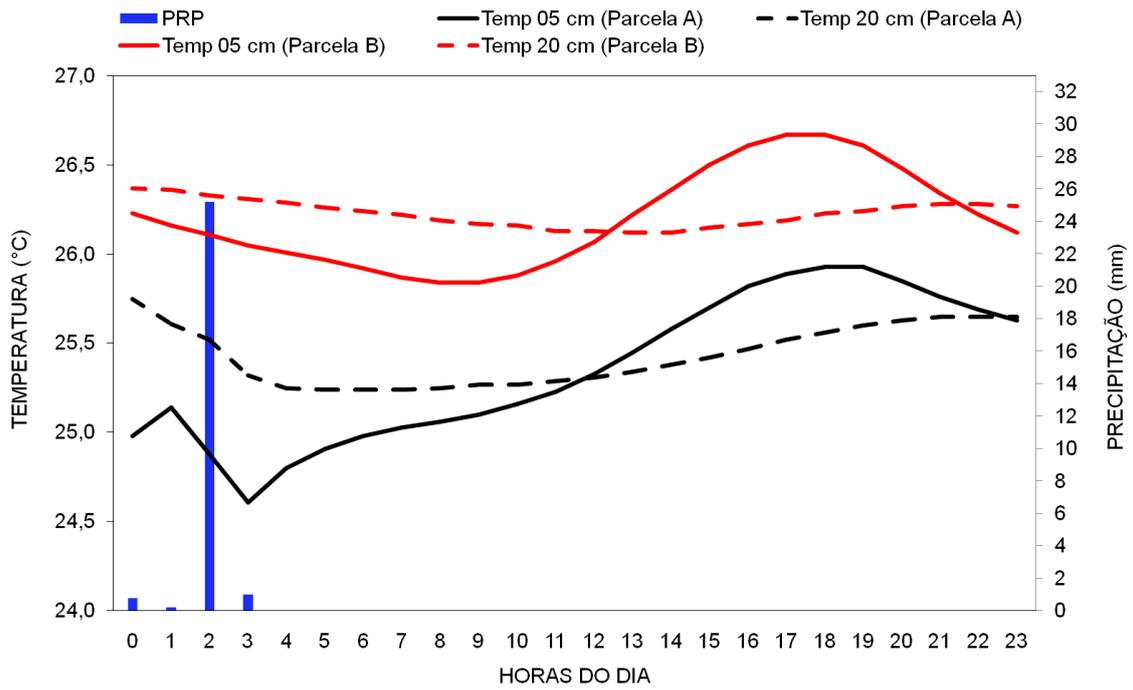


Figura 21 – Variação horária das temperaturas do solo no dia 08/01/2009.

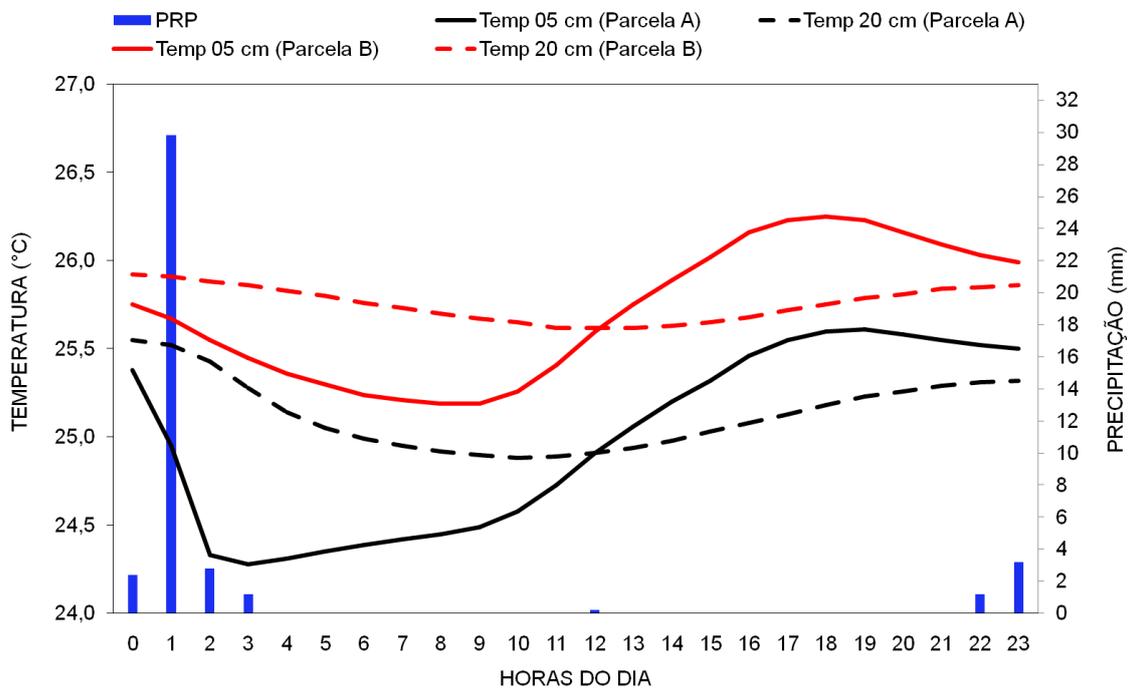


Figura 22 – Variação horária das temperaturas do solo no dia 30/01/2009.

4.3. Umidade do solo.

A umidade do solo é um dos elementos que mais afeta o comportamento radicular das árvores, uma vez que ela é o principal elemento responsável pela diluição dos nutrientes que são absorvidos e utilizados pelos vegetais para seu crescimento e desenvolvimento.

Nas figuras 23 e 24 mostram o comportamento médio diário da umidade do solo para janeiro de 2009 em dois níveis, um representativo da média dos 100 primeiros cm de profundidade (U Med 100 cm) e outro em 250 cm (U 250 cm) nas parcelas “A”, de controle, e “B”, de exclusão. Foi adotado o valor médio para os primeiros 100 cm de profundidade em função da pequena variação de umidade que os perfis de solo apresentaram nos primeiros 100 cm. O conteúdo de umidade do solo apresentou relação direta com a precipitação pluvial incidente, já que a medida que ocorreu variação desta última variável ocorreram também variações no conteúdo de água entre as parcelas estudadas. Em janeiro a parcela “A” apresentou valores de umidade do solo muito mais elevados que a parcela “B”, que apresentou valores médios horários bem inferiores e praticamente constantes.

A umidade do solo à 100 cm de profundidade em janeiro de 2009 variou de 16,1% a 16,6%, com valor médio de 16,3% na parcela “A”. Na parcela “B” a variação de umidade do solo à mesma profundidade foi de 6,8% a 6,9% com média de 6,9%. No nível de 250 cm de profundidade a umidade do solo em janeiro de 2009 variou de 16,8% a 17,0% com valor médio de 16,9% na parcela “A”, enquanto que, na parcela “B” a variação foi de 14,1% a 14,2% com média de 14,2%.

A parcela “A” apresentou maiores valores médios horários de umidade do solo quando comparado com a parcela “B”, o que é justificado, pois a mesma, além de receber a distribuição natural das chuvas, que é a principal responsável pelos altos valores de umidade do solo, é ainda composta por vegetação densa e de grande porte e densa, que contribui para a entrada e o armazenamento de água no solo, enquanto que a parcela “B” esteve sob o efeito de déficit hídrico.

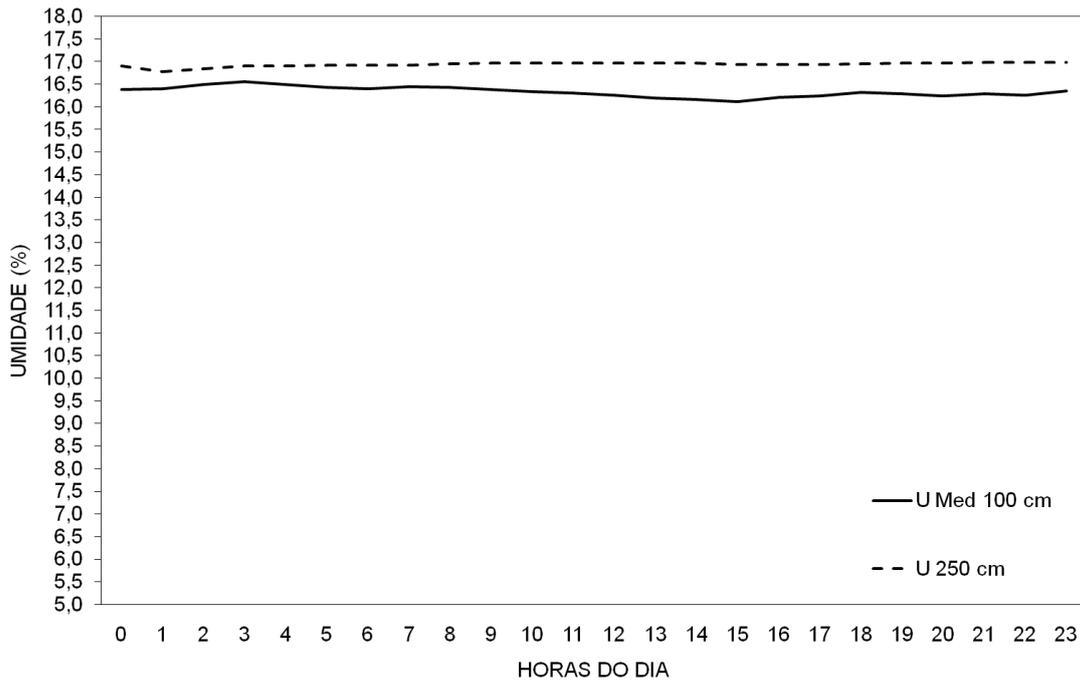


Figura 23 – Média das umidades do solo na parcela “A” para o mês de janeiro de 2009.

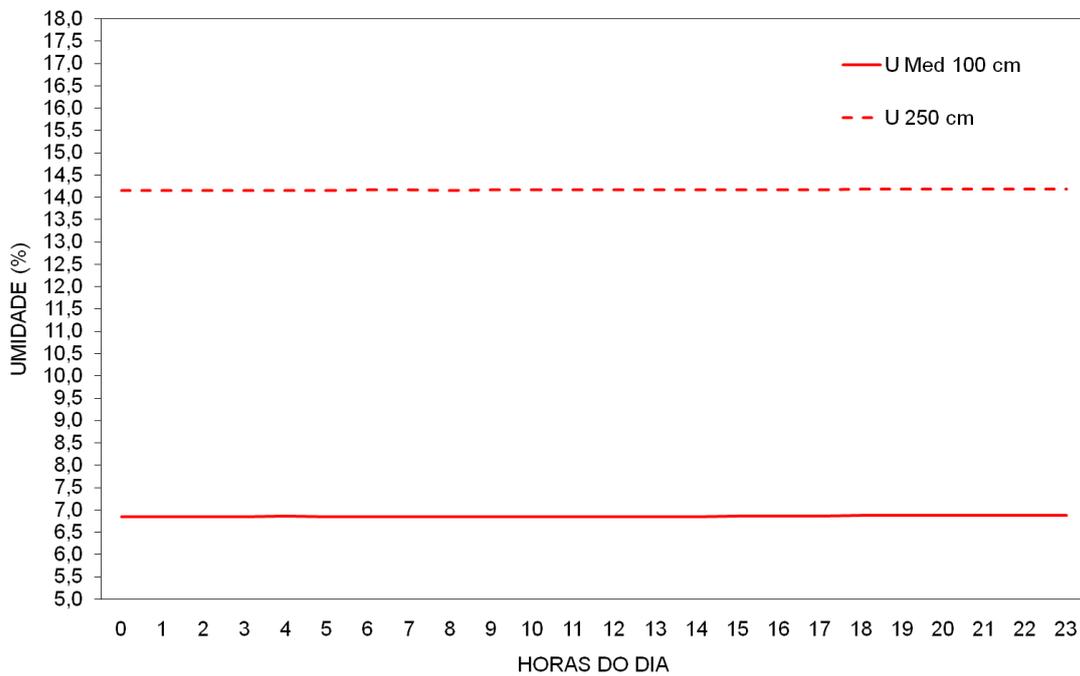


Figura 24 – Média das umidades do solo na parcela “B” para o mês de janeiro de 2009.

Nas Figuras 25 e 26 pode ser observada a variação das médias do teor de umidade nos primeiros 100 cm de profundidade para ambas as parcelas em Janeiro de 2009, nas quais nota-se que na parcela “A” ocorreu maior variação, com valores mais elevados e média de 16,3%, já na parcela “B” a variação foi praticamente nula mostrando o perfil constante de umidade, com valor médio de 6,9%, devido esse perfil se encontrar em déficit hídrico, já que em torno de 90% da precipitação foi excluída através dos painéis do Projeto ESECAFLOR.

O comportamento da umidade do solo apresentado na parcela “A” deveu-se ao fator da mesma encontrar-se sob condições climáticas naturais, enquanto que, na parcela “B” o comportamento constante, deveu-se ao fato dessa parcela encontrar-se permanentemente em exclusão de água no solo.

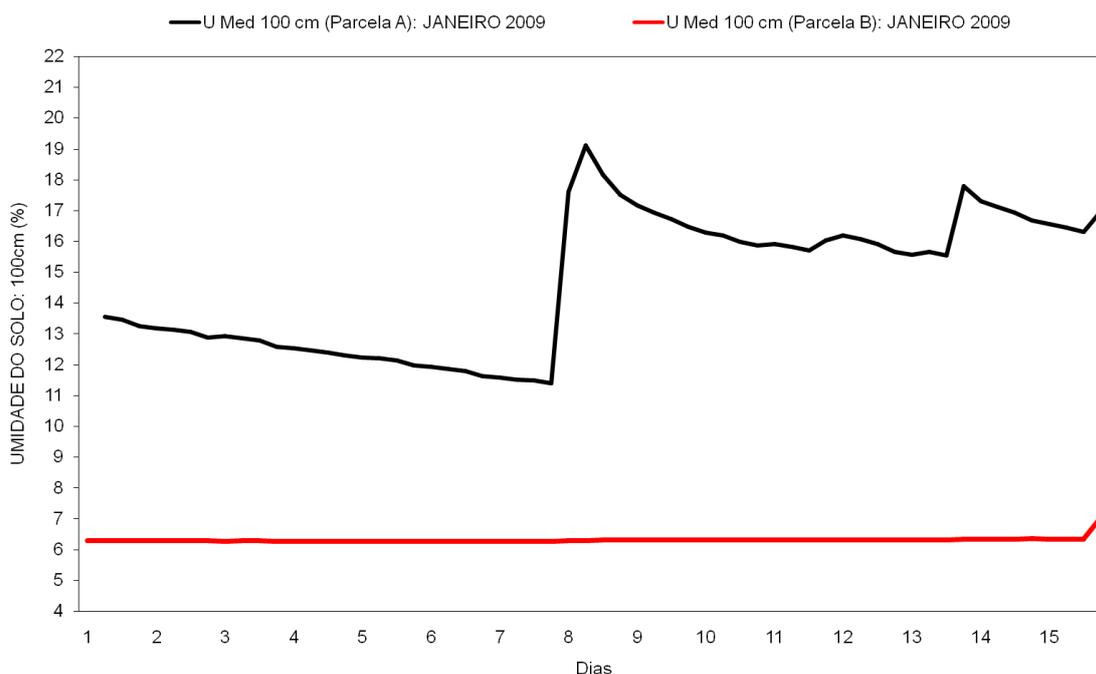


Figura 25 – Valores médios obtidos dos percentuais de umidade entre às 0, 6, 12 e 18 h, nos 100 primeiros centímetros de profundidade do solo, para os primeiros 15 dias do mês de janeiro nas parcelas “A” e “B”.

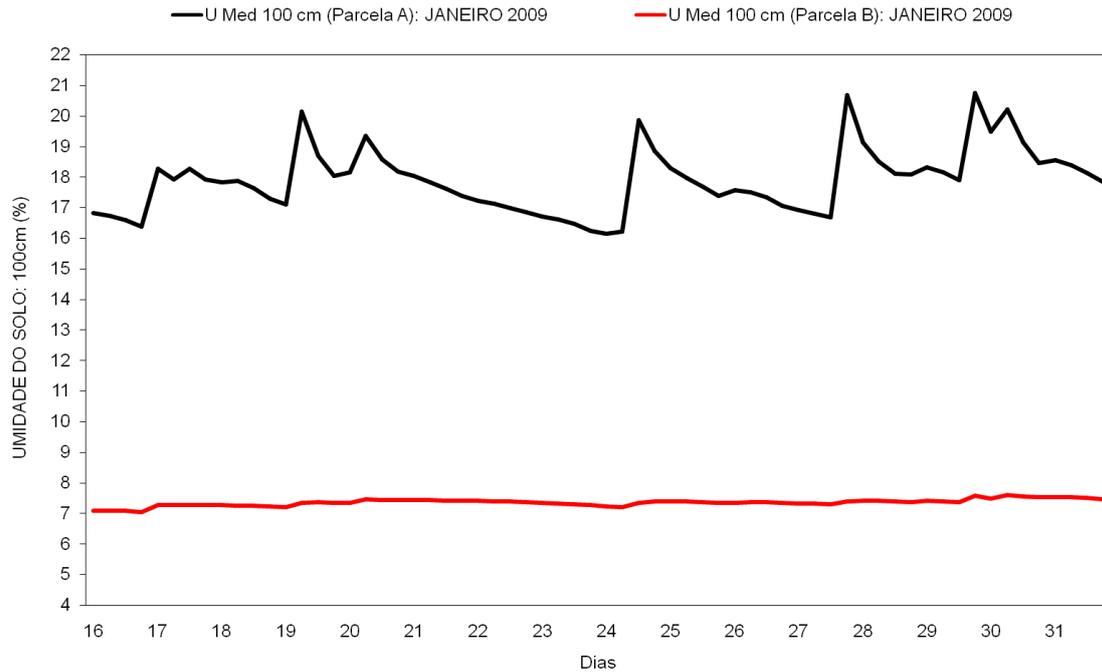


Figura 26 – Valores médios obtidos dos percentuais de umidade entre às 0, 6, 12 e 18 h, nos 100 primeiros centímetros de profundidade do solo, para os últimos 16 dias do mês de janeiro nas parcelas “A” e “B”.

4.5. Taxa de crescimento de raízes.

4.5.1. Taxa de crescimento médio das raízes.

Na Figura 27 está ilustrada a variação da taxa de crescimento de raízes, de outubro de 2009 a fevereiro de 2010 nas parcelas “A” e “B”. Embora a tendência de variação seja aproximadamente semelhante nas duas parcelas, a taxa de crescimento de raízes na parcela “A” foi, sistematicamente, superior a da parcela “B” em praticamente todo o período. A taxa média de crescimento de raízes nas parcelas “A” e “B” foram, respectivamente, de 3,4 cm por mês e 3,1 cm por mês. As condições desiguais no conteúdo de umidade no solo respondem, em parte, por essa diferença.

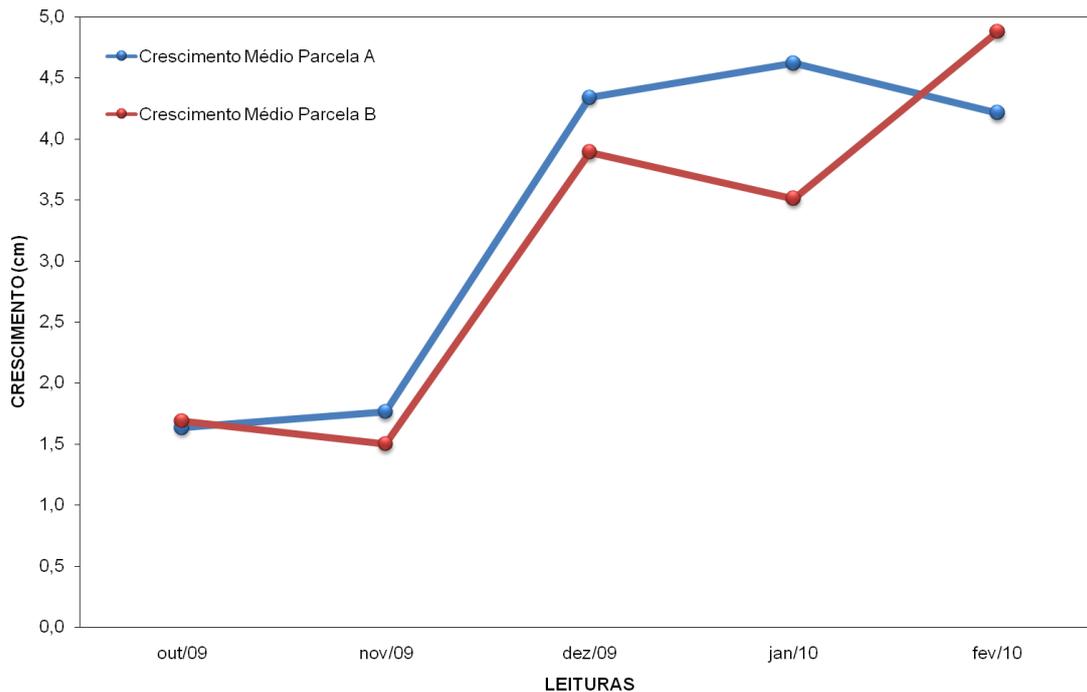


Figura 27 – Taxa de crescimento médio de raízes, para as parcelas de controle e de exclusão, período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010.

4.5.2. Taxa de crescimento total de raízes.

Observa-se na Figura 28 que a taxa de crescimento total de raízes acompanha, de modo semelhante, os valores médios mensais, como visto na figura anterior. Os incrementos totais de crescimento das raízes nas parcelas “A” e “B”, foram de 394,5 e 261,9 cm, respectivamente, para os cinco meses estudados, outubro de 2009 à fevereiro de 2010, representando a taxa de crescimento de 2,6 cm por dia para a Parcela “A” e 1,7 cm por dia para a parcela “B”.

Destaca-se ainda que a variabilidade média mensal e total de crescimento de raízes, na época chuvosa, apresentou maiores taxas, implicando no crescimento das raízes, revelando a grande influência exercida pela redução do conteúdo de água no solo no período menos chuvoso. Na parcela de controle, ou natural, como não ocorreu a redução hídrica induzida, considerando todo o período estudado, houve incremento na taxa de crescimento de raízes, porém, nos meses de outubro e novembro de 2009,

quando ocorreu intensa estiagem na área, houve redução nos incrementos de crescimento das raízes. Quando analisadas as variações da taxa de crescimento de raízes neste mesmo período, para a parcela de exclusão, onde ocorreu a redução induzida de água no solo, foram identificados menores valores no incremento de crescimento médio e total de raízes, sendo que esta variação ocorreu durante todo o período estudado, pois a parcela já encontrava-se sob exclusão de água das chuvas, fazendo com que as plantas respondessem a esse efeito.

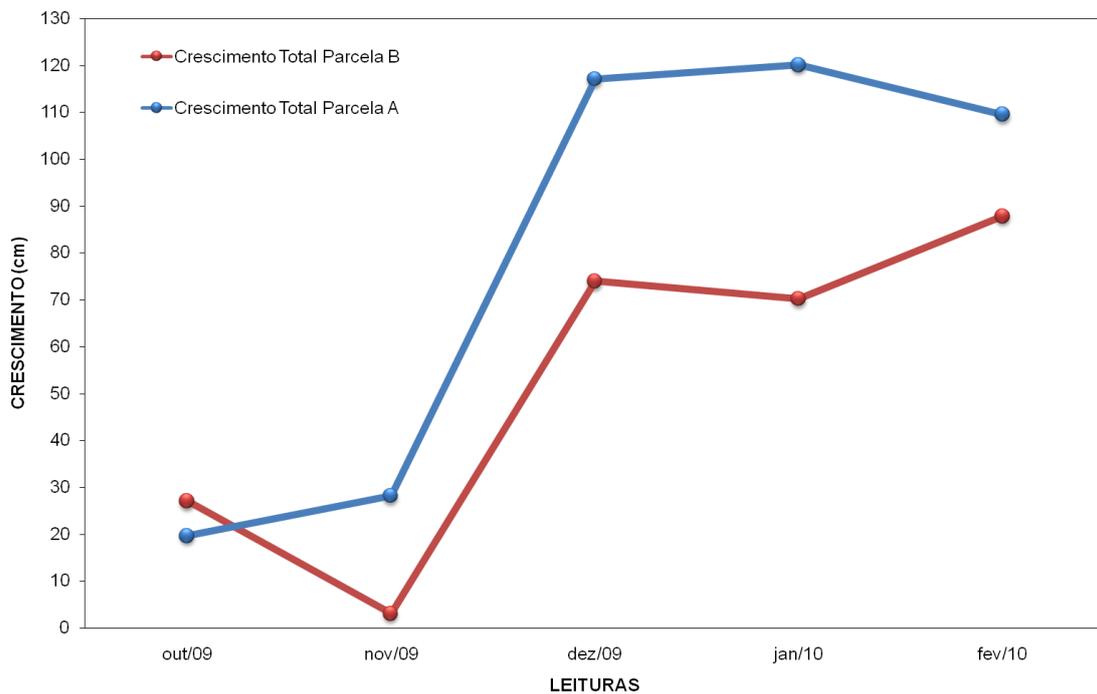


Figura 28 – Taxa de crescimento total de raízes, nas parcelas de controle e exclusão, período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010.

4.6. Correlação entre as variáveis meteorológicas e a taxa de crescimento de raízes.

Nas Figuras 29, 30, e 31 podem ser observado a correlação entre a temperatura do solo, a umidade do solo e a precipitação pluviométrica com a taxa de crescimento de raízes, respectivamente, para as parcelas “A”, de controle, e “B”, de exclusão, para o período de outubro de 2009 a fevereiro de 2010, ajustada pelo cálculo da regressão linear e polinomial. Foi observado que a regressão polinomial foi a que apresentou melhor ajuste em todas as situações. Dentre os elementos meteorológicos estudados, o que apresentou melhor correlação com a taxa de crescimento de raízes foi a precipitação, seguida da umidade do solo e da temperatura. Esta característica pode está associada com a maior variabilidade da precipitação pluviométrica em relação à temperatura e a umidade do solo. Conclui-se que, as melhores correlações foram observadas na parcela que não sofreu redução no seu conteúdo de água no solo, o que evidencia a grande dependência das espécies arbóreas da floresta com a disponibilidade hídrica do solo.

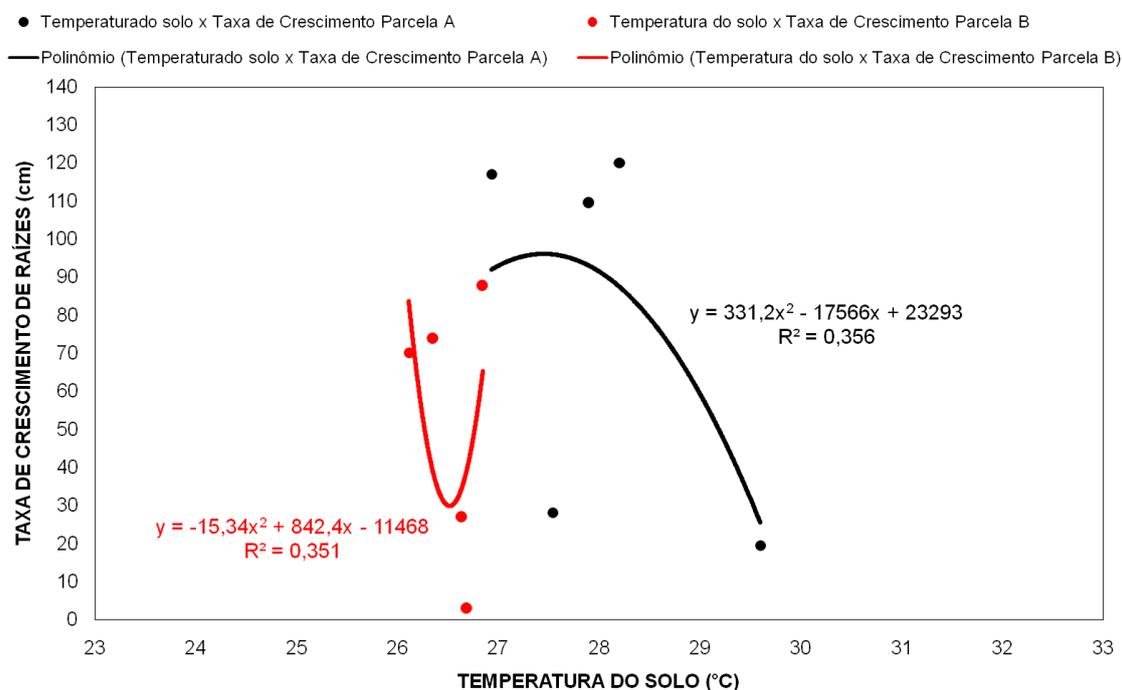


Figura 29 – Correlação entre temperatura do solo e a Taxa de Crescimento de Raízes na Parcela de Controle e na Parcela de Exclusão.

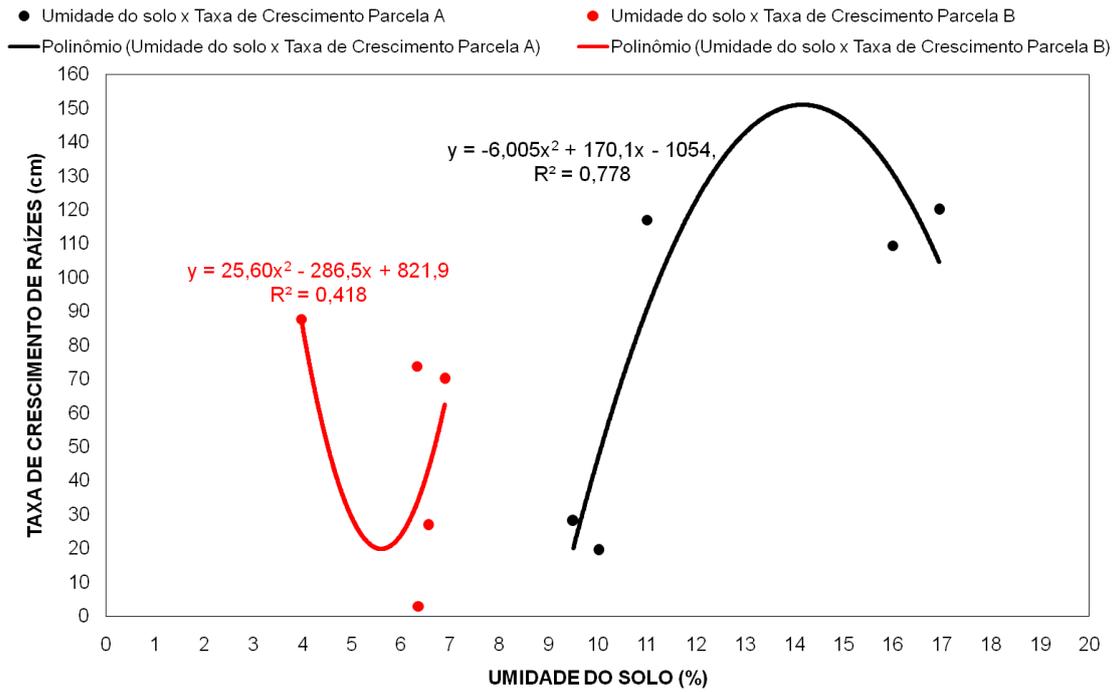


Figura 30 – Correlação entre umidade do solo e a Taxa de Crescimento de Raízes na Parcela de Controle e na Parcela de Exclusão.

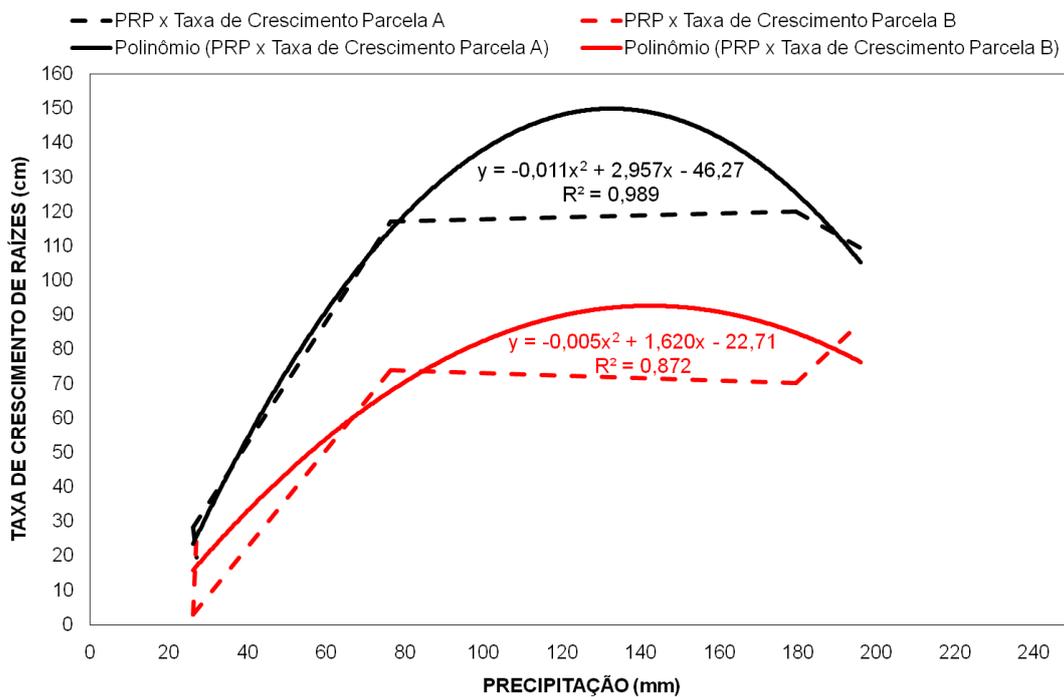


Figura 31 – Correlação entre Precipitação Pluviométrica e a Taxa de Crescimento de Raízes na Parcela de Controle e na Parcela de Exclusão.

4.7. Biomassa das raízes.

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, sendo sua quantificação possível a partir da instalação de *ingrowth cores*.

Os incrementos médios anuais da biomassa das raízes foram maiores na parcela "A", em média, $4,89 \text{ ton.há}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ enquanto que na parcela B, em média foi de $2,43 \text{ ton.há}^{-1}.\text{dia}^{-1}$. A alocação de CO_2 pelas raízes foi da ordem de 442 ton.ano^{-1} na floresta de Caxiuanã para a parcela "A" e 220 ton.ano^{-1} na floresta de Caxiuanã para a parcela "B", sendo a contribuição da parcela "B" de 33% enquanto que a parcela "A" contribui com o dobro da absorção de CO_2 , 67%, revelando a importância fundamental da disponibilidade hídrica do solo para o crescimento das florestas tropicais chuvosas, já que a redução na disponibilidade hídrica poderá reduzir a taxa de crescimento, afetando a absorção do carbono da atmosfera.

No caso de possíveis de mudanças climáticas propostas, caso ocorra diminuição da precipitação, para uma floresta tropical chuvosa, a absorção de carbono terá uma diminuição de 50%, interferindo no ciclo global de carbono desse bioma, evidenciado pelo experimento, e, por fim demonstrando a importância de pesquisas sobre crescimento de raízes, relacionada com fatores meteorológicos.

5. CONCLUSÕES.

No presente trabalho foram analisadas a precipitação pluvial, temperatura e umidade do solo bem como a taxa de crescimento de raízes na Floresta Nacional de Caxiuanã no período de janeiro de 2009 à março de 2010. Para este fim foram consideradas duas parcelas de 1ha, sendo uma testemunha, ou de controle, e outra modificada pela implantação de painéis quem impediram o acesso da chuva ao solo da floresta. O comportamento da chuva e os fenômenos meteorológicos atuantes no período de estudo também foram analisados.

Diante dos resultados conclui-se que:

A massa de ar equatorial continental, que condiciona movimentos convectivos dos alísios de nordeste e sudeste (ZCIT) contribuiu diretamente para os altos volumes de precipitação pluviométrica nos meses mais chuvosos.

Os sistemas convectivos originados em consequência dos efeitos locais, como o aquecimento da superfície, contribuíram para a precipitação pluviométrica nos meses menos chuvosos.

O fenômeno El Niño, presente no período experimental, também contribuiu para a redução no volume da precipitação pluvial no final de 2009 e início de 2010.

A temperatura média diária e horária do solo nos níveis de 5 e 20 cm foi mais elevada na parcela “B”, onde foram instalados os painéis de exclusão da água, a qual se manteve mais uniforme do que na parcela “A” em condições naturais de floresta. Também foi observada a diminuição da temperatura próxima à superfície na parcela “A” quando ocorreu precipitação pluvial.

O teor de umidade do solo apresentou diferenças significativas entre os primeiros 100 cm, bem como no nível de 250 cm de profundidade, entre as parcelas “A” e “B”. Tal fato ocorreu em função do sistema implantado para exclusão da água da chuva na parcela “B”, comprovando, assim, a eficiência deste.

A parcela “A” apresentou taxa de crescimento total de raízes consideravelmente maior do que a parcela “B”.

O crescimento médio mensal das raízes da parcela “A” foi superior, em função da maior disponibilidade de umidade do solo comparada com a parcela “B”.

Os incrementos médios anuais da biomassa das raízes na parcela “A” foram o dobro daqueles na parcela “B”, conseqüentemente, a estimativa da alocação de CO₂ na parcela “A” também foi o dobro daquele na parcela “B”.

Os resultados revelaram que a disponibilidade hídrica do solo é de fundamental importância no crescimento das florestas tropicais chuvosas, sendo a sua restrição responsável pela redução na absorção do carbono da atmosfera interferindo diretamente no ciclo global de carbono.

A equação polinomial quando comparada com a linear, com base nos coeficientes de correlação, foi a função que apresentou melhor ajuste entre a precipitação pluviométrica e a taxa de crescimento de raízes, para as parcelas “A”, de controle, e “B”, de exclusão da precipitação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ARYA, S. P. Introdução à Micrometeorologia. Tradução: Dimitrie Nechet. 296 p. Carolina do Norte, 1990.

ASSAD, M. L.; HAMADA, E.; CAVALERI, A. Sistema de informação geográfica na avaliação de terras para a agricultura. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. D. S. Sistemas de informações geográficas: aplicação na agricultura. 149 p. Brasília: EMBRAPA, 1998.

BERNIER, P. Y.; ROBTAILLE, G. A plane method for estimating fine root productivity of trees from minirhizotron images. *Plant and Soil* 0:1-9. 2004.

BLACK, K. E.; HARBRON, C. G.; FRANKLIN, D.; ATKINSON, D.; HOOKER, J. E. Differences in root longevity of some tree species. *Tree Physiology*, 18: 259-264. 1998.

BÖHM, W. Methods of studying root systems. *Ecological Studies*. Berlin, Germany: B V A Springer – verlag, v. 33, 1979.

CHAVES. P. M. Estudo da Variação da Temperatura e Umidade do Solo, no Projeto ESECAFLOR – LBA, Caxiuanã – PA. UFPA, 2008. 36 p. Tese de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Pará, 2008.

CARVALHO, S. P. Regimes térmicos e hídricos em solos sob ecossistemas naturais e área agrícola no leste da Amazônia. Belém: UFPA, 2007. 89 p. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal do Pará, 2007.

COSTA, A. C. L.; SILVA, A. C. S.; GONÇALVES, P. H. L.; COSTA, M. C.; BARRETO, P. N. Efeito da exclusão da água da chuva no solo sobre a variabilidade mensal da biomassa em floresta tropical chuvosa na Amazônia oriental – Projeto ESECAFLOR. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis-SC. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Florianópolis, 2006a.

COSTA, A. C. L.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JUNIOR, J. A. Dinâmica de raízes em áreas de floresta nativa e jazida na província petrolífera de Urucu AM. In: II Workshop da Rede CTPetro Amazônia, 2006. Manaus – AM. Anais do II Workshop da Rede CTPetro Amazônia. Manaus, 2006b.

COSTA, J. A.; RODRIGUEZ, T. E.; KERN, D. C. Os solos da estação científica Ferreira Penna, Caxiuanã, 2009. p. 117 – 127. In: LISBOA, P. L. B. Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia. Belém: MPEG, 2009.

COSTA, J. P. R. Modelagem e simulação das interações biosfera-atmosfera em plantio de soja na Amazônia. Viçosa: UFV, 2008. 102 p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

EISSENSTAT, D.M.; VANREES, K.C.J. The growth and function of pine roots. In: GHOLZ, H.L. et al. Environmental constraints on the structure and productivity of pine forest ecosystems: a comparative analysis. Ecology Bull., Copenhagen, v.43, p.76-91, 1994.

ENTIN, J. K.; ROBOCK, A.; VINNIKOV, K. Y.; HOLLINGER, S. E.; LIU, S. NAMKHAI, A. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extra tropics. Journal of Geophysical Research, v. 105, n. 9, p. 865-877, May, 2000.

FISCH, G.; MARENGO, J.; NOBRE, C.A. Clima da Amazônia, climanálise especial, MCT/INPE/CPTEC, Cachoeira Paulista, SP, p. 24-41, outubro de 1996.

GEIGER, R. The climate near the ground. Harvard Univ. Press. Cambridge. Massachusetts, 1980.

HENDRICK, R. L.; Pregitzer, K. S. Patterns of fine root mortality in two sugar maple forests. Nature 361:59 -61. 1993.

HOUGHTON, R. A., LAWRENCE, K. T., HACKLER, J. L. BROWN, S., The spatial distribution of forest biomass in the Brazilian Amazon: a comparison of estimates. Glob. Change Biol. v. 7, 731-746, 2001.

JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A.; SCHULZE, E. D. A global budget for fine root biomass, surface area, and nutrient contents. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Ecology, v. 94, p. 7362-7366, 1997.

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

LISBOA, P. L. B. Caxiuanã: desafios para a conservação de uma Floresta Nacional na Amazônia. Belém: MPEG, 672 p. 2009.

METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O. C.; COSTA, A. C. L.; ALMEIDA, S.; BRAGA, A.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JÚNIOR, J. A.; MALHI, Y.; WILLIAMS, M.. Sample sizes for estimating key ecosystems characteristics in a tropical *terra firme* rainforest. Forest Ecology and Management, v. 255, p. 558 – 566, 2008a.

METCALFE, D. B.; MEIR, P.; ARAGÃO, L. E. O. C.; COSTA, A. C. L.; BRAGA, A. P.; GONÇALVES, P. H. L.; SILVA JÚNIOR, J. A.; ALMEIDA, S. S.; DAWSON, L. A.; MALHI, Y.; WILLIAMS, M. The effects of water availability on root growth and morphology in an Amazon rainforest. Plant Soil, v. 311, p. 189-199, 2008b.

MOLION, L.C.B. Climatologia dinâmica da região amazônica: mecanismos de precipitação. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 2, p. 107-117, 1997.

NOVAK, M. D. Soil Temperature, p. 105 – 127. In: Micrometeorology in Agricultural Systems. American Society of Agronomy, Crop Science of America, Soil Science Society of America, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. 2005.

OLIVEIRA, M. C. F.; COSTA, M. C.; COSTA, A. C. L.; COSTA, J. P. R. Comportamento Médio Mensal dos Elementos Meteorológicos na Reserva Florestal de Caxiuanã-Pa In: XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia e II Reunião Latino - Americana de Agrometeorologia, 2001, Fortaleza-CE. Anais do XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Fortaleza, 2001.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; SMETHURST, P. J.; O'CONNEL, A. M.; CARLYLE, C. J.; KHANNA, P. K. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 121 p. 167 – 182, 2004.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas*. Livraria e Editora Agropecuária Ltda. 478 p. 2002.

PREGITZER, K. S.; KING, J. S.; BURTON, A. J.; BROWN, S. S. Responses of tree fine root to temperature. *New Phytol.* 147:105-187. 2000.

SANTIAGO, A. V. Simulações dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do Ji-Paraná, RO. Piracicaba: ESALQ-USP, 2005. 70 p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade do Estado de São Paulo, 2005.

SOUZA, J. R. S. Variabilidade da temperatura e umidade em solos sob floresta, pastagem e manguezal, no Leste da Amazônia. In: XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2002, Foz do Iguaçu-PR. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz do Iguaçu, 2002.

SOUZA, E.P.P. Relações entre as anomalias da TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental, 2003. 78p. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Espaciais, INPE, São José dos Campos, SP. 2003.

VAREJÃO-SILVA, M.A.S. *Meteorologia e Climatologia*. Brasília-INMET. Gráfica e Editora Pax, 532p. 2001.

VOGT, K. A.; VOGT, D. A.; LOOMFIELD, J. Analysis of some direct and indirect methods for estimating root biomass and production of forests at an ecosystem level. *Plant Soil.*, v. 200, p. 71-89, 1997.

VOGT, K. A.; VOGT, D. A.; PALMIOTTO, P. A.; BOON, P.; O'HARA, J.; ASBJORENSEN, H. Review of root dynamics in forest ecosystems grouped by climate, climate forest type and species. *Plant Soil*, v. 187, p. 159 – 219. 1996