

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CYMARA REGINA OSHIRO

PROCESSO DE MEDIÇÃO DE CARBONO DE BIOMASSA ARBÓREA NÃO-
AGRESSIVO AO ECOSISTEMA – ESTUDO DE CASO: *Mimosa scabrella* Bentham

CURITIBA

2010

CYMARA REGINA OSHIRO

PROCESSO DE MEDIÇÃO DE CARBONO DE BIOMASSA ARBÓREA NÃO-
AGRESSIVO AO ECOSISTEMA – ESTUDO DE CASO: *Mimosa scabrella* Bentham

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção de grau de Mestre em Ciências Florestais, no
Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal,
Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. PhD. Roberto Tuyoshi Hosokawa
Co-orientador: Prof. PhD. Nelson Nakajima

CURITIBA

2010

Ficha catalográfica elaborada por Deize C. Kryczyk Gonçalves – CRB 1269/PR

Oshiro, Cymara Regina

Processo de medição de carbono de biomassa arbórea não-agressivo ao ecossistema – estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham / Cymara Regina Oshiro - 2011.

80 fls. : il.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Tuyoshi Hosokawa

Co-orientador: Prof. Dr. Nelson Yoshihiro Nakajima

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Defesa: Curitiba, 28/01/2011.

Área de concentração: Economia e Política Florestal

1. Biomassa. 2. Carbono - Análise. 3. Teses. I. Hosokawa, Roberto Tuyoshi. II. Nakajima, Nelson Yoshihiro . III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título.

CDD – 634.9
CDU – 634.0.548

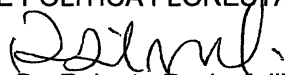


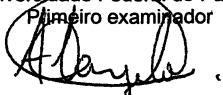
Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

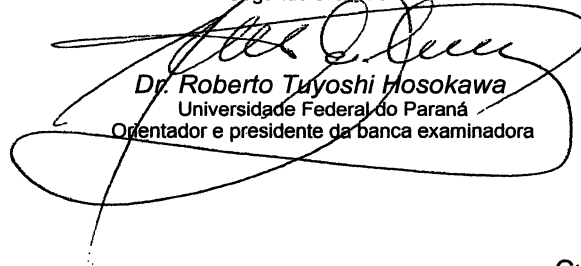
PARECER

Defesa nº. 860


A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Cymara Regina Oshiro* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**PROCESSO DE MEDIÇÃO DE CARBONO DE BIOMASSA ARBÓREA NÃO-AGRESSIVO AO ECOSISTEMA - Estudo de caso: *Mimosa scabrella Benth***", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em ECONOMIA E POLÍTICA FLORESTAL.


Dr. Roberto Rochadelli
Universidade Federal do Paraná
Primeiro examinador


Dr. Alessandro Camargo Angelo
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador


Dr. Roberto Tsyoshi Hosokawa
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora

Curitiba, 28 de janeiro de 2011.


Setsuo Iwakiri
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
João Carlos Garzel Leodoro da Silva
Vice-coordenador do curso

Av. Lothário Meissner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III - CEP 80210-170 - Curitiba - Paraná
Tel: (41) 360-4212 - Fax: (41) 360-4211 - <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao>



Ao amigo e professor Roberto T. Hosokawa e à minha filha Laura que são minhas fontes de inspiração, que me motivam e incentivam na busca pelo conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Meus profundos agradecimentos ao Prof. PhD Roberto T. Hosokawa, Prof. PhD. Nelson Nakajima, e a todos os outros professores participantes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal que têm contribuído, direta e indiretamente, à formação do meu conhecimento.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais, em especial a Reinaldo Mendes de Souza e David Teixeira de Araújo.

Ao Sr. Alfredo Maniz que permitiu a coleta das amostras para esta pesquisa em sua propriedade.

Ao Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal do Paraná, na figura de seu responsável, Prof. Dr. Umberto Klock, que permitiu a realização da preparação das amostras para a pesquisa neste laboratório, e ao colega Raphael Pancini que auxiliou no preparo das amostras.

Ao Laboratório de Inventário Florestal, administrado pelo Prof. Dr. Carlos Roberto Sanquetta, onde foram realizadas as análises de carbono pelo método de combustão total.

Ao Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, sob a responsabilidade da Prof^a Dra. Graciela Inés Bolzón de Muñiz, onde foram realizadas as análises de carbono com a metodologia de espectroscopia de infravermelho próximo, em especial ao colega Felipe Scheibe Dallagnol, mestrando da linha de pesquisa em Manejo Florestal, que executou as análises.

À minha família pela compreensão e carinho, em especial aos meus tios Roberto, Teruko, Eliza e Alice Mitie, meu primo Jefferson, que sempre me incentivaram e apoiaram em minhas caminhadas e busca pelo “saber”.

A todos os meus amigos e colegas, sempre presentes em todas as horas.

RESUMO

A fim de propor um processo não destrutivo e em conformidade ambiental para quantificar o carbono de ambientes florestais, foram realizadas análises do teor de carbono em fuste e raízes de *Mimosa scabrella* B. para identificar se há diferença entre os teores médios das partes e comparar a utilização de duas metodologias analíticas. O mercado de carbono instituído pelos mecanismos de redução de gases de efeito estufa fez crescer o número de pesquisas e estudos florestais, principalmente no que tange à quantificação de carbono acumulado. Os métodos de quantificação indiretos de carbono normalmente usam dados obtidos de inventário florestal e dados de fácil obtenção (diâmetro à altura do peito e altura) para estimar a quantidade de biomassa, e o fator de correção de 0,50 para a estimativa de carbono acumulado. Os métodos diretos de quantificação utilizados partem do inventário florestal e, por amostragem, procede-se o abate de árvores e pesagens à campo, e retiram-se amostras que são encaminhadas aos laboratórios para análise de carbono. Os métodos analíticos de carbono mais utilizados são: a via química (Walkley-Black), combustão total e leitura em espectrofotômetro de infravermelho próximo. Embora a via química ainda seja a mais utilizada em função da simplicidade do método e baixo custo das análises, vários laboratórios têm evitado o seu uso em função da utilização de substâncias carcinogênicas, substituindo o método por equipamentos de combustão total que procedem à leitura automática, mas possuem alto custo de manutenção e análise. A utilização de espectrofotômetros de infravermelho próximo para amostras sólidas tem uso recente no Brasil, e demonstra ser uma alternativa de baixo custo e não destrutiva das amostras. Apesar do grande número de pesquisas já realizadas, os erros de quantificação e emissões fugitivas são grandes, havendo hoje apenas 18 projetos, na área de florestamento e reflorestamento, aprovados no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, a maioria projetos de pequena escala. Os erros provenientes das estimativas de quantificação de carbono de ambientes florestais podem ter várias origens uma vez que as florestas são bastante heterogêneas em espécies e idade das árvores, variando os teores de nutrientes em dependência do habitat, condições geomorfológicas, geográficas e condições estruturais da floresta, resultando em teores de carbono diversos. Os resultados deste trabalho de pesquisa demonstraram que há diferenças significativas de teores de carbono de fuste e de raiz, e que o método de análise de espectroscopia de infravermelho próximo é equivalente ao método de combustão total. Dessa forma, torna-se importante que os processos de estimativa de carbono incluam metodologias de amostragens não destrutivas, análises laboratoriais das diversas partes das árvores amostradas incluindo as raízes, solo e serapilheira, além de ajustes individualizados dos modelos de cálculo de biomassa, para identificar o real potencial de acúmulo de carbono da área.

Palavra-chave: Biomassa. Análise de carbono.

ABSTRACT

To propose a non-destructive process and environmental compliance for carbon quantification of forest habitat were analyzed the carbon content in stem and roots of *Mimosa scabrella* B., to identify whether there are differences between the average contents of the parts, and compare the use of two analytical methodologies. The carbon market mechanisms established by the reduction of greenhouse gases has increased the number of forestry research and studies, especially regarding the quantification of carbon stocks. The indirect methods to quantify carbon typically use forest inventory and data easily obtained (diameter at breast height and height) to estimate the amount of biomass, and the correction factor of 0,50 for estimating carbon accumulation. Direct methods of measurement used have start on the forest inventory, sampling process, and after proceeds to the felling and weighing the trees, and withdraw from samples that are sent to laboratories for analysis of carbon. The analytical methods more used for carbon are: chemical process (Walkley-Black), total combustion analyzer and spectrophotometer of near infrared. Although the chemical pathway is still the most widely used due to the simplicity and low cost method of analysis, several laboratories have avoided its use because of carcinogenic substances, replacing the method for equipment of total combustion analyzer, that carry out the automatic reading but have high cost of maintenance and analysis. The use of near infrared spectrophotometer for solid samples has recent use in Brazil, and proves to be a low cost alternative and non-destructive of samples. Despite the large number of studies already conducted, the errors of measurement and count of fugitive emissions are large; there are now only 18 projects in the area of afforestation and reforestation projects, approved under the Clean Development Mechanism, most small-scale projects. The errors from estimates of carbon quantification can be originated from various sources once the forests are very heterogeneous in species and age of trees, varying levels of nutrients in dependence on habitat, geomorphologic conditions, geographic conditions and forest structure, resulting in different carbon contents. The results of this research showed that there are significant differences in carbon content of stem and root, and that the method of analysis of near infrared spectroscopy method is equivalent to the total combustion. Thus, it is important that the procedures for estimating carbon include non-destructive sampling methods, laboratory analysis of various parts of the trees including roots, soil and litter, and individual adjustments of the models for calculation of biomass in order to identify the real potential of carbon accumulation in the area.

Keyword: Biomass. Carbon analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – ALTERAÇÕES NA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL.....	17
---	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA FUNCIONAL DE UM ECOSISTEMA.....	18
FIGURA 2 – TRADO DE PRESSLER E AMOSTRAS EXTRAÍDAS.....	30
FIGURA 3 - ESPECTROFOTÔMETRO TENSOR SÉRIE FT-NIR.....	32
FIGURA 4 - FLUXO DE QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO TOTAL EM ANALISADOR LECO C144	39
FIGURA 5 - SÍTIO PAIOL VELHO – DELIMITAÇÕES.	46
FIGURA 6 - PERFIL ESQUEMÁTICO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (MATA DAS ARAUCÁRIAS).....	48
FIGURA 7 - BALANÇA DE PRECISÃO. A seta indica o modelo de barca de cerâmica utilizada no equipamento para a combustão total da amostra.	52
FIGURA 8 - MODELO DO APARELHO LECO C-144. As setas indicam as barcas em preparação, pesagem e local de entrada das barcas no equipamento .	52

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS ATIVIDADES DE PROJETO NO BRASIL POR ESCOPO SETORIAL E TIPO DE PROJETO	21
TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEORES MÉDIOS DE CARBONO DE ESPÉCIES DA CAATINGA, CERRADO E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA:.....	25
TABELA 3 - DISPOSIÇÃO DOS DADOS PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (DIC) ...	42
TABELA 4 - ESQUEMA DAS SUBDIVISÕES DOS TESTES ESTATÍSTICOS MAIS UTILIZADOS NA PRÁTICA	44
TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	45
TABELA 6 - DADOS DE CAMPO E PESO SECO DAS AMOSTRAS DE <i>Mimosa scabrella</i> B.....	50
TABELA 7 - RESULTADO DA ANÁLISE DE CARBONO DAS AMOSTRAS DE <i>Mimosa scabrella</i> B. EM ANALISADOR LECO C-144	55
TABELA 8 - RESULTADO DA ANOVA PARA MÉDIA DE TEORES DE CARBONO DE FUSTE E RAIZ AVALIADOS EM LECO C-144	57
TABELA 9 - RESULTADOS DOS % DE CARBONO DAS AMOSTRAS DE <i>Mimosa scabrella</i> B. EM ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR).....	57
TABELA 10 - RESULTADO DE ANÁLISE DO TESTE DE MANN-WHITNEY- WILCOXON	59
TABELA 11 - MÉDIA DOS TEORES DE CARBONO DE FUSTE SEGUNDO AS METODOLOGIAS DE COMBUSTÃO TOTAL E ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO.....	59
TABELA 12 - MÉDIA DOS TEORES DE CARBONO DE RAIZ SEGUNDO AS METODOLOGIAS DE COMBUSTÃO TOTAL E ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO	60
TABELA 13 – DADOS DO % DE CARBONO DE FUSTE OBTIDO PELAS DUAS METODOLOGIAS ANALISADAS:	62
TABELA 14 - TESTE t PARA MÉDIAS DE AMOSTRAS DEPENDENTES (FUSTE) EM DOIS TRATAMENTOS:	63

TABELA 15 - DADOS DO % DE CARBONO DE RAIZ OBTIDO PELAS DUAS METODOLOGIAS ANALISADAS:	64
TABELA 16 - TESTE DE WILCOXON PARA MÉDIAS DE AMOSTRAS DEPENDENTES (RAIZ) EM DOIS TRATAMENTOS:	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA – Análise de variância.

COP – Conferência das Partes

COT – Carbono Orgânico Total

CQNUMC – Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

CT – Combustão total

DAP – Diâmetro à Altura do Peito

DIC – Delineamento Inteiramente Casualizado

DRIFTS – Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy

FOM – Floresta Ombrófila Mista

GEE – Gases de Efeito Estufa

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

NIR – Near-infrared Spectroscopy

NMR – Espectroscopia de ressonância nuclear magnética

RCE – Reduções Certificadas de Emissões

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL.....	14
2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS	15
3.2. CICLAGEM DO CARBONO EM AMBIENTES FLORESTAIS	21
3.3 METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE CARBONO	27
3.3.1 Métodos indiretos para estimativa de carbono acumulado na biomassa florestal.....	27
3.3.2. Métodos diretos para estimativa de carbono acumulado na biomassa florestal.....	29
3.3.3. Métodos Qualitativos para a determinação do Carbono Orgânico Total	30
3.3.4. Métodos semi-quantitativos para a determinação de matéria orgânica.....	33
3.3.5. Técnicas quantitativas para determinação do carbono orgânico total	34
3.3.5.1. - Técnicas de química analítica (via úmida) para a determinação de COT.....	35
3.3.5.2. - Técnicas químicas secas para a determinação do Carbono Orgânico Total.....	38
3.4. TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS.....	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS	45
4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO:.....	45
4.2. FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	47
4.3. <i>Mimosa scabrella</i> Bentham – BRACATINGA.....	48
4.4. OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	49
4.5. ANÁLISES DE CARBONO	51
4.5.1. Análise de carbono - Combustão total (LECO C-144).....	51

4.5.2. Análise de carbono – Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR)	53
4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
6. CONCLUSÃO	67
7. RECOMENDAÇÕES.....	69
8. REFERÊNCIAS.....	70

1. INTRODUÇÃO

Lehninger (2006) discorre que o sistema e seu ambiente, juntos, constituem o universo: um sistema aberto onde ocorrem trocas de energia e matéria. Segundo Odum (1988) os componentes básicos que compõem um ecossistema são: a comunidade, o fluxo de energia e a ciclagem de materiais; existindo um ambiente de entrada e um ambiente de saída, acoplados e essenciais para que o sistema funcione e se mantenha, devendo ser mantido em equilíbrio dinâmico.

Neste contexto o clima do planeta Terra é extremamente dependente da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera e, portanto, do ciclo do carbono. O aumento ou redução significativa do carbono atmosférico altera o clima; ao qual Rochadelli (2001, p.3) redigiu: “a expansão da cobertura florestal se apresenta como uma oportunidade social e ambiental sadia de acréscimo ao estoque de carbono terrestre”, desacelerando o crescimento da concentração do principal gás de efeito estufa na atmosfera, o gás carbônico.

Em relação às alterações antrópicas, Hosokawa *et al.* (1998) argumentam que uma das soluções para o equilíbrio climático seria a implantação de reflorestamentos de forma maciça e em todo o Globo Terrestre, sendo essa uma ação de menor custo, melhor ciclagem bioenergética, melhor controle e melhor relação de benefícios diretos e indiretos aos ecossistemas. Porém, o autor ressalta que a implantação das florestas é insuficiente para minimizar os impactos já causados pelo ser humano na Terra, necessitando concomitantemente da redução da emissão dos gases de efeito estufa promovido pelo uso contínuo de combustíveis fósseis.

Os teores gerais de carbono estocado nas florestas diferem conforme a espécie, o bioma, localização (geografia e geologia) e dos aspectos fitosociológicos da área. A mensuração do carbono estocado nesses ambientes é realizada de forma direta (coleta de amostras em árvores em pé ou abatidas) ou indireta (utilizam fatores de conversão a partir de estimativas de volume e de biomassa).

Os métodos indiretos têm sido bastante utilizados, principalmente em projetos que envolvem os Mecanismos de Desenvolvimento Limpo estabelecidos pelo Protocolo de Kyoto. Estes evitam ações diretas e destrutivas nos ambientes florestais, porém os erros provenientes das estimativas podem ter origem em várias

fontes que variam desde a metodologia de amostragem, fatores ou equações praticados, até o processamento dos dados obtidos. (SILVEIRA *et al*, 2008).

Koehler *et al.* (2002) e Vieira *et al.* (2009) concordam que as generalizações acerca dos teores de carbono muitas vezes sugeridos em literaturas apresentam erros consideráveis, principalmente quando os cálculos de estimativa de carbono são utilizados para os projetos que envolvem o “Mercado de Carbono”.

Este mercado tem movimentado as especulações financeiras, mas as aferições de expectativa de sequestro de carbono por ambientes florestais são de difícil quantificação em função das fugas de carbono desses ambientes. Mesmo que os projetos de redução de gases de efeito estufa tragam benefícios diretos e indiretos, a movimentação financeira pelos créditos de carbono ainda não estão bem delimitados e caem em descrédito pelo mercado voluntário.

Várias pesquisas têm sido realizadas para buscar uma metodologia de fácil mensuração dos teores de carbono efetivamente acumulado pelas florestas e que possam apresentar menores erros de amostragem e quantificação.

Embora os métodos de quantificação diretos envolvam a coleta de amostras que muitas vezes causam alterações ambientais severas, os mesmos apresentam estimativas de maior confiabilidade, independente do método laboratorial aplicado.

No que se refere a este trabalho de pesquisa foram utilizadas dois métodos para a quantificação de carbono acumulado (Carbono Orgânico Total – COT) em fuste e raiz da espécie *Mimosa scabrella* Bentham: a metodologia de combustão total (Leco 144C) e a espectroscopia de infravermelho próxima (Espectrofotômetro Tensor FT-NIR). O objetivo das análises foi verificar se há diferenças significativas entre as médias de teores de fuste e raiz, e se os dois métodos diferem estatisticamente na quantificação do carbono, para que se possa propor um processo de amostragem não destrutivo para a quantificação do estoque em ambientes florestais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Comparar as médias dos teores de carbono acumulado de fuste e raiz de *Mimosa scabrella* B. em duas metodologias de quantificação: combustão total em analisador Leco C144 e espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) em analisador TENSOR Série FT-NIR.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Identificar os teores de carbono de fuste e raiz de *Mimosa scabrella* B através de analisador de combustão total modelo Leco C-144;

Identificar os teores de carbono de fuste e raiz de *Mimosa scabrella* B através de espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) espectrofotômetro modelo Tensor Série FT-NIR (Bruker Optics);

Verificar se os resultados dos teores de fuste e raiz obtidos são compatíveis com dados de pesquisas.

Verificar se há diferenças estatisticamente significativas entre as duas análises realizadas (análise de combustão total e espectrofotometria).

3. REVISÃO DE LITERATURA

Ricklefs (2003) cita que Alfred J. Lotka desenvolveu o primeiro conceito termodinâmico de ecossistema quando discorreu que a Terra é uma máquina termodinâmica gigantesca na qual a circulação dos ventos, correntes oceânicas e a evaporação da água, são movidas pela energia solar onde parte é assimilada pela fotossíntese das plantas, e esta energia, em última análise, é o combustível de todos os sistemas biológicos.

As florestas desempenham importante papel no que se referem à assimilação do carbono atmosférico realizado através do processo de fotossíntese. Porém, a capacidade fotossintética de uma floresta, bem como as taxas de carbono acumulado, varia conforme a espécie, o bioma e seus ecossistemas associados, a idade das espécies, estágio sucessional da floresta, entre outras variáveis.

Koehler *et al.* (2005) e Weber *et al.* (2006) ressaltam que a utilização de metodologias inadequadas para a estimativa de estoque de carbono em ambientes florestais levam a valores consideravelmente diferentes dos valores reais. Devendo ser, portanto, estabelecidos modelos matemáticos e teores de carbono diferentes para as diferentes tipologias florestais, componentes das plantas e espécies quantificadas.

Assim sendo, a interação entre diversas metodologias e ajustes de equações para estimativa de acúmulo de carbono devem ser realizadas de acordo com a tipologia florestal e espécies arbóreas, em conformidade com o objetivo da quantificação proposta.

3.1. MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O Planeta Terra, como sistema em equilíbrio, irradia para o espaço a mesma proporção de energia que absorve do sol, em proporções e tempos diferentes. A energia solar é absorvida na forma de ondas curtas e seu ambiente de saída é na forma de irradiação infravermelha de ondas longas, onde boa parte dessa irradiação

é absorvida pelos “gases de efeito estufa - GEE”, mantendo a temperatura do planeta.

O excesso dos GEE originário das ações antrópicas tem como consequência alterações climáticas severas, uma vez que forma uma densa camada na atmosfera que permite a entrada de luz branca, porém impede a saída de raios infravermelhos, aumentando as temperaturas terrestres (HOSOKAWA *et al.* 2007). Assim, nos encontramos em um universo que se degrada energeticamente, ao considerarmos que os recursos da Terra são limitados, tornando-se evidente o aumento da entropia.

A primeira lei da termodinâmica pode ser expressa como: “a variação de energia num sistema durante qualquer transformação é igual à quantidade de energia que o sistema troca com o ambiente”, dessa forma a primeira lei não limita as possibilidades de transformação de energia, estabelecendo que a energia não possa ser criada nem aniquilada. Porém, a segunda lei da termodinâmica, traduzido pelo postulado de Kelvin, impõe severas limitações à transformação de energia: “a energia total do universo é constante e a entropia (a desordem) total está em contínuo aumento”, assim é impossível uma transformação cujo resultado final seja transformar em trabalho todo o calor extraído de uma fonte indicando que com o tempo disporemos cada vez menos de energias utilizáveis.

Rifkin (2000) salienta ainda que a tendência universal de todos os sistemas, incluídos os econômicos, sociais e ambientais, é de passar de uma situação de ordem à crescente desordem, sendo um ciclo vicioso: o aumento da demanda de energia acaba por tornar mais complicado, mais caro e danosa a obtenção dessa energia, em função da progressiva exaustão dos recursos naturais, mais próximos e de mais fácil obtenção.

Marengo (2007) cita os estudos realizados pelo Climate Research Unit da University of East Anglia (Reino Unido) que indicam que em 2005 o aumento da temperatura a nível global foi de +0,48 °C acima da média, sendo que os últimos 11 anos (exceção para 1996) têm sido os mais quentes, com aumentos maiores observados no hemisfério norte. O autor salienta que as consequências do aquecimento global e as mudanças dos extremos climáticos têm sido observadas, como: o derretimento das geleiras nos pólos, ondas de frio e calor, enchentes, secas, frequência de furacões e ciclones tropicais, aumento do nível do mar e aquecimento da temperatura principalmente em centros urbanos como agravamento

da urbanização, etc. diferente dos ciclos naturais de aquecimento e resfriamento da Terra.

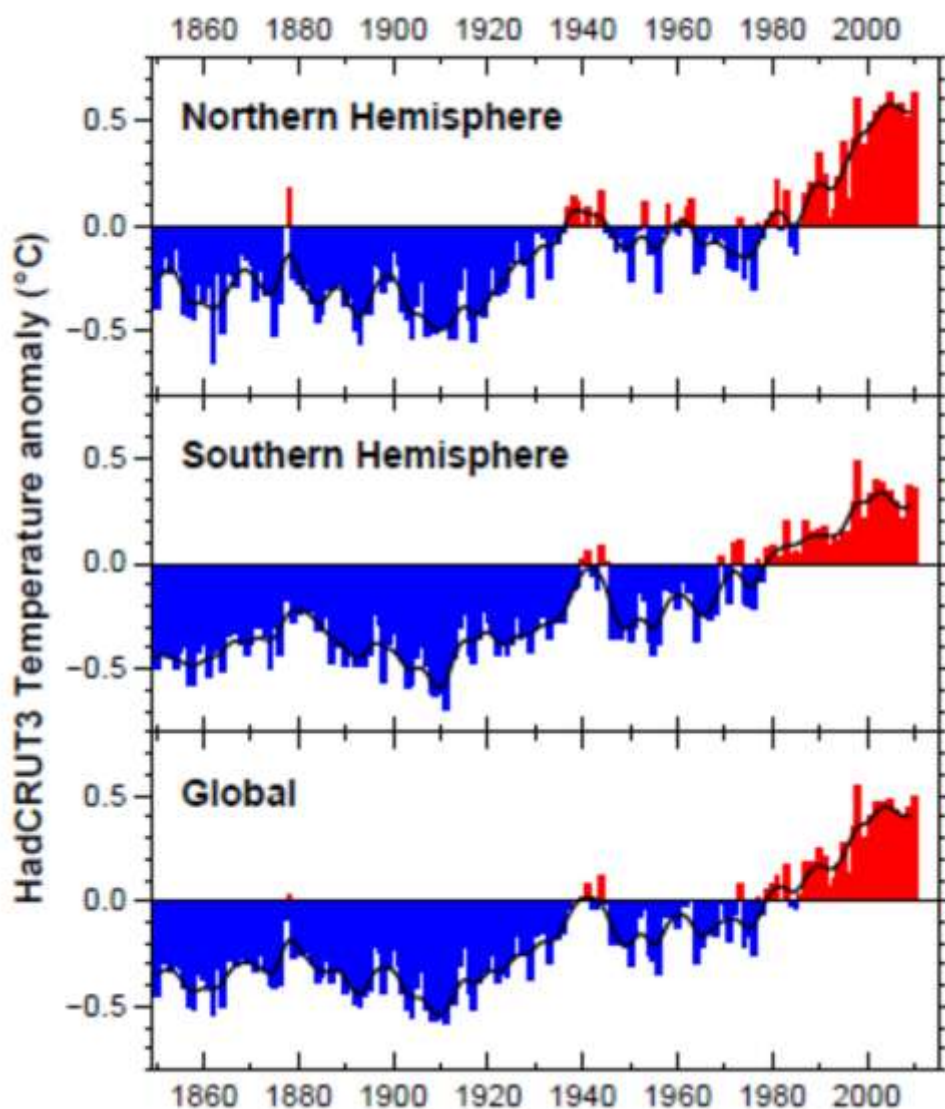


GRÁFICO 1 – ALTERAÇÕES NA TEMPERATURA MÉDIA GLOBAL

FONTE: EAST ANGLIA UNIVERSITY'S CLIMATE RESEARCH UNIT'S WEBSITE

Os modelos climáticos globais analisados pelo IPCC (2001) reforçam que o aquecimento dos últimos anos não é devido apenas à variabilidade interna do clima, sugerindo o importante papel das atividades humanas na mudança climática, uma vez que as “avaliações baseadas em princípios físicos indicam que o forçamento natural não pode isoladamente explicar a mudança observada do clima na estrutura vertical da temperatura na atmosfera”. (MARENGO, 2007; pg 27). O que já havia sido previsto no Segundo Relatório de avaliação do IPCC (1996) quando foi projetado o aumento da temperatura média da superfície terrestre entre 1 a 3,5 °C

até 2100, com um aumento entre 15 e 95 cm do nível do mar, e suas consequências.

Os componentes e processos que tornam funcional um ecossistema dependem da interação entre três componentes básicos: a comunidade, o fluxo de energia e a ciclagem de materiais (FIGURA 1).

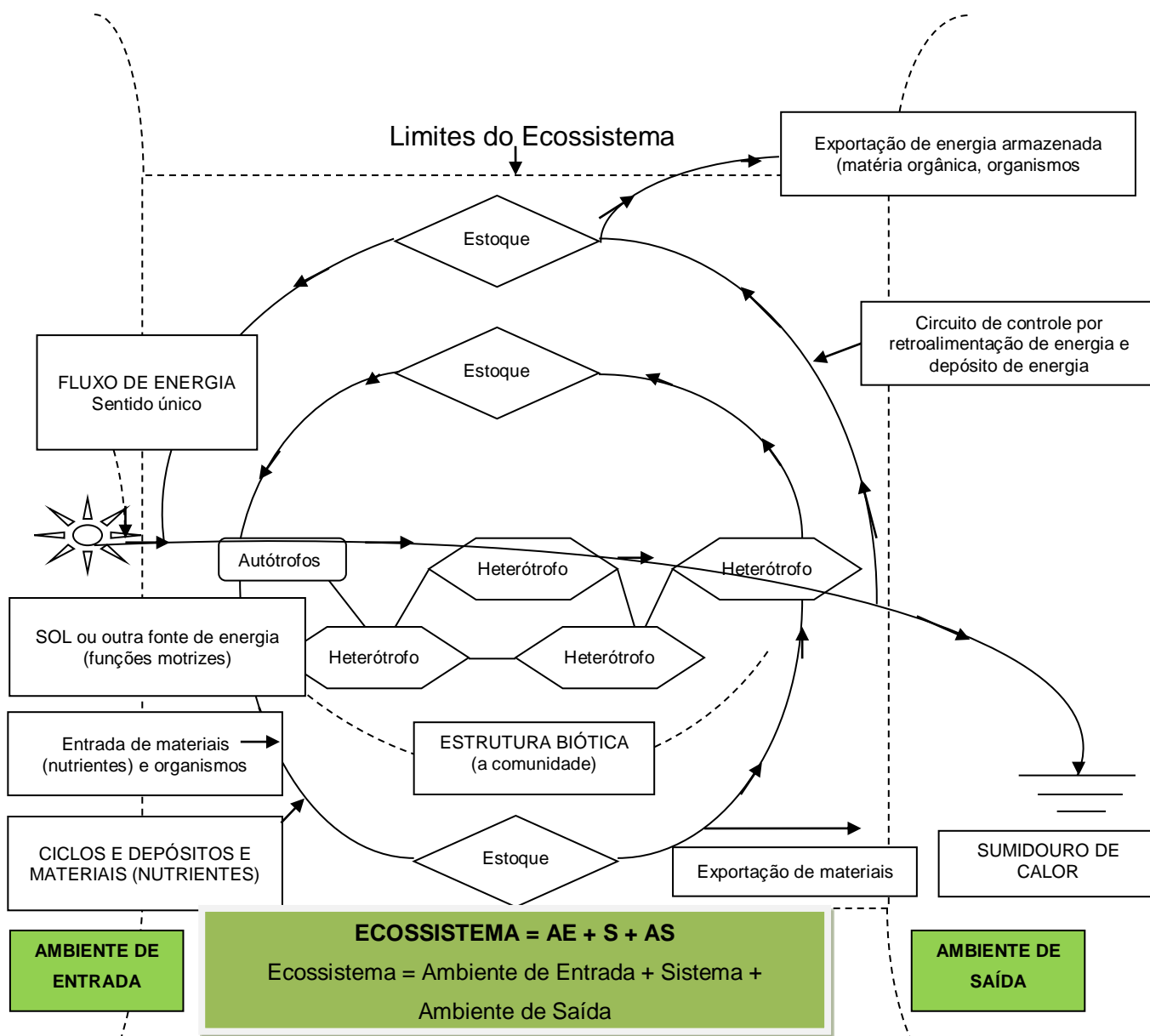


FIGURA 1 – DIAGRAMA FUNCIONAL DE UM ECOSSISTEMA
FONTE: ADAPTADO DE ODUM (1988)

Em função da preocupação comum da humanidade com as alterações climáticas globais foi criada a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (United Nations Framework Conference Climate Change –

UNFCCC) durante a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento que ocorreu no Rio de Janeiro em 1992.

Em 1997, durante a Terceira Sessão da Conferência das Partes (COP), da UNFCCC, foi adotado o Protocolo de Kyoto onde os países incluídos no Anexo I do Protocolo (maioria dos países da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento – OECD e países com a economia em transição) concordaram em reduzir as emissões antropogênicas de gases de efeito estufa pelo menos em 5% abaixo dos níveis de 1990, no período de compromisso de 2008 a 2012.

O Protocolo de Kyoto teve por objetivo a limitação e redução de emissões para promover o desenvolvimento sustentável por parte dos países incluídos no Anexo I. Assim os mesmos devem implantar e/ou aprimorar políticas e medidas que limitem ou reduzam os GEE, aumentando a eficiência energética através de incentivo à pesquisa, promoção e desenvolvimento de tecnologias de sequestro de CO₂ e energias renováveis, os sumidouros de GEE, entre outras; e permite a utilização de mecanismos de mercado para que os países desenvolvidos cumpram suas metas, através da compensação de emissões (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL).

A base científica para o mecanismo de desenvolvimento limpo pode ser demonstrada pela Lei dos Efeitos Acelerados da Entropia conforme descrito por Hosokawa & Hosokawa (2002) e determina a necessidade de um balanço energético entre os diferentes componentes do universo para manter a vida na biosfera, ou seja, é essencial que exista uma relação balanceada entre as massas da litosfera, hidrosfera, atmosfera, fitosfera e antroposfera quando se analisa a convertibilidade de massa para energia articulada conforme demonstrado por Einstein. O Protocolo de Kyoto acabou por estabelecer as opções básicas para a manutenção humana na Terra: a redução de emissão de gases de efeito estufa, o uso principal de energia em fluxo e a construção de sumidouros de carbono, buscando, entre outros, a redução dos altos custos climáticos decorrentes das severas alterações ambientais ocorrentes.

A natureza antropomórfica da lei da entropia ressalta que a energia disponível para a humanidade, ou seja, a energia que pode ser convertida em trabalho é a energia de baixa entropia. Assim, o uso de energia em fluxo compatível com o meio ambiente (energia eólica, hidroelétrica, etc.) ao invés do uso de energia concentrada (petróleo, gás natural, nuclear, etc.) busca reduzir a conversão da energia de baixa

para alta entropia. Porém depende da viabilidade técnica e econômica do processo. (HOSOKAWA e HOSOKAWA, 2002).

O MDL, como elemento de mecanismo de mercado, permite que projetos de redução de emissões nos países em desenvolvimento possam ser certificados (Reduções Certificadas de Emissões – RCE) e posteriormente vendidas para que países desenvolvidos possam cumprir suas metas de redução. As RCEs são emitidas depois de cumprido o Ciclo MDL (elaboração de documento de concepção de projeto – DCP, validação, aprovação pela Autoridade Nacional Designada – AND, submissão ao Conselho executivo para registro, monitoramento, verificação/certificação e emissão de unidades seguindo o acordo do projeto) desde que as reduções de emissões sejam adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima, atendendo aos objetivos do Protocolo.

O primeiro período de compromisso do Protocolo de Kyoto teve início em 01 de janeiro de 2008 e termina ao final de 2012, sendo que as negociações em curso apontam o interesse em sua continuidade após o final do primeiro período de compromisso.

Segundo o Guia de Orientação de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo elaborado pelo Ministério de Ciência e Tecnologia, em 2009, 5.712 projetos encontrava-se em alguma fase do ciclo de projetos do MDL, dos quais 2.003 já registrados pelo Conselho Executivo do MDL.

Os projetos MDL brasileiros aprovados, por escopo setorial, têm a prevalência de projetos em energia renovável (TABELA 1). Em termos de emissões reduzidas, as áreas de geração de energia, redução de N₂O e aterro sanitário respondem por 70% do total de emissões de CO₂ a serem reduzidas no primeiro período de obtenção de créditos, com um potencial de 261.986.755 tCO₂e.

TABELA 1 - DISTRIBUIÇÃO DAS ATIVIDADES DE PROJETO NO BRASIL POR ESCOPO SETORIAL E TIPO DE PROJETO

ATIVIDADE	%	Nº PROJETOS	REDUÇÃO ANUAL DE EMISSÕES (tCO ₂ e)
Energia renovável	49,2	215	18.164.436
Suínocultura	16,7	73	4.130.915
Troca de combustível fóssil	10,1	44	3.271.516
Aterro sanitário	8,2	36	11.327.606
Eficiência energética	6,4	28	2.027.173
Resíduos	3,9	17	646.833
Processos industriais	3,2	14	1.002.940
Redução de N ₂ O	1,1	5	6.373.896
Reflorestamento	0,5	2	434.438
Emissões fugitivas	0,7	3	269.181

FONTE: ADAPTADO DE MCT (2009)

A distribuição das atividades de projeto MDL no Brasil por tipo de gás de efeito estufa reduzido é aproximadamente: 65% de CO₂, 34% de CH₄, 1,1% de N₂O e 0,5% de PFC, distribuídos em 57% de projetos de pequena escala e 43% de projetos em larga escala. A Agência Nacional Designada no Brasil já aprovou 223 projetos dos quais 166 foram registrados no Conselho Executivo (MCT, 2009).

Relatos atuais da UNFCCC (janeiro 2011) contam que até hoje foram registrados apenas 18 projetos na área de florestamento e reflorestamento.

3.2. CICLAGEM DO CARBONO EM AMBIENTES FLORESTAIS

Os elementos químicos tendem a circular na biosfera por vias características, do meio biótico ao meio abiótico, nos dois sentidos, em vias mais ou menos circulares, denominados de Ciclos Biogeoquímicos.

O carbono é o único elemento não metálico pertencente ao grupo 14 da tabela periódica, sendo a base para grande variedade de compostos químicos que constituem os seres vivos.

É encontrado na atmosfera na sua forma mais abundante como CO_2 e na superfície da Terra na forma de carbonatos e combustíveis fósseis (KOTZ *et al.*, 2009). Nas suas formas inorgânicas o carbono provém de fontes geológicas, acúmulos sedimentares, sendo as principais: carbonato de cálcio (CaCO_3), dolomita (carbonato duplo de cálcio e magnésio $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) e siderita (FeCO_3), dependendo de onde o solo foi formado ou qual a fonte de formação (SCHUMACHER, 2002).

O carbono, como elemento químico, apresenta inúmeras possibilidades para a formação de elementos simples e complexos devido à sua tetravalência (seis prótons e seis elétrons, sendo quatro elétrons na orbital externa) e ausência de ligações nem fortemente eletropositivas nem negativas. (RAVEN, EVERT e CURTIS, 1985). Por este motivo os elementos carbonados (orgânicos e inorgânicos) ciclam com facilidade na natureza através dos ciclos biológicos e geológicos. Nenhum outro elemento químico pode formar moléculas de tamanhos e formas tão diferentes ou com tal variedade de grupos funcionais. LEHNINGER (2006).

Lehninger (2006) discorre que os carboidratos são as biomoléculas mais abundantes na face da Terra. A cada ano mais de 100 bilhões de toneladas de CO_2 e H_2O são convertidas em celulose e outros produtos vegetais. Os carboidratos constituem a base da dieta na maior parte do mundo e é a principal via metabólica energética das células não fotossintéticas.

Ricklefs (2003) salienta a importância do ciclo do carbono para os ecossistemas por ser fonte de energia para a maioria. A alternância do carbono entre formas orgânicas e compartimentos inorgânicos nos ecossistemas ocorre por meio da fotossíntese e respiração. Rochadelli (2001) complementa que, dessa forma, o ciclo do carbono controla a concentração atmosférica de gás carbônico (CO_2), importante gás responsável pelo efeito estufa, o que torna as florestas imprescindíveis nas ações para o estoque do carbono atmosférico.

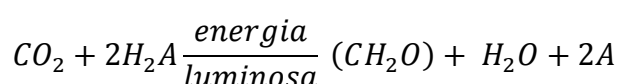
A matéria orgânica do solo é formada, em grande parte, por resíduos orgânicos, animal ou vegetal, em decomposição, quando então o carbono acumulado nos estoques orgânicos é liberado novamente para a atmosfera. (SELLE, 2007). Segundo Gomes *et al.* (2008) a vegetação terrestre consome 3,5 vezes o CO_2 que libera, assimilando o carbono nos órgãos e tecidos vegetais em crescimento. No equilíbrio dinâmico natural o déficit de CO_2 gerado no processo é

compensado por emissões naturais de outras fontes: vulcões, queimadas, águas termais, processos de decomposição, etc.

A ciclagem do carbono na biosfera, juntamente com o ciclo hidrológico, são de extrema importância na manutenção da vida na Terra por alterarem o tempo e o clima, drasticamente, frente a perturbações antropogênicas. (ODUM, 1988). A alta concentração de carbono atmosférico, resultado das atividades humanas (industrialização, produção de alimentos, queimadas, etc.) altera a condição natural do chamado “efeito estufa”, impedindo a dissipação do calor do sol e consequentemente aumentando a temperatura na Terra, não havendo tempo hábil para a completa ciclagem do carbono. (MARENGO, 2007).

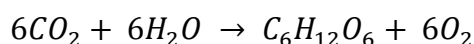
Segundo Odum (1988), embora o ciclo geológico do carbono seja o responsável pelas maiores reservas do elemento, é no ciclo biológico que encontramos as maiores variações do carbono e os maiores problemas para o meio biótico posto que tanto a baixa concentração de CO₂ quanto a alta concentração de O₂ são fatores limitantes para a fotossíntese, o que reduz o armazenamento biológico do carbono pelos processos fotossintéticos.

ODUM (1988) descreve que, quimicamente, o processo fotossintético significa a armazenagem de uma parte da energia solar sob a forma de energia potencial ou “presa” do alimento. A equação geral da reação de oxidação-redução pode ser escrita como se segue:



Onde *A* é o oxigênio para os vegetais verdes em geral.

O balanço químico total da reação fotossintética é:



Ou seja, a fotossíntese transforma o carbono de um estado oxidado (de baixa energia) para um reduzido (de alta energia) nos carboidratos. (RIFKINS, 2003). Excetuando as formas de energia nuclear, todas as outras formas de energia utilizadas pelo homem moderno provêm do sol e todos os organismos, direta ou

indiretamente, derivam sua energia da energia radiante da luz solar. (LEHNINGER, 2006).

Os principais fatores que influem no crescimento de uma árvore são: luz, conteúdo de clorofila (determina a disposição fotossintética), concentração de CO₂, temperatura, água e nutrientes. Esses fatores dependem da adaptação genética da espécie e de fatores de competição, que permitem uma melhor transformação dos produtos armazenados. O autor ainda salienta que a fotossíntese depende de diversos fatores, como: superfície foliar, eficiência foliar para a respiração, fatores de sítio-umidade e elementos nutritivos, além de energia solar. (MOSCOVICH, 2006).

A absorção da luz, realizada por pigmentos diversos, é a primeira etapa na conversão da energia solar em energia química. Diferentes pigmentos absorvem ou transmitem, ou refletem a energia luminosa em diferentes comprimentos de onda, dependendo de sua constituição, fazendo com que os elétrons saiam de um nível energético para outro mais alto, determinando se a energia vai ser convertida em calor, transferida sob a forma de energia luminosa ou capturada através de ligações químicas. (RAVEN, EVERT e CURTIS, 1985).

Existem três tipos de pigmentos fotossintéticos (clorofilas, carotenoides e ficobilinas) com diferenças particulares em seus tipos e subtipos como: ocorrência específica, localização e concentração nos organismos, e natureza estrutural. Essas diferenças acabam por determinar a diferença da capacidade fotossintética dos organismos e a capacidade de armazenamento de carbono e sua distribuição na planta.

Exemplificando essas diferenças, Tomaselli (2005) citou em seu trabalho os resultados obtidos por Weber *et al.*, (2003) mostrando que o percentual médio de carbono varia dependendo da parte da planta: 40,1% na casca até 44,1% no fuste para a *Araucaria angustifolia*, sendo as médias para raiz e casca significativamente inferiores às médias obtidas para fuste, folhagem e galhos. Resultados semelhantes foram obtidos por Vieira *et al.* (2009) quando observaram que a folhagem apresenta maiores teores de carbono em relação a outras partes da planta, concluindo que esses teores podem ser atribuídos ao pronto uso do carbono no processo metabólico e imediata alocação desse elemento nesse compartimento responsável pela produtividade primária da planta.

Vieira *et al.* (2009) estudaram a variação existente entre os teores de carbono de dois biomas: Cerrado e Caatinga. Os dados demonstraram haver

variações estatísticas significantes a 1% de probabilidade entre os teores médios de carbono da Caatinga (44,1%) e do Cerrado (42,09%), observando também valores extremos na Caatinga de 40,02% de carbono presente na biomassa seca da casca e 51,39 nas folhas.

Comparando os teores médios de carbono obtidos por Vieira *et al.* (2009) para a Caatinga e Cerrado, e Weber *et al.* (2006) para seis espécies da Floresta Ombrófila Mista, pode-se observar que existem diferenças entre os teores médios de carbono para diferentes partes das árvores amostradas e entre os biomas (TABELA 2). Porém, deve-se ressaltar que a comparação entre esses dados é meramente ilustrativa por diferirem metodologicamente em sua obtenção.

TABELA 2 - COMPARAÇÃO ENTRE OS TEORES MÉDIOS DE CARBONO DE ESPÉCIES DA CAATINGA, CERRADO E FLORESTA OMBRÓFILA MISTA:

ESPÉCIE	FUSTE	FOLHAGEM	CASCA	RAIZ
Caatinga*	43,75%	47,39%	44,60%	44,38%
Cerrado*	41,01%	43,24%	40,60%	40,09%
Floresta Ombrófila Mista**	41,70%	44,20%	39,5%	nd

nd – não determinado

FONTE: ADAPTADO DE VIEIRA *et al.* (2009) e WEBER *et al.* (2006)

Selle (2007) discorre sobre a importância dos ciclos geoquímicos, bioquímicos e biogeoquímicos para a manutenção das florestas, grande parte instalada sobre solos pobres em nutrientes minerais. Assim, o equilíbrio dinâmico dos nutrientes em ecossistemas florestais é extremamente dependente da biomassa microbiana que influi diretamente no fluxo de nutrientes e energia dentro do solo.

Estudo realizado por Rochadelli (2001) concluiu que classes sociais arbóreas diferentes também diferem nas concentrações dos seus constituintes fundamentais e acidentais em termos de biomassa, tanto da madeira quanto da casca na espécie estudada, obtendo valores entre 40 a 45% de carbono na biomassa seca de bracinga (*Mimosa scabrella* Bentham), ao que foi complementado por Weber *et al.* (2006) que identificaram o teor de carbono de 37,2% para a casca.

Poggiani *et al.* (1987) pesquisaram formas de revegetação e recuperação de áreas degradadas pela exploração do xisto betuminoso em São Mateus do Sul – PR e o efeito da deposição de nutrientes sobre o solo através da queda do folheto e

seu reflexo sobre a fertilidade da camada superficial do solo alterado em áreas experimentais de *Eucalyptus viminalis*, *Pinus taeda* e *Mimosa scabrella*. O estudo permitiu verificar que embora a espécie *M. scabrella* tenha apresentado um menor crescimento que as demais espécies, o potencial para enriquecimento da camada superficial do solo é muito maior, principalmente nos teores de carbono orgânico, nitrogênio e fósforo. A maior ciclagem desses nutrientes no ambiente experimental da bracatinga deve-se à maior quantidade de folheto depositada (folhas caducifólias) e da decomposição mais rápida do material vegetal, rico em nutrientes (em especial o Nitrogênio).

Dependendo dos tecidos vegetais depositados que formam a serapilheira, a velocidade de decomposição por parte dos microrganismos do solo será mais ou menos acelerada. Estes utilizam os componentes da biomassa para a obtenção de energia e nutrientes, sendo incorporados temporariamente às estruturas microbianas e retornando posteriormente à forma solúvel (mineralização). O equilíbrio entre a taxa de mineralização e imobilização depende das relações entre os minerais presentes no solo, principalmente a relação Carbono/Nitrogênio, quando relações altas reduzem a mineralização e o nitrogênio disponível para as plantas. (SELLE, 2007).

Estudos com *Mimosa scabrella* realizados por Urbano (2007) demonstram que os maiores teores de carbono são encontrados nas folhas (454,6 g.kg⁻¹), seguido da casca (446,9 g.kg⁻¹), galhos inferiores (441,3 g.kg⁻¹), galhos superiores (439,4 g.kg⁻¹), e fuste (436,8 g.kg⁻¹).

Hosokawa *et al.* (2002) em estudo para a determinação da dinâmica e estrutura da fixação de carbono em reflorestamento de bracatinga (quantitativa e qualitativamente) concluíram que a densidade de carbono diminui com o aumento da classe de diâmetro das árvores amostradas (310 kg/m³ em árvores não dominantes e 280 kg/m³ em árvores dominantes). Através desse estudo os autores elaboraram um modelo de função de produção para assimilação de carbono (ton./ha):

$$C = \frac{I^2}{(0.154397 - 0.011314 \times I + 0.026268 \times I^2)}$$

Onde:

I é a idade dos povoamentos

Os autores reforçam que a dinâmica dos estoques de CO₂ está sujeito a muitas variáveis (solo, condições climáticas, variabilidade das espécies, manejo

florestal, objetivos da produção, estrutura espacial, tamanho da floresta, idade, etc.) devendo, portanto, haver um controle periódico para correção das distorções presentes nos modelos matemáticos elaborados.

3.3 METODOLOGIAS DE ANÁLISE DE CARBONO

Para calcular o carbono acumulado em um ambiente florestal, inicialmente busca-se estimar o volume de biomassa florestal. A partir deste dado procedem-se os cálculos ou análise laboratorial de amostras para estimar o carbono.

Sanquetta *et al.* (2002) salienta que para estudos de fixação de carbono em florestas um dos aspectos mais relevantes é a variável *biomassa*, pois a obtenção de dados mais precisos sobre sua quantificação é que certificará a quantidade de carbono fixado nos ecossistemas florestais.

Os fatores que afetam a biomassa e a produtividade são: idade do povoamento, variabilidade genética, nutrição, altitude, umidade do solo, desbaste, região geográfica, tipo de região (úmida, encharcada ou seca), tipo florestal, estrutura florestal, grau de distúrbio da floresta, relações antrópicas (SILVEIRA *et al.*, 2008, citando RUSSO, 1983 e BROW *et al.*, 1989).

As metodologias de análise de carbono de matéria florestal podem ser diretas e indiretas, quantitativas ou qualitativas.

3.3.1 Métodos indiretos para estimativa de carbono acumulado na biomassa florestal

A utilização de métodos indiretos de estimativa de carbono acumulado na biomassa florestal tem sido amplamente utilizada principalmente em projetos que envolvam a quantificação de carbono acumulado das florestas. (VALÉRIO, 2009).

O cálculo da estimativa de carbono acumulado pelo método indireto utiliza dados do inventário florestal e variáveis de fácil obtenção (DAP, altura e volume) em relações quantitativas ou matemáticas, como razão ou regressão de dados

(equações e modelos) para o cálculo de biomassa e o fator de correção de 0,50 para o carbono.

A utilização desses dados e equações alométricas tem por objetivo reduzir o custo de determinação da biomassa e a consequente alteração das áreas amostrais. E, segundo Somogyi *et al.* (2006), dependendo de quais componentes da árvore ou quais componentes são significantes, fatores diferentes de biomassa ou equações devem ser utilizados.

Outra metodologia utilizada é a de sensoriamento remoto correlacionado com banco de dados de um Sistema de Informação Geográfica (Silveira *et al.*, 2008). Watzlawick (2003) destaca a importância de maiores estudos sobre a utilização dessa metodologia, por tratar-se de um método não-destrutivo e que permite caracterizar diferentes estruturas florestais, conciliando inventários de campo com dados espectrais da vegetação apresentado nas imagens.

Foram desenvolvidas várias equações alométricas para se estimar a biomassa florestal, porém, em função de todas as variáveis envolvidas, as equações de regressão devem ser utilizadas para sítios específicos, o que pode interferir na quantificação total de biomassa e consequentemente do carbono acumulado. (CROW & SCHLAEGER, 1988 citado por SILVEIRA *et al.*, 2008).

As metodologias indiretas embora forneçam uma boa aproximação do estoque de carbono acumulado podem não demonstrar a precisão necessária para os projetos que envolvam o mercado de carbono no âmbito do MDL, face às exigências desse mercado.

Fatores apontados por Silveira *et al.* (2008) que se referem às fontes de erros das metodologias indiretas de quantificação de biomassa e carbono: escolhas tendenciosas dos sítios amostrais, recursos humanos envolvidos na coleta das amostras, escolhas de espécimes de maior interesse, dificuldades de mensuração à campo de todas as árvores e parâmetros necessários para um cálculo mais preciso da estimativa (DAP, altura); salientando que deveriam ser consideradas não apenas as partes vivas das plantas acima do solo, mas também as árvores menores, a vegetação rasteira, raízes e vegetação morta acima e abaixo do solo. Esses autores também ressaltam que as equações desenvolvidas são específicas: para cada situação, espécie, local, estratificação das florestas, idade das árvores, etc.

3.3.2. Métodos diretos para estimativa de carbono acumulado na biomassa florestal

Os valores de medição de biomassa a campo, método direto, são importantes para a estimativa de carbono acumulado, sendo necessária, após a realização do inventário florístico, a amostragem destrutiva (derrubada e pesagem das árvores amostrais) para a estimativa correta através do método individual ou método da parcela. (SILVEIRA *et al.*, 2008).

Koehler *et al.* (2005) afirmam que a quantidade de biomassa difere com o tipo florestal e que as medições de biomassa devem ser realizadas através de experimentação à campo a fim de assegurar maior precisão na quantificação de carbono acumulado, principalmente em biomas de florestas ombrófilas por apresentarem maiores variações na biomassa. Ressaltam que os locais de coleta das amostras devem ser representativos e sem tendenciosidade, e que os modelos matemáticos devem ser construídos de forma individualizada para cada tipo florestal e cada sítio.

Os mesmos autores criticam em seu trabalho os estudos realizados por Houghton e Fearnside (ambos em 1994) quando estes citam que as quantidades de carbono variam conforme o bioma e dentro de um mesmo bioma, não levando em consideração os componentes subterrâneos e indivíduos mortos. Os autores compararam os métodos que utilizam equações alométricas e valores de 50% do volume de biomassa seca para a obtenção de estimativas de carbono com métodos diretos de quantificação de biomassa e teores de carbono analisados a partir de amostras das partes aéreas das árvores, concluindo que a utilização de parâmetros alométricos e 0,50 para o teor do carbono resultam em valores 20 a 53% maiores do que as estimativas por determinação (métodos diretos).

Watzlawick *et al.* (2003) salientam a maior precisão do método destrutivo, tanto para plantios florestais quanto para florestas naturais. A redução do erro nesta metodologia, segundo os autores, se deve às considerações das diferenças existentes entre as idades, condição de manejo, desbastes, desrama e densidade de indivíduos por hectare; e nas florestas naturais aos diferentes estágios de desenvolvimento e a composição de espécies.

A fim de evitar o abate das árvores pode-se utilizar a mesma metodologia de coleta de amostras que é utilizado para análise de anéis de crescimento, usando

como ferramenta o Trado de Pressler. Este é um instrumento de origem sueco utilizado para se extrair amostras cilíndricas do lenho, permitindo a coleta e posterior contagem dos anéis de crescimento em árvores em pé, ou seja, mantém a árvore viva. As limitações da técnica ocorrem em espécies cujo grau de dureza de fuste é muito alto, impedindo a coleta de amostra; e por não ser possível identificar falsos anéis. (ENCINAS, *et al.*, 2005; KOEHLER, A.B., 2009). (FIGURA 2).

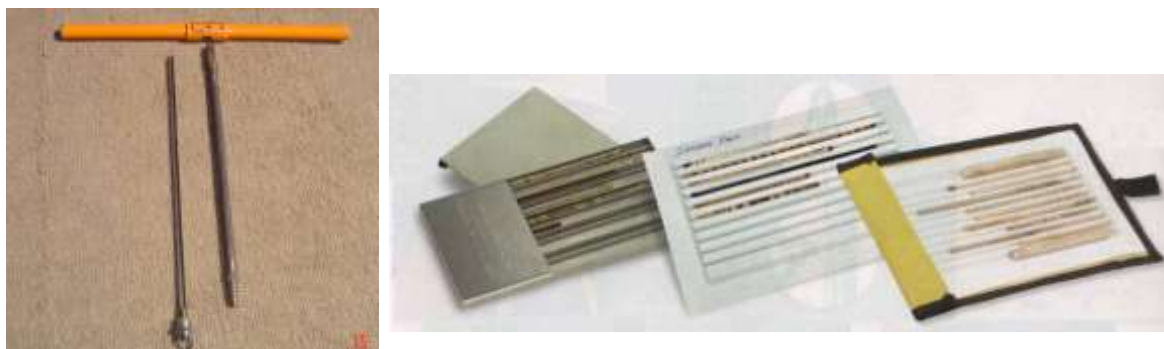


FIGURA 2 – TRADO DE PRESSLER E AMOSTRAS EXTRAÍDAS
FONTE: Autoria desconhecida

Segundo Schumacher (2002) os fatores a serem considerados para a escolha de um método de determinação direta do Carbono Orgânico Total, incluem desde a facilidade do uso, conceitos de segurança e saúde, custos, coleta de amostras e metodologias de padrão de referência comparáveis. O autor salienta que grande parte dos métodos de quantificação de carbono é baseada em titulações com soluções indicadoras e outras utilizam métodos gravimétricos, volumétricos, espectrofotométricos ou cromatografia.

As análises do carbono em árvores abatidas são normalmente realizadas em amostras das mesmas (discos ou cortes transversais) que são levadas aos laboratórios, secadas, moídas e posteriormente analisadas em diferentes técnicas. Estas amostras são encaminhadas a laboratórios para a realização da análise através de métodos químicos e/ou físicos de quantificação e qualificação de carbono. De uma forma geral as metodologias para análise de materiais oriundos da biomassa florestal foram adaptadas de metodologias analíticas de solo e água.

3.3.3. Métodos Qualitativos para a determinação do Carbono Orgânico Total

Schumacher (2002) cita dois métodos conhecidos para a caracterização estrutural das formas de carbono orgânico em solos e sedimentos: Espectroscopia de ressonância nuclear magnética (NMR) e Espectroscopia de reflectância difusa de infravermelho transformado de Fourier (Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy – DRIFTS), conforme descrito a seguir:

A espectroscopia de ressonância nuclear magnética - NMR, como ferramenta para a caracterização da matéria orgânica, baseia-se no princípio de medições de energia característica que é absorvida e reemitida ou dispersada por núcleos atômicos localizados em um campo magnético e sujeitos a um campo magnético oscilatório de radiofrequência conhecida. O método é bastante preciso, o que o torna valioso por permitir distinguir as estruturas químicas características de matéria orgânica recém-formada, as formas de carbono orgânico derivadas de material geológico, carbono elementar derivado de cinzas e calor, partículas carbonadas derivadas de contaminação do solo por aerossóis. As limitações referentes ao método NMR referem-se ao preço das análises e do tempo necessário para a obtenção dos resultados.

A espectroscopia DRIFT, quando usada em conjunto com dados de análises multivariadas (p.ex. mínimos quadrados parciais), fornece um meio rápido e barato para diferenciar as formas de carbono em solos e sedimentos. Os compostos carbonados são identificados através de atribuição das principais bandas de absorção de infravermelho para as ligações a serem esticadas ou deformadas naquela frequência particular. A técnica permite a identificação de formas orgânicas e inorgânicas, e pode qualificar ou quantificar as amostras.

As informações espectrais são obtidas quando uma luz incide aleatoriamente em uma matriz descontínua, penetra na amostra (pó, sólida, placa ou filme) e é refletida. Assim, a luz refletida pode ser atenuada por absorção e o espectro resultante é similar ao obtido na técnica no infravermelho por transmissão (que utiliza brometo de potássio). Segundo Souza e Ferrão (2006) a diferença entre a transmissão e refletância é devido ao diferente caminho óptico percorrido pela luz. Enquanto na transmissão o caminho óptico é constante para todos os números de onda, na refletância o mesmo é variável.

Os mesmos autores salientam que em regiões do espectro onde a amostra tem menor absorção, a luz penetra mais profundamente na matriz, ao contrário onde há forte absorção, assim os espectros obtidos por transmissão e por refletância têm

intensidades relativas das bandas diferentes, ou seja, as bandas fracas no espectro por transmissão aparecem mais fortes na refletância. Outro aspecto observado é que o infravermelho próximo apresenta distorções nos espectros quase imperceptíveis, diferente do infravermelho médio que apresenta distorções frequentes, necessitando da diluição das amostras em uma matriz não absorvente para a redução dos erros de leitura.

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) vem substituindo as técnicas de análise química por via úmida em função não apenas de sua praticidade e acuidade, mas também por não requerer nenhuma preparação das amostras, rapidez na obtenção dos resultados, não necessitar de reagentes e por não destruir a amostra quando analisada, sendo que as mesmas podem ser líquidas, sólidas ou pastosas.

O Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná possui um espectrofotômetro TENSOR Serie FT-NIR, Bruker Optics. A série “Tensor” fabricada pela empresa reconhece automaticamente componentes óticos e acessórios necessários para as amostras, assim os parâmetros são transferidos imediatamente para o software pelo usuário para a mensuração imediata das análises.

Os espectros de ondas das leituras variam entre 4 a 10.000 Cm^{-1} , assim a luz infravermelha em várias faixas de onda é guiada através de um interferômetro e posteriormente, através de leitura transformada de Fourier, resulta em um espectro semelhante aos resultados obtidos pela espectroscopia infravermelha dispersiva convencional.

As ilustrações a seguir demonstram a facilidade de manipulação da amostra e o tamanho reduzido do aparelho. (FIGURA 3).

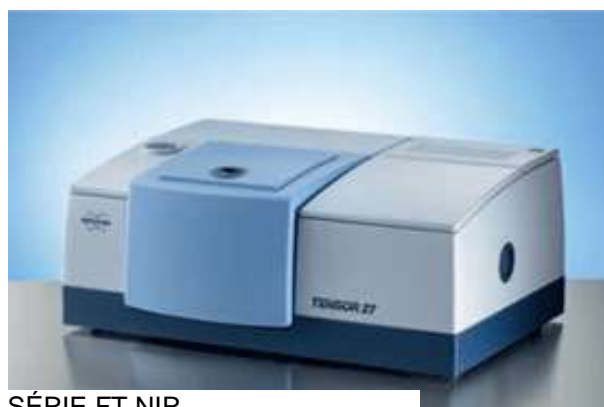
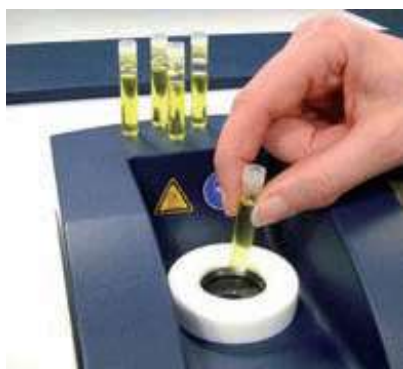


FIGURA 3 - ESPECTROFOTÔMETRO TENSOR SÉRIE FT-NIR

FONTE: BRUKER CORPORATION

Para a obtenção dos resultados devem ser construídos modelos de regressão multivariadas e as faixas de espectro definidas. Assim pode-se realizar a calibração do aparelho. Usualmente é aplicado o método de regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS), com pré-processamento auto-escalado e tratamento com correção do espalhamento de luz (MSC). Os melhores modelos devem ser selecionados considerando-se os valores do coeficiente de correlação (R_2) e da raiz quadrada dos erros médios quadráticos de validação.

Souza e Ferrão (2006), utilizando um espectrômetro Nicolet Magna 550 acoplado de um acessório de refletância difusa EasiDiffTM da Pike Technologies, com resolução de 4cm^{-1} e 32 varreduras (40 espectros) visando a dosagem do fármaco diclofenaco de potássio concluíram que modelos de calibração, empregando dados DRIFTS e regressão PLS (mínimos quadrados parciais) podem ser empregados como alternativa na dosagem e quantificação do fármaco; agregando outras vantagens como: a não destruição da amostra, a não geração de resíduos, a fácil realização da análise, rapidez do procedimento, fácil manuseio dos instrumentos, e o baixo custo operacional. O que confere alta precisão à metodologia na análise qualitativa e quantitativa de elementos constitucionais, desde que a calibração do aparelho esteja adequada.

3.3.4. Métodos semi-quantitativos para a determinação de matéria orgânica.

Os métodos descritos a seguir foram baseados em Schumacher (2002, p.1-25):

Métodos semi-quantitativos são baseados na remoção indiscriminada de toda matéria orgânica seguida por determinação gravimétrica da perda de peso das amostras. Os dois principais métodos semi-quantitativos utilizados para matéria orgânica em solos e sedimentos são: (1)- perda de partida e (2)- digestão por peróxido de hidrogênio.

O método de perda de partida (Loss-on-ignition – LOI) para a determinação de matéria orgânica envolve a destruição por calor de todas as matérias orgânicas de solos ou sedimentos. Um peso conhecido de amostra é colocado em um cadinho

de cerâmica o qual é então aquecido entre 350 a 440 °C por uma noite. A amostra é então resfriada em um dessecador e pesada. O conteúdo de matéria orgânica é calculado pela diferença entre o peso inicial e final da amostra dividido pelo peso inicial da amostra vezes 100%. Todos os pesos devem ser corrigidos para o teor de umidade/água do conteúdo anterior do cálculo de matéria orgânica. O problema do método é que a manutenção da amostra em altas temperaturas acaba por superestimar o conteúdo de carbono da matéria orgânica em função da perda da água estrutural ou grupos hidroxila de alguns componentes argilosos.

O método por digestão em peróxido de hidrogênio destrói a matéria orgânica da amostra através da oxidação. A técnica envolve a adição de peróxido de hidrogênio concentrado (30 a 50%) a um sedimento ou solo pesado previamente. O peróxido de hidrogênio é adicionado à amostra até que a mesma deixe de espumar. As amostras devem ser aquecidas a 90 °C durante a adição de peróxido para aumentar a velocidade de reação, e completar a digestão por peróxido. Uma vez completada a digestão, a amostra é seca a 105 °C, resfriada em dessecador e pesada. A matéria orgânica é determinada gravimetricamente e calculada como a diferença entre o peso inicial e final das amostras dividido pelo peso inicial vezes 100%. Todos os pesos devem ser corrigidos para o conteúdo anterior de umidade/água do cálculo do conteúdo de matéria orgânica.

As limitações dessa técnica é que: a oxidação da matéria orgânica é incompleta, a variação do grau de oxidação das diferentes amostras, e há perda de compostos orgânicos voláteis.

Os dois métodos são limitados também em relação aos fatores de correção utilizados nos cálculos, pois os mesmos variam de amostra para amostra, local de amostragem, etc.

3.3.5. Técnicas quantitativas para determinação do carbono orgânico total

A determinação do carbono orgânico total em solos e sedimentos pode ser realizada por técnicas destrutivas e não destrutivas, sendo as técnicas destrutivas as mais utilizadas mesmo necessitando de preparação prévia da amostra ou pré-tratamento seguido de extração e quantificação. (SCHUMACHER, 2002).

O mesmo autor salienta que os princípios básicos das técnicas destrutivas envolvem: a oxidação úmida seguida por titulação com sulfato ferroso amoniacal ou determinação fotométrica de Cr^{3+} (2) oxidação úmida seguida de coleta e medição de CO_2 evoluído, e de combustão seca a altas temperaturas em forno com coleta e detecção de CO_2 evoluído.

Os métodos disponíveis para determinação do carbono orgânico não são capazes de distinguir entre as formas orgânicas e inorgânicas de carbono. Assim um teste simples para determinar se há presença de carbonatos pode ser realizada adicionando algumas gotas de HCl (1N a 4N) e se observa a efervescência da amostra, quando há calcita presente a efervescência é rápida e em presença de dolomita pode demorar mais. Outra forma de identificação de carbono inorgânico é a mensuração do pH que costuma estar entre 7,8 a 8,2 quando o carbonato de cálcio está presente.

3.3.5.1. - Técnicas de química analítica (via úmida) para a determinação de COT

As técnicas de química analítica por via úmida podem ser divididas em duas fases: extração e quantificação da amostra.

A técnica de extração é basicamente a mesma para todos os métodos citados na literatura, com variações na força e combinação de reagentes utilizados. As técnicas de quantificação associadas com a determinação de COT por via úmida podem ser realizadas por titulação (manual ou automática), calorimetria, gravimetria ou técnicas manométricas.

Fase 1 - extração de amostras:

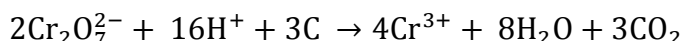
A técnica química padrão (via úmida) para a extração de amostras envolve a rápida oxidação da matéria orgânica pelo dicromato, sendo o método de Walkley-Black o mais conhecido e utilizado como padrão de referência para outros estudos. Neste procedimento o dicromato de potássio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) e H_2SO_4 concentrados são adicionados entre 0,5 a 1 g. A solução é agitada e esfriada (em função da reação

exotérmica da mistura de dicromato de potássio com ácido sulfúrico) antes da adição de água para parar a reação.

Dias e Lima (2004) compararam métodos para a determinação de matéria orgânica em amostras ambientais utilizando métodos analíticos consagrados na literatura: método gravimétrico e titrimétrico de oxirredução para amostras de solo e sedimentos. Os resultados obtidos pelos autores demonstram que a utilização do método gravimétrico para amostras de solo e sedimentos não é apropriado por elevar o carbono orgânico determinado em função da inclusão de outros materiais voláteis no processo. Dessa forma, a indicação desses autores para amostras sólidas, entre os dois métodos comparados, é o emprego da titulação de Walkley-Black.

Fase 2 - Método Walkley & Black (1934):

Consiste em metodologia analítica titrimétrica de oxirredução que envolve um agente oxidante energético (solução 1 N de dicromato de potássio em meio sulfúrico) atuando sobre a matéria orgânica (agente redutor), com titulação do excesso de dicromato com solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 N, em presença de um indicador adequado (solução de 1% de difenilamina), para a determinação do carbono orgânico (constituente maior da amostra, em geral, 58%). Quimicamente representado pela seguinte equação (1)



O que permite definir o equivalente-grama para o carbono nessa reação de oxirredução (2):

$$\frac{2\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}}{12} \equiv \frac{3\text{C}}{12}$$

Dessa forma, para cada ml de solução de dicromato N há 3mg de C oxidado presente na amostra (DIAS e LIMA, 2004; citando GUIMARÃES *et al.*, 1970).

Leite *et al.* (2004) utilizou o método proposto por Walkley Black na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume ao qual

descreveram: 0,5 g de solo peneirado ao qual foi adicionado 10 ml de $K_2Cr_2O_2$ 1N e, rapidamente, 20 ml de H_2SO_4 concentrado. A solução diluída e filtrada é acrescida de 10 ml de H_3PO_4 85% e 1,0 ml do indicador difenilamina, seguido de titulação com Fe_2SO_4 0,5N até a passagem da cor violeta para a verde, sendo esse ponto de mudança de cor um dos fatores restritivos do método, pois depende da sensibilidade e experiência do laboratorista. Os valores obtidos com a titulação são utilizados para o cálculo da determinação do Carbono Orgânico.

Duda *et al.* (2005) comparando duas metodologias para a quantificação de carbono para uso na determinação do carbono microbiano do solo concluíram que o método colorimétrico (utilização de permanganato de potássio como agente oxidante e quantificação por colorimetria no comprimento de onda de 495nm) apresentou maior exatidão na determinação de carbono em soluções padrões, em detrimento da titrimetria que apresentou maior imprecisão.

O uso de reagentes de cromo hexavalente tem sido criticado devido suas características carcinogênicas, evidenciadas em estudos de casos com animais e humanos (WEBER *et al.*, 2006). Segundo Segnini (2007) o método de Walkley-Black é ainda o mais utilizado em laboratórios de solos devido a simplicidade e baixo custo, porém, apresenta problemas analíticos e ambientais devido ao uso do cromo. Schumacher (2002) ressalta ainda que a limitação do método, além dos problemas relatados anteriormente, refere-se à digestão incompleta de algumas formas matéria orgânica, o que acaba por determinar a utilização de fatores de correção ou adaptações metodológicas que muitas vezes resultam em superestimação do teor de carbono presente nas amostras.

Fase 2 - Método gravimétrico:

A amostra nesse método deve ter baixa granulometria (<40 μ m). Esta deve ser pesada, com posterior aquecimento em sequência crescentes de temperatura (105 °C, 16 horas e 360 °C, 2 horas). A perda expressa em percentagem da diferença de peso entre os 105 °C e 360 °C, obtida em pesagem em balança analítica, corresponde às substâncias orgânicas, sendo seu valor dividido por 1,724 para obtenção do carbono orgânico. (DIAS e LIMA, 2004; citando GROSS, 1971).

Os mesmos autores salientam que os erros obtidos no método gravimétrico devem-se ao fato de que o aquecimento em estufa e mufla provocam perdas de

componentes inorgânicos voláteis contidos na amostra, aumentando os valores obtidos.

3.3.5.2. - Técnicas químicas secas para a determinação do Carbono Orgânico Total

As técnicas químicas secas referem-se à quantificação do carbono total presente na amostra e podem ser divididas em duas fases: combustão da amostra e quantificação da amostra. A técnica de combustão da amostra consiste na queima em fornos a elevadas temperaturas. O produto final da combustão é o CO₂ que é quantificado por titulação, gravimetria, manometria, espectrofotometria ou técnicas de cromatografia gasosa.

Fase 1 - Combustão da amostra

As amostras de solo, sedimentos ou outras matérias são levados à combustão total em fornos de alta temperatura (em torno de 1000 °C), colocadas em barcos inertes (platina, porcelana ou cerâmica) em presença de oxigênio puro para assegurar a combustão completa da amostra, e em alguns casos são utilizados catalizadores e aceleradores (pentóxido de vanádio, cobre, óxido de cobre e óxido de alumínio). A utilização de aceleradores aumenta a temperatura do forno temporariamente. Após alguns minutos de combustão os gases formados são varridos e levados aos detectores.

Schumacher (2002) citando Nelson e Sommers (1996) especifica que a grande vantagem do método consiste na assegurada forma de combustão de todo o carbono presente na amostra, facilidade de manipulação e preparação da amostra, e rapidez de identificação dos teores do método, além da precisão. Porém ressalta que se o fluxo livre de gás não for mantido pode haver contaminação cruzada dos gases (CO₂ atmosférico), e que o investimento inicial de compra do equipamento pode ser alto.

Fase 2 – Quantificação da amostra

Após a fase de combustão da amostra a quantidade de carbono pode ser determinada através de várias técnicas diferentes: técnicas de análises químicas já

descritas anteriormente e técnicas de cromatografia gasosa ou espectrofotometria. As últimas referem-se a análise dos gases formados em célula de detecção. As técnicas de detecção espectrofotométricas quantificam o CO₂ liberado usando a condutividade térmica ou detectores de infravermelho.

Os detectores de condutividade térmica medem a diferença entre a condutividade térmica do gás liberado da amostra e um gás de referência e convertem a diferença de temperatura a um percentual de carbono da amostra. Geralmente o CO₂ tem uma condutividade térmica de 3,3 calorias por cm/seg.

Os detectores de infravermelho dependem da absorção da energia infravermelha pelo CO₂ em comprimento de ondas específicas. O CO₂ entra na célula detectora de infravermelho e o sistema converte o nível de energia acumulado que diminuiu em percentagem de carbono. O CO₂ absorve a radiação infravermelha a comprimentos de onda entre 2,6 a 4 microns.

Segundo Shumacher (2002), citando Nelson e Sommers (1996), embora pouco utilizado em função do custo, o carbono total também pode ser quantificado através da utilização de um cromatógrafo à gás ligado a um detector de condutividade térmica ou de um detector de ionização de chama.

De uma forma geral o funcionamento do aparelho Leco C-144 utilizado para este experimento tem o seguinte funcionamento, conforme a FIGURA 4 abaixo:

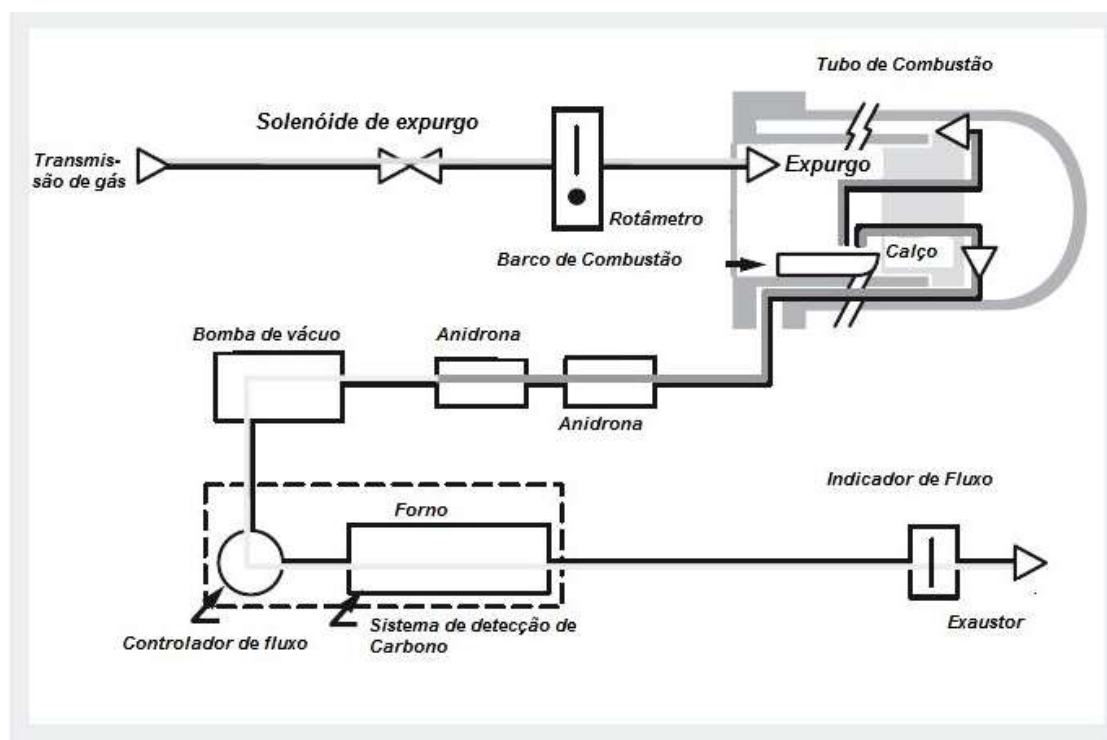


FIGURA 4 - FLUXO DE QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO TOTAL EM ANALISADOR LECO C144
 FONTE: ADAPTADO DE LECO CORPORATION, 2008

O Analisador de Carbono C-144 (ANEXO 2) é um instrumento não-dispersivo de infravermelho controlado por software, concebido para medir o teor de carbono em uma ampla variedade de materiais orgânicos, tais como: carvão, coque, óleos; assim como alguns materiais inorgânicos como solo-cimento e calcário.

A análise começa com uma amostra (0,350 g nominal), pesada em balança de precisão e colocada em um barco de combustão cerâmico. Quando a análise é selecionada a partir do menu de amostras, a amostra é colocada em um ambiente de oxigênio puro normalmente regulada em 1350 C °. A combinação da temperatura do forno e análise de fluxo faz com que a amostra entre em combustão. Todos os materiais de amostra contida no barco de combustão passam por um processo de redução-oxidação que faz com que os compostos de carbono quebrem e liberem o carbono. O carbono, em seguida, oxida para formar CO₂.

Amostras de gases são primeiramente varridas através do calço do barco para o fundo do tubo de combustão interna, então seguem entre os tubos de combustão interna e externa, permitindo que os gases da amostra permaneçam na zona de temperatura elevada por um período mais longo e permite a eficiente oxidação.

A partir do sistema de combustão, o fluxo de gases segue através de dois tubos anidrona para remover a umidade; um controlador orienta o fluxo dos gases da amostra através da cela de detecção de infravermelho. A célula de carbono infravermelho - IR mede a concentração de gás carbônico. O aparelho converte estes valores para um valor percentual/ppm, utilizando uma equação predefinida no software que leva em conta o peso da amostra, calibração e valor de umidade conhecida.

3.4. TRATAMENTOS ESTATÍSTICOS

Segundo Costa Neto (2002), a estatística é a ciência que se preocupa com a organização, descrição, análise e interpretação dos dados experimentais, visando à tomada de decisões, subsidiando as escolhas. Pode ser dividida em Estatística Descritiva (organização e descrição dos dados experimentais) e Estatística Indutiva (análise e interpretação).

Medidas de posição são aquelas utilizadas para localizar a distribuição de frequências sobre o eixo de variação da variável em questão. A média é a medida mais utilizada e corresponde ao centro de gravidade da distribuição de frequências. Já as medidas de dispersão indicam o quanto os dados se apresentam em torno da região central (amplitude, variância, desvio padrão e coeficiente de variação). (COSTA NETO, 2002).

Em casos de mesma média para as distribuições amostrais de duas estatísticas, a que apresentar menor variância é chamado de estimador eficiente. (SILVA e SILVA, 1999, citando SPEIDEL, 1968). Dessa forma a variância se torna uma medida estatística importante, porém, ao fato de ser expressa em unidade diferente das observações, utiliza-se o desvio-padrão (raiz quadrada da estimativa de variância). Outra medida bastante utilizada é o Coeficiente de Variação (quociente entre o desvio-padrão e a média), que fornece uma maneira de se compararem as dispersões de variáveis quando as unidades são irredutíveis. (COSTA NETO, 2002).

A Inferência Estatística busca determinar uma afirmação sobre uma população utilizando dados amostrais. Dessa forma, os testes de hipótese determinam se os resultados experimentais provenientes de uma amostra contrariam ou não as afirmações sobre uma população, ou seja, os testes estatísticos de hipóteses fornecem uma metodologia que evidencia a veracidade ou não de uma hipótese (estatística) formulada. (BUSSAB e MORETTIN, 2002).

Em princípio, a construção de um teste de hipóteses para um parâmetro populacional, consiste em afirmarmos um valor verdadeiro sobre determinado parâmetro de uma variável associada a essa população; colhe-se uma amostra aleatória de elementos dessa população e com os dados amostrais comprova-se ou não a hipótese. A hipótese testada é chamada de hipótese nula ($H_0 : \theta = \theta_0$), e a hipótese aceitável, caso H_0 seja rejeitada é chamada hipótese alternativa ($H_1 : \theta \neq \theta_0$, ou $H_1 : < \theta_0$, ou $H_1 : > \theta_0$). (BUSSAB e MORETTIN, 2002).

A análise de variância é uma ferramenta que identifica as diferenças entre as médias populacionais de causas diversas que atuam simultaneamente sobre os elementos da população. (COSTA NETO, 2002). Bussab e Morettin (2002) relatam que a análise de variância inicia o estudo de comparação de médias em vários

grupos. Assim, quando a hipótese de igualdade é rejeitada, afirmamos então que existe pelo menos uma desigualdade e busca-se saber como ela ocorre.

A análise de variância busca saber até que ponto as diferenças observadas entre as médias dos tratamentos podem demonstrar a evidência de que um tratamento é estatisticamente diferente de outro que permita uma determinada tomada de decisão. O objetivo da análise de variância é comparar a variação devida aos tratamentos com a variação devida ao acaso ou resíduo. (VIEIRA E HOFFMAN, 1989).

Os experimentos com delineamento inteiramente casualizado (DIC) têm por característica o fato das repetições dos tratamentos serem atribuídas as parcelas sem nenhuma restrição, exigindo-se os princípios de repetição e casualização, em função das condições uniformes de experimentação, e são indicados para ensaios laboratoriais, casas de vegetação, viveiros de mudas, animais confinados, etc. (SILVA E SILVA, 1999).

A TABELA 3 demonstra a disposição dos dados para a Análise de Variância no Delineamento Inteiramente Casualizado – DIC.

TABELA 3 - DISPOSIÇÃO DOS DADOS PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (DIC)

FONTE DE VARIÇÃO	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO MÉDIO	F
Entre amostras (Tratamentos)	$SQ_{trat} = \frac{\sum T_i^2}{r} - C$	$k - 1$ onde: $k =$ número de tratamentos	$QM_{trat} = \frac{SQ_{trat}}{GL_{trat}}$	$F = \frac{QM_{trat}}{QM_{res}}$
Residual	$SQ_{res} = SQ_{tot} - SQ_{trat}$	$(n - 1) - (k - 1) = n - k$	$QM_{res} = \frac{SQ_{res}}{GL_{res}}$	
Total	$SQ_{tot} = \sum y^2 - C$	$n - 1$, onde: $n = k \cdot r$		

FONTE: ADAPTADO DE COSTA NETO(2002) E VIEIRA HOFFMAN (1989)

O Fator de Correção – C é dado pelo total geral elevado ao quadrado e dividido pelo número de observações:

$$C = \frac{(\sum y)^2}{n}$$

O resultado do F calculado é comparado com o F tabelado. O teste F, por ser de significância, indica apenas se as médias dos tratamentos diferem ou não estatisticamente. Assim, caso se rejeite H_0 o teste indica que há diferença significativa em ao menos duas médias.

Os resultados podem ser comparados com o teste de significância do tipo “ t ”, conforme publicada por Student em 1908, que demonstra a natureza da distribuição representada pelos valores obtidos pelo cálculo do quociente entre a média e o desvio padrão de múltiplas amostras, com o ajuste da tabela “ t ” em função do número de graus de liberdade da amostra. Assim “ t ” permite inferir que as médias são ou não diferentes estatisticamente.

O método da análise de variância pode ser visto como uma extensão ao teste t de student para amostras independentes. Como no teste t de amostras independentes, o método da ANOVA compara uma medida da magnitude da variabilidade observada em k amostras com uma medida da variabilidade entre as médias das k amostras. Porém o teste é indicado quando se tem mais que duas amostras.

Para fazer a ANOVA é preciso pressupor que:

- a) Os erros são variáveis aleatórias com distribuição normal de média zero;
- b) As variâncias são constantes;
- c) As observações são independentes.

Os testes paramétricos calculam as diferenças numéricas exatas entre os resultados, porém necessitam que: a variável tenha sido mensurada num nível mínimo intervalar, que a distribuição seja simétrica e que a característica estudada tenha distribuição normal em uma dada população.

Já os testes não paramétricos apenas consideram se certos resultados são superiores ou inferiores a outros resultados. São utilizados quando a curva de distribuição dos dados é assimétrica. São procedimentos estatísticos alternativos quando não se pode garantir a normalidade da distribuição dos dados. Os testes de Wilcoxon e Mann-Whitney equivalem aos testes t pareado e não pareado, respectivamente, que são utilizados quando há normalidade da distribuição dos dados.

Geraldo Maia Campos (1997) sugere que antes de qualquer análise estatística mais aprofundada se faça os testes de normalidade para verificar se a mesma trata-se de modelos paramétricos ou não-paramétricos, uma vez que há testes específicos para amostras dependentes ou independentes dos fatores de variação (TABELA 4):

TABELA 4 - ESQUEMA DAS SUBDIVISÕES DOS TESTES ESTATÍSTICOS MAIS UTILIZADOS NA PRÁTICA

TESTES ESTATÍSTICOS			
PARAMÉTRICOS		NÃO-PARAMÉTRICOS	
INDEPENDENTES	VINCULADOS	INDEPENDENTES	VINCULADOS
DUAS AMOSTRAS	DUAS AMOSTRAS	DUAS AMOSTRAS	DUAS AMOSTRAS
Teste <i>t</i> (Student)	Teste <i>t</i> (Student)	Mann-Whitney T. da Mediana X ² (2 x 2) Proporções Exato (Fisher)	Wilcoxon T. dos sinais Mac Nemar Binomial
MAIS DE DUAS	MAIS DE DUAS	MAIS DE DUAS	MAIS DE DUAS
Análise de variância	Análise de Variância	Kruskal-Wallis Mediana (m x n) X ² (m x n) Nemenyi	Cochran Friedman

FONTE: CAMPOS, G.M. (USP, 2002)

O teste de Mann-Whitney é uma variante do teste de Wilcoxon e consiste em teste não paramétrico para amostras independentes utilizados para testar hipóteses sobre a igualdade de médias ou medianas com distribuições desconhecidas. Ou seja, à medida que os valores ordenados das duas amostras se afastam, a probabilidade de pertencerem a uma mesma população diminui.

Já o teste de Wilcoxon é um teste não paramétrico para amostras vinculadas, utilizados para testar hipóteses sobre a igualdade de médias ou medianas de populações dependentes com distribuições desconhecidas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO:

O presente estudo foi realizado em uma pequena propriedade rural situada no município de Guarapuava, Estado do Paraná, localizado entre as coordenadas 25° 19' 30" S e 51° 23' 55" W, Terceiro Planalto Paranaense, em patamares médios de 1.083 metros.

A propriedade, denominada Sítio Paiol Velho, pertence ao Sr. Alfredo Maniz que, gentilmente, dispôs de sua propriedade para este e outros trabalhos de pesquisa florestal. A importância desta pequena propriedade, de área total de 26 hectares, reside no fato de ainda existirem fragmentos da Floresta Ombrófila Mista pouco antropizados.

Na propriedade é praticada a agropecuária de subsistência (pequenos cultivos de feijão, mandioca, milho e criação de bovinos). Do total da área, 14,0156 hectares foram recuperados com o plantio de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) (TABELA 5).

TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Mata recuperada com bracatinga	14,0136	53,28
Agricultura	8,3756	31,84
Capoeira	2,8767	10,93
Estradas	0,9342	3,55
Total	26,3078	100,00

FONTE: LIMA, T.E.O.(2009)

O relevo da propriedade é classificado como suave ondulado a plano, drenado pelo Rio das Mortes e Arroio Faxinalzinho. O clima é do tipo Cfb (subtropical úmido), na classificação de Köppen, o que caracteriza o clima subtropical com verões amenos, sem período seco e com chuvas distribuídas ao longo do ano.

Vestena e Thomaz¹ (2006; citado por LIMA, 2009) descrevem que na bacia do Rio das Pedras, fonte de abastecimento hídrico do Município de Guarapuava – PR, os tipos de solo característicos são: Latossolo, Cambissolo, Neossolo (litólico) e Gleissolo (hidromórfico), com inclusões de afloramentos rochosos. Sendo observado que grande parte dos solos da região são rasos (neossolos), e pouco desenvolvidos (cambissolo).



FIGURA 5 - SÍTIO PAIOL VELHO – DELIMITAÇÕES.
COORDENADAS: 25° 19' 30" S e 51° 23' 55" W
FONTE: GOOGLE EARTH (2011)

¹VESTENA, L. R.; THOMAZ, E. L. Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na bacia do rio das Pedras, Guarapuava-Pr. **Ambiência**, Guarapuava, n.1, v.2, p.73-85, 2006.

4.2. FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Segundo a proposta técnica do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas – IBGE para a identificação das fisionomias ecológicas brasileiras (ANEXO I), a área delimitada para a obtenção dos dados deste trabalho enquadra-se como Floresta Ombrófila. Mista – FOM

A primeira definição legal de “floresta” veio através da Portaria Nº 486, de 28/10/1986, do extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF, definindo floresta como sendo uma formação arbórea densa, de alto porte, que recobre áreas mais ou menos extensas; permanecendo um hiato na definição do termo “floresta”.

O termo “ombrófilo” tem origem grega (“ombrofilus”) cujo significado é “que gosta de chuva”, conforme citado por Veloso *et al.* (1991). O clima ombrófilo caracteriza locais sem um período biologicamente seco durante o ano, podendo ocorrer até dois meses de umidade escassa.

Como “mista” designa-se o encontro de duas floras distintas que ocorrem no Planalto Meridional brasileiro: a flora temperada Austro-brasileira e a flora tropical Afro-brasileira.(IURK, 2008).

A floresta ombrófila mista, integrante do Bioma Mata Atlântica, é também conhecida como mata das araucárias, e ocorre em maciços descontínuos de distribuições diversas nas Serras do Mar e Mantiqueira, e tem como característica a dispersão natural da *Araucaria angustifolia* (araucária) e outros gêneros primitivos como *Drymis* e *Podocarpus*, apresentando quatro formações distintas:

- Aluvial, em terraços antigos ao longo dos flúvios;
- Submontana: de 50 até mais ou menos 400 m de altitude;
- Montana, de 400 até mais ou menos 1000 m de altitude;
- Alto Montana, situada a mais de 1000 m de altitude.

(VELOSO, RANGEL FILHO E LIMA, 1991, pg 73)

Veloso *et al.* (1991) descrevem que a composição florística deste tipo de vegetação é dominada por gêneros primitivos australásicos (*Drymis* e *Araucaria*) e afroasiáticos (*Podocarpus*), sugerindo ocupações recentes a partir de refúgios alto montanos (FIGURA 6).

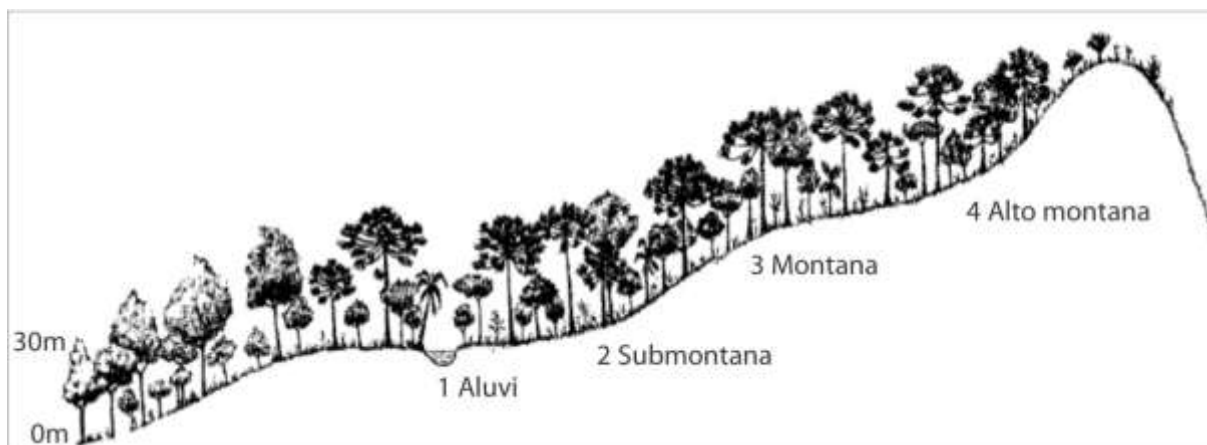


FIGURA 6 - PERFIL ESQUEMÁTICO DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (MATA DAS ARAUCÁRIAS)

FONTES: VELOSO, RANGEL Fº E LIMA - IBGE (1991), pg.74

Moscovich (2006) citando Klein (1960) e Hueck (1972) cita como áreas brasileiras de ocorrência de florestas com araucária os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e sul de São Paulo, com a ocorrência de áreas isoladas nos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais.

4.3. *Mimosa scabrella* Bentham – BRACATINGA

A bracatinga, *Mimosa scabrella* Bentham, se destaca pela abundância e por seu rápido crescimento principalmente em seus seis primeiros anos de vida. É pouco exigente quanto às condições físicas do solo, sendo uma espécie pioneira, de ciclo curto, característica e exclusiva de vegetações secundárias da Floresta Ombrófila Mista. Raramente é encontrada no interior de florestas primárias salvo em densos agrupamentos onde normalmente deve ter ocorrido algum tipo de abertura de clareira, provavelmente por sua forte característica heliófila em todas as fases de desenvolvimento, e pela necessidade do aquecimento pelo sol ou fogo para a quebra da dormência de suas sementes. (FABROWSKI, 1998; CARPANEZZI e outros, EMBRAPA, 1988).

Ocorre nos estados do sul do Brasil e São Paulo, em altitudes entre 500 a 1500 metros, em regiões de climas pluviais temperados, citado por Carpanezi e outros (EMBRAPA, 1988) sempre associado ao pinheiro do Paraná (*Araucaria angustifolia*), mas com área de abrangência mais restrita que a araucária.

Etimologicamente o nome vulgar da *Mimosa scabrella* B. tem origem guarani: “abaracaatinga” (indígena) e significa “árvore ou mata de muitas plumas brancas”, apresentando configurações botânicas bem descritas na literatura (ANEXO 3).

Em função de seu rápido crescimento, a bracatinga apresenta usos múltiplos, principalmente como fonte de energia na obtenção de biomassa, lenha e produção de carvão vegetal. Seu uso na construção civil e indústria moveleira se dão principalmente na formação de vigamentos e estruturas internas de móveis. O uso como madeira serrada ou torneada para a fabricação de móveis tem crescido em virtude de pesquisas sobre novas tecnologias de secagem e usinagem. (EMBRAPA, 1988).

O Manual Técnico da Bracatinga (Carpanezi e outros, EMBRAPA, 1988) cita outros usos da bracatinga: ornamental, melíferas, forrageira, medicinal, etc. e salientam a importante atuação dessa espécie na manutenção do ciclo do nitrogênio, promovendo o enriquecimento do solo.

Rochadelli (2001), estudando a estrutura atômica de fixação de carbono em reflorestamentos de *Mimosa scabrella* B. em idades entre 3 a 7 anos, obteve a variação entre 40 a 45% de concentração relativa do elemento carbono, com uma maior eficiência na fixação do elemento carbono para as classes dominadas.

4.4. OBTENÇÃO E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras foram obtidas aleatoriamente utilizando-se o método destrutivo (derrubada das árvores) com o abate de 36 árvores da espécie *Mimosa Scabrella* B. com remoção total das raízes.

Foram coletados discos de 5 cm no tronco a 1,3m de altura e da porção média da raiz.

Todas as amostras foram pesadas no campo em balança mecânica com precisão de 1g.

As amostras foram levadas ao Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal do Paraná – UFPR, para secagem do material em estufa de renovação e circulação de ar à temperatura de 70 °C até atingir o peso constante.

Na sequência, as amostras foram pesadas para a obtenção do peso seco e moídas em um moinho de facas com peneira Mash 30. As amostras obtidas foram acondicionadas em frascos de vidro e numeradas para posterior análise do teor de carbono.

Na TABELA 6 são apresentadas as informações coletadas à campo e os resultados obtidos após a preparação das amostras.

TABELA 6 - DADOS DE CAMPO E PESO SECO DAS AMOSTRAS DE *Mimosa scabrella* B.

AMOSTRA	DAP	PESO VERDE		PESO SECO	
		FUSTE (g)	RAIZ (g)	FUSTE (g)	RAIZ (g)
1	21,390429	2860	1100	1136,99	564,79
2	25,942261	3600	980	1276,78	484,63
3	21,008457	2460	560	902,2	255,12
4	18,780287	2100	550	784,76	246,53
5	10,822538	530	250	215,9	140,05
6	21,390429	3700	900	1497,01	387,5
7	25,942261	2270	750	923,96	330,27
8	21,008457	2000	450	764,58	207,3
9	18,780287	3000	800	1149,58	362,54
10	10,822538	3950	1300	1367,86	528,73
11	21,390429	920	270	480,15	257,34
12	25,942261	1250	320	501,36	164,92
13	21,008457	700	190	240,61	75,53
14	18,780287	1350	500	532,28	241,64
15	10,822538	1200	300	553,4	164,3
16	21,390429	750	680	698,26	337,4
17	25,942261	2570	500	1081,24	239,18
18	21,008457	2450	320	1021,16	159,2
19	18,780287	1700	560	682,29	304,62
20	10,822538	900	290	310,04	125,34
21	21,390429	4880	1600	2113,98	809,87
22	25,942261	1100	600	464,01	264,19
23	21,008457	960	320	392,68	160,59
24	18,780287	800	640	304,38	258,84
25	10,822538	1280	800	452,47	366,62
26	6,589016	150	130	71,11	78,66
27	7,0346499	200	50	101,62	21,16

Continua

TABELA 6 - DADOS DE CAMPO E PESO SECO DAS AMOSTRAS DE *Mimosa scabrella* B.

		Conclusão			
AMOSTRA	DAP	PESO VERDE		PESO SECO	
		FUSTE (g)	RAIZ (g)	FUSTE (g)	RAIZ (g)
28	4,7746493	81	48	32,8	21,09
29	3,5650715	40	35	16,28	21,18
30	2,3873246	13	7	5,51	2,84
31	1,3687328	4	3	1,97	1,43
32	10,122256	520	320	198,8	153,42
33	9,0081717	340	70	137,69	39,72
34	8,4352137	320	290	132,9	129,66
35	5,6659172	110	30	41,42	15,78
36	0,9549299	2	1	0,86	0,49

FONTE: O autor (2010)

4.5. ANÁLISES DE CARBONO

4.5.1. Análise de carbono - Combustão total (LECO C-144)

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Inventário Florestal para a análise de carbono através de método de combustão total, em analisador de carbono da marca Leco, modelo C-144.

O analisador de carbono Leco C-144, utilizado para a quantificação do carbono total desta pesquisa, tem por base a combustão total do carbono presente na amostra em câmara cerâmica, em presença de oxigênio e temperaturas em torno de 1000 °C durante cerca de 60 segundos. A partir do sistema de combustão, o fluxo de gases é medido através de um instrumento de infravermelho, controlado por um sistema computadorizado que identifica a queima completa da amostra e informa o respectivo teor de carbono concentrado e o converte para valores percentuais que são demonstrados em tela e gravados em arquivo.



FIGURA 4 - BALANÇA DE PRECISÃO. A seta indica o modelo de barca de cerâmica utilizada no equipamento para a combustão total da amostra.

FONTE: O autor (2010)



FIGURA 5 - MODELO DO APARELHO LECO C-144. As setas indicam as barcas em preparação, pesagem e local de entrada das barcas no equipamento

FONTE: O autor (2010)

4.5.2. Análise de carbono – Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR)

As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal do Paraná para análise sob a metodologia de espectroscopia de infravermelho próximo. Os espectros no infravermelho próximo foram coletados e analisados em espectrofotômetro TENSOR, Serie FT-NIR, da marca Bruker.

Os espectros fornecidos pelo equipamento foram obtidos entre os comprimentos de ondas de 4.000 a 10.000 cm^{-1} , com a calibração dos espectros utilizando os parâmetros obtidos na análise de combustão total.

4.6. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

As análises estatísticas descritivas foram realizadas e conferidas, com o objetivo de analisar as medidas de tendência central e medidas de dispersão, bem como verificar se, estatisticamente, há diferenças nos teores médios de carbono analisados pelas duas metodologias propostas (combustão total e espectroscopia de infravermelho próximo) para as variáveis fuste e raiz de *Mimosa scabrella* B.

Os tratamentos estatísticos utilizados para a análise foram:

- a) Teste de significância “*t*” (Student) para amostras independentes com curva normal (Shapiro-Wilk) – dados paramétricos. O teste foi aplicado para verificar a hipótese de que não há diferença entre as médias de teores de carbono de fuste e raiz para os resultados obtidos em metodologia analítica de combustão total. Foi aplicado a Análise de Variância (ANOVA) para conferir a diferença mesmo sendo apenas duas metodologias testadas.
- b) Teste de Mann Whitney Wilcoxon para dados não paramétricos independentes. O teste foi aplicado para verificar a hipótese de que não há diferença entre as médias dos teores de carbono de fuste e raiz para os resultados obtidos em metodologia analítica de espectrofotometria de infravermelho próximo (NIR), uma vez que os dados obtidos para a

variável raiz não tende à normalidade quando verificado pelo teste de Shapiro-Wilk.

- c) Teste de significância “ t ” (Student) para amostras dependentes com distribuições contínuas normais quando avaliadas por Shapiro-Wilk. O teste foi aplicado para a variável fuste a fim de verificar se há diferença entre os resultados de teores médios de carbono obtidos na metodologia de combustão total e de espectroscopia por infravermelho próximo.
- d) Teste de Wilcoxon para dados não paramétricos dependentes. O teste foi aplicado para a variável raiz a fim de verificar se há diferença entre os resultados dos teores médios de carbono obtidos nos dois métodos de análises de carbono.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk indicou que os resultados obtidos pelo método de combustão total para fuste e raiz seguiram a distribuição normal, já as amostras analisadas pela metodologia de infravermelho próximo apenas a variável fuste apresentou distribuição normal.

Para a realização dessa pesquisa foram utilizadas duas metodologias para análise de carbono, para fuste e raiz de *Mimosa scabrella* B., com trinta e seis repetições. As amostras foram obtidas aleatoriamente conforme descrito anteriormente na metodologia.

Na TABELA 7 são apresentados os percentuais de carbono das amostras obtidos através da metodologia de combustão total. Embora sejam parte da mesma árvore são tratadas como amostras contínuas independentes.

TABELA 7 - RESULTADO DA ANÁLISE DE CARBONO DAS AMOSTRAS DE *Mimosa scabrella* B. EM ANALISADOR LECO C-144

% DE CARBONO DAS AMOSTRAS OBTIDAS ATRAVÉS DE METODOLGIA DE COMBUSTÃO TOTAL – ANALISADOR LECO C-144		
AMOSTRA	% CARBONO FUSTE	% CARBONO RAIZ
1	43,983	44,156
2	43,909	44,425
3	43,984	45,291
4	44,177	44,131
5	43,626	44,034
6	44,551	45,526
7	44,969	45,581
8	44,615	44,053
9	44,644	44,762
10	44,355	44,807
11	42,331	45,976
12	45,117	46,897
13	43,467	45,157
14	43,483	45,005
15	43,443	45,176
16	43,263	44,621
17	44,301	46,019
18	44,022	44,652
19	44,924	46,673
20	43,173	42,519
21	44,164	45,146
22	43,642	44,529

Continua

TABELA 7 - RESULTADO DA ANÁLISE DE CARBONO DAS AMOSTRAS DE *Mimosa scabrella* B. EM ANALISADOR LECO C-144

			Conclusão
% DE CARBONO DAS AMOSTRAS OBTIDAS ATRAVÉS DE METODOLGIA DE COMBUSTÃO TOTAL – ANALISADOR LECO C-144			
AMOSTRA	% CARBONO FUSTE	% CARBONO RAIZ	
23	44,101	44,822	
24	42,542	44,195	
25	43,011	45,811	
26	43,255	43,994	
27	43,42	44,132	
28	42,586	44,475	
29	43,214	44,226	
30	43,48	41,72	
31	43,472	42,597	
32	43,609	43,556	
33	42,544	43,845	
34	43,746	44,481	
35	43,767	43,78	
36	43,666	43,982	

FONTE: Do autor (2010)

Os resultados da determinação do carbono orgânico através do método de combustão total (analisador Leco 144C) tiveram por média 43,7376% de carbono para fuste e 44,576% para raiz.

A aplicação do teste *t* de Student para avaliar os valores médios de carbono de fuste e raiz mensurados através do equipamento Leco C-144 revelou que há diferença significativa ao nível de confiança de 95%.

$$t \text{ calculado } |-3,959| > t \text{ tabelado } |1,9967|$$

Assim, se considerarmos H_0 : média fuste = média raiz, e H_1 : as médias são diferentes, temos como resultado:

- a) O teste de de comparação de médias *t* ($t = -3,959^{**}$) revelou que a hipótese de que as médias de carbono de fuste e raiz são iguais não é verdadeira.
- b) O teste ($t = -3,959^{**}$) demonstrou que existe diferença significativa entre as médias, e aceita H_1 a 1%^{**}.
- c) O teste ($t = -3,959^{**}$) indica que a média de carbono de fuste é menor que a média de carbono de raiz pela análise de combustão total.

A fim de conferir o resultado acima obtido foi feito o cálculo da ANOVA para Delineamento Inteiramente Casualizado, embora tenham apenas dois tratamentos. O resultado da ANOVA demonstrou que F calculado (15,6746) é maior que o F tabelado (3,98) ao nível de 5% de significância (TABELA 8), ou seja, as médias são diferentes.

TABELA 8 - RESULTADO DA ANOVA PARA MÉDIA DE TEORES DE CARBONO DE FUSTE E RAIZ AVALIADOS EM LECO C-144

FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
TRATAMENTO	1	12,66386689	12,66386689	15,67459331
RESÍDUO	70	56,55462089	0,807923156	
TOTAL	71	69,21848778		

Fonte: Do autor (2010)

Na TABELA 9 são apresentados os resultados médios de fuste e raiz obtidos pela análise do teor de carbono em amostras de *Mimosa scabrella* B. em espectrofotômetro Tensor Série FT-NIR.

TABELA 9 - RESULTADOS DOS % DE CARBONO DAS AMOSTRAS DE *Mimosa scabrella* B. EM ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR)

% MÉDIO DE CARBONO DAS AMOSTRAS OBTIDAS ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO – ESPECTROFOTÔMETRO TENSOR SÉRIE FT-NIR (BRUKER)		
Amostra	% Carbono Fuste	% Carbono Raiz
1	43,432	48,757
2	44,089	44,375
3	44,393	51,772
4	44,561	52,481
5	40,193	46,827
6	41,629	40,447
7	47,291	45,327
8	46,399	46,195
9	46,220	45,775
10	40,214	45,756
11	42,298	43,616
12	38,698	43,364
13	42,598	48,705
14	43,841	46,526
15	42,815	45,352
16	42,915	48,329

Continua

TABELA 9 - RESULTADOS DOS % DE CARBONO DAS AMOSTRAS DE *Mimosa scabrella* B. EM ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR)

Conclusão		
% MÉDIO DE CARBONO DAS AMOSTRAS OBTIDAS ATRAVÉS DA METODOLOGIA DE ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO – ESPECTROFOTÔMETRO TENSOR SÉRIE FT-NIR (BRUKER)		
Amostra	% Carbono Fuste	% Carbono Raiz
17	43,551	49,807
18	46,674	49,115
19	43,845	47,035
20	45,873	49,118
21	42,551	47,719
22	38,492	47,253
23	45,030	47,084
24	42,633	45,675
25	46,149	46,760
26	42,160	47,992
27	43,017	50,267
28	46,200	46,358
29	44,366	44,040
30	48,460	52,643
31	47,503	54,448
32	43,294	48,732
33	41,893	44,696
34	41,423	46,031
35	44,928	48,532
36	49,320	59,844

FONTE: Do autor (2010)

As médias dos teores de carbono para fuste e raiz nesta metodologia foram respectivamente 43,86% e 47,68%.

O teste de normalidade das médias revelou que o tratamento “raiz” em leitura de infravermelho próximo não segue a curva normal, o que impede o uso de testes estatísticos para dados paramétricos, para esta quantidade amostrada. O teste escolhido para a análise dos dados foi o de Mann-Whitney-Wilcoxon, uma vez que é uma alternativa não paramétrica ao teste *t* para a diferença de médias para amostras independentes.

TABELA 10 - RESULTADO DE ANÁLISE DO TESTE DE MANN-WHITNEY-WILCOXON

INFORMAÇÃO	VALOR
W	1074
P-valor	4,63832E-07

FONTE: Do autor (2010)

P-valor = 4,63832E-07 < 0,01, indicando que as diferenças entre as médias testadas são altamente significativas ao nível de significância $\alpha = 1\%$ (0,01).

Os resultados dos teores médios de carbono obtido em leitura de espectroscopia de infravermelho próximo permitiram avaliar que as médias diferem estatisticamente para fuste e raiz em nível de confiança de 95%.

Os resultados demonstram que:

- Ho: média de fuste = média de raiz, não é verdadeira em leitura por espectroscopia de infravermelho próximo.
- H₁: há diferença entre as médias, se aceita H₁. Evidenciando que as os teores de carbono de fuste e raiz são diferentes.

Os resultados da quantificação de carbono obtidos para as variáveis: raiz e fuste, nas duas metodologias podem ser observados nas TABELAS 11 e 12:

TABELA 11 - MÉDIA DOS TEORES DE CARBONO DE FUSTE SEGUNDO AS METODOLOGIAS DE COMBUSTÃO TOTAL E ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO

	MÉTODO	
	COMBUSTÃO TOTAL – LECO C-144	ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO - NIR
Média	43,7376667	43,860
Variância	0,4788	6,4211
Desvio Padrão	0,692	2,534
Erro padrão	0,1153	0,4223
Coeficiente de variação	1,62%	5,78%
Mínimo	42,331	38,492
Máximo	45,117	49,320

FONTE: Do autor (2010)

TABELA 12 - MÉDIA DOS TEORES DE CARBONO DE RAIZ SEGUNDO AS METODOLOGIAS DE COMBUSTÃO TOTAL E ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO

	MÉTODO	
	COMBUSTÃO TOTAL LECO C-144	ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO – NIR
Média	44,57644	47,68765
Variância	1,1369	12,3277
Desvio padrão	1,06628	3,51106
Erro padrão	0,1777	0,595182
Coeficiente de variação	2,39%	7,36%
Mínimo	41,72	40,447
Máximo	46,897	59,844

FONTE: Do autor (2010)

A média caracteriza o centro da distribuição de frequências, ou seja, seu centro de gravidade. (COSTA NETO, 2002).

As tabelas acima demonstram que embora a média e o desvio padrão não sejam inferências estatísticas mais adequadas para delimitar as diferenças entre as metodologias aplicadas, são resultados representativos dos dados e demonstram que a variável raiz apresenta maiores médias de teores de carbono para as duas metodologias testadas.

A maior variância dos dados para a variável raiz pode ter origem no processo amostral que, em virtude de sua aleatoriedade, não distinguiu a idade ou porte das árvores selecionadas.

Valério (2009) analisando teores de carbono em *Pinus elliotii* em um povoamento com idade de 1 a 25 anos obteve como resultado, no teste de Duncan a 95% de probabilidade, que não há, estatisticamente, diferenças entre os teores de carbono para raiz, galhos vivos e fuste. Porém, ao refazer o experimento com árvores em idades entre 15 e 25 anos, nas mesmas condições, os teores de carbono para fuste são inferiores aos teores de carbono para raiz.

Os resultados de Valério (2009) são concordantes com os que Rochadelli (2001) obteve ao estudar a estrutura de fixação de carbono em povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* B.) com idades entre 1 a 7 anos, quando concluiu que diferentes posições sociológicas apresentam diferentes concentrações dos constituintes fundamentais e acidentais da biomassa. Urbano (2007) referiu valores de carbono de 45,46% para folhas, 44,69% para casca, 44,13% para galhos

inferiores a 4 cm de diâmetro, 43,94% para galhos superiores a 4 cm de diâmetro e 43,68% para fuste.

Balbinot *et al.* (2008), em análise da dinâmica de carbono em plantações de *Pinus* spp, observaram um maior percentual de biomassa e carbono no fuste, aumentando à medida que a árvore cresce, podendo representar 70% do carbono fixado. Os autores salientam que o percentual total de carbono fixado por raízes de *Pinus* é decrescente à medida que a árvore cresce, variando de 35% em plantações com menos de 5 anos e 13% para árvores com mais de 15 anos.

Valério (2009) salienta que os estudos para quantificação de biomassa e carbono acumulado devem considerar a determinação dos teores do sistema radicular por serem expressivos e muitas vezes desprezados, citando valores que variam de 8,9% a 17,6% do total de carbono fixado pelas árvores em suas raízes.

Miranda (2008) obteve os dados de 107 árvores em amostragem aleatória (44 espécies) ao pesquisar modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal da Floresta Estacional Semidecidual e do Cerrado, no sudoeste paulista; resultando na seguinte relação de teores médios de carbono das espécies analisadas: 42,50% para folhagem > 41,92% para galhos > 40,82% para fuste > 40,09% para casca > 39,98% para raízes.

Análise de teores de carbono orgânico em *Araucaria angustifolia* realizados por Weber *et al.* (2003) em diferentes idades revelaram teores médios de 44,1% para fuste e 40,5% para raiz. Em contraponto, Weber *et al.* (2006) analisando os teores de carbono orgânico de seis espécies naturais do ecossistema da FOM obteve para a espécie *Mimosa scabrella* valores de 44,9% para folhagem > 41,9% para galho morto > 41,3% para fuste > 40,9% para galho vivo > 39,9% para miscelânea > 37,2% para casca.

Comparativamente Vieira *et al.* (2009) obteve teores médios de carbono de espécies da caatinga: 47,39% para folhagem > 44,60% para casca > 44,38% para raiz > 43,75% para fuste; diferente dos teores médios encontrados para espécies do cerrado: 43,24% para folhagem > 41,01% para fuste > 40,60% para casca > 40,09% para raiz.

Estudos de Weber *et al.* (2006) demonstram que a folhagem, em todas as espécies referenciadas em sua pesquisa, concentra os maiores teores de carbono orgânico quando comparado a outras partes das árvores (casca, fuste, galhos vivos, galhos mortos e miscelânea).

Outro ponto que deve ser analisado foi citado por Blum (2010) que utilizou metodologias de análise espectrofotométrica de ácidos húmicos de solos e identificou que o teor de carbono estocado no solo diminui à medida que aumenta a profundidade do solo em estudo. O autor cita que o potencial de sequestro de carbono dos solos florestais depende do tempo de decomposição da matéria orgânica florestal.

TABELA 13 – DADOS DO % DE CARBONO DE FUSTE OBTIDO PELAS DUAS METODOLOGIAS ANALISADAS:

AMOSTRA	%C FUSTE LECO C144	%C FUSTEe NIR
1	43,983	43,432
2	43,909	44,089
3	43,984	44,393
4	44,177	44,561
5	43,626	40,193
6	44,551	41,629
7	44,969	47,291
8	44,615	46,399
9	44,644	46,220
10	44,355	40,214
11	42,331	42,298
12	45,117	38,698
13	43,467	42,598
14	43,483	43,841
15	43,443	42,815
16	43,263	42,915
17	44,301	43,551
18	44,022	46,674
19	44,924	43,845
20	43,173	45,873
21	44,164	42,551
22	43,642	38,492
23	44,101	45,030
24	42,542	42,633
25	43,011	46,149
26	43,255	42,160
27	43,42	43,017
28	42,586	46,200
29	43,214	44,366
30	43,48	48,460
31	43,472	47,503
32	43,609	43,294
33	42,544	41,893
34	43,746	41,423
35	43,767	44,928
36	43,666	49,320

FONTE: Do autor (2010)

As duas médias de fuste obtidas pela leitura de combustão total e de infravermelho próximo têm distribuição normal. Por tratar-se de uma mesma amostra testada em duas metodologias de quantificação de carbono, o tratamento estatístico eleito foi o teste de diferença entre médias para dados pareados, obtendo-se o resultado apresentado na TABELA 14.

TABELA 14 - TESTE t PARA MÉDIAS DE AMOSTRAS DEPENDENTES (FUSTE) EM DOIS TRATAMENTOS:

INFORMAÇÃO	VALOR
T	-0,2777021
Graus de Liberdade	35
P-valor	0,78287489

FONTE: Do autor (2010)

Ao aplicar o teste de significância com a distribuição do tipo “ t ” para amostras dependentes na variável “fuste” em dois tratamentos (análise por combustão total em Leco C144 e análise por espectroscopia de infravermelho próximo) foi obtido o valor de $t = -0,2777021$ em comparação ao valor de $t_{\alpha 5\%} = 2,0525$ para $GL=35$, $\alpha = 5\%$ (intervalo de confiança 95%), compondo-se os seguintes resultados:

- O teste de comparação de médias t ($t = -0,2777021$) revelou que a hipótese de que as médias são iguais para os dois tratamentos (COT e NIR) é verdadeira para a variável fuste. As médias não são estatisticamente diferentes a $\alpha = 5\%$.
- O teste ($t = -0,2777021$) revelou que não existe diferença significativa entre as médias dos dois tratamentos para o fuste.
- P-valor ($0,78287489$) $> 0,05$, as diferenças entre as médias não são significativas ao nível de significância de $\alpha = 5\%$.
- O valor de $t = -0,2777021$, em sendo negativo, indicam que a média obtida dos teores de carbono de fuste em leitura pós-combustão total é menor que a leitura realizada pelo método NIR, mas a diferença não é significativa em $\alpha = 5\%$.

TABELA 15 - DADOS DO % DE CARBONO DE RAIZ OBTIDO PELAS DUAS METODOLOGIAS ANALISADAS:

AMOSTRA	%C RAIZ LECO C144	%C RAIZz NIR
1	44,156	48,757
2	44,425	44,375
3	45,291	51,772
4	44,131	52,481
5	44,034	46,827
6	45,526	40,447
7	45,581	45,327
8	44,053	46,195
9	44,762	45,775
10	44,807	45,756
11	45,976	43,616
12	46,897	43,364
13	45,157	48,705
14	45,005	46,526
15	45,176	45,352
16	44,621	48,329
17	46,019	49,807
18	44,652	49,115
19	46,673	47,035
20	42,519	49,118
21	45,146	47,719
22	44,529	47,253
23	44,822	47,084
24	44,195	45,675
25	45,811	46,760
26	43,994	47,992
27	44,132	50,267
28	44,475	46,358
29	44,226	44,040
30	41,72	52,643
31	42,597	54,448
32	43,556	48,732
33	43,845	44,696
34	44,481	46,031
35	43,78	48,532
36	43,982	59,844

FONTE: Do autor (2010)

Em face dos resultados para a variável raiz em leitura de espectrofotometria de infravermelho próximo não ter apresentado tendência à normalidade, optou-se pelo método estatístico de Wilcoxon para amostras dependentes, uma vez que se

trata de uma mesma amostra analisada sob duas metodologias laboratoriais diferentes.

TABELA 16 - TESTE DE WILCOXON PARA MÉDIAS DE AMOSTRAS DEPENDENTES (RAIZ) EM DOIS TRATAMENTOS:

INFORMAÇÃO	VALOR
W	594
P-VALOR	9,92764E-06

FONTE: Do autor (2010)

O resultado do teste demonstrou que:

- a) H_0 : média obtida por combustão total de amostra de raiz = média obtida por leitura de espectroscopia em infravermelho próximo, sendo P-valor ($9,92764E-06$) $< 0,05$, a hipótese de que as médias não são diferentes não é verdadeira.
- b) H_1 : há diferença entre as médias; H_1 , portanto, é verdadeiro em $\alpha = 5\%$, existindo evidências de diferenças entre a média dos dois tratamentos.

Projetos que tenham por objetivo estimar o carbono de ambientes florestais devem também relacionar outras fontes de acúmulo ou dispersão de carbono, como a dinâmica da serapilheira e do carbono do solo. Um dos aspectos fundamentais para a quantificação de carbono de ambientes florestais, em se considerando o ecossistema como um todo, deve levar em conta o balanço entre os processos que aumentam e diminuem o estoque de carbono orgânico dos solos, fortemente influenciados por fatores antropogênicos (a queima de biomassa, cultivos associados, conversão de ecossistemas para áreas agriculturáveis, etc.); Blum (2010) ressalta que em áreas florestais a maior quantidade de carbono do solo encontra-se em áreas superficiais (liteira).

No caso específico da bracatinga, Poggiani *et al.* (1987) observou teores mais elevados de carbono e nitrogênio em parcelas experimentais de bracatinga que outras espécies, em função da maior quantidade de folheto depositada (queda das folhas caducas), rápida decomposição do material vegetal que melhora a incorporação de nutrientes na camada superficial do solo e a forte simbiose com as bactérias do gênero *Rhizobium*, que fixam o nitrogênio atmosférico, enriquecendo o solo. Dessa forma, fica evidente a importância de estudos mais aprofundados sobre

a ciclagem dos nutrientes em ambientes florestais quando as quantificações de carbono tiverem por objetivo os projetos de sequestro de carbono.

A alternativa de análise química de identificação de teores de carbono Walkley Black, muito utilizada para análises de solo e adaptada para análise de outras matérias sólidas, têm bons padrões de confiabilidade, e são relativamente simples e de baixo custo. Porém, tem como fatores limitantes: exige grande experiência do laboratorista, a imprecisão pode ocorrer para materiais sólidos ou particulados quando não houver a digestão completa de algumas formas orgânicas, e o uso do cromo hexavalente que é uma substância altamente carcinogênica (fator este que tem reduzido muito a disponibilidade deste teste em laboratórios e a substituição do mesmo por análises mais tecnificadas – combustão total de amostras e leituras em espectroscopia de infravermelho próximo).

6. CONCLUSÃO

Em se considerando as consequências das ações humanas na biosfera, não há como questionar a importância dos estudos sobre a ciclagem do carbono. Principalmente no que se referem aos ambientes florestais onde as florestas, até que atinjam seu clímax, estarão continuamente acumulando mais carbono do que emitindo.

A realização de pesquisas e análises para a elaboração dessa dissertação permitiu concluir que:

- Os processos de medição de biomassa à campo e coleta de amostras para análise de carbono são agressivos ao meio ambiente quando se trata de coletas em metodologia amostral destrutiva, uma vez que o processo exige o tombamento das árvores amostradas e grande movimentação de terra.
- As análises estatísticas permitiram verificar que há diferença entre os teores médios de carbono e raiz, conforme os resultados obtidos em nível de confiança de 99%.
- A comparação das médias de carbono de fuste entre as duas metodologias estudadas (análise de combustão total em analisador Leco C144 e análise em espectrofotômetro Tensor Série FT-NIR) demonstraram que as médias não são diferentes ao nível de significância de 5%.
- A comparação das médias de carbono de raiz nas duas metodologias estudadas demonstrou que há diferenças entre as leituras realizadas pelo analisador Leco C144 e NIR. Em relação ao tipo de análise para a identificação do teor de carbono (combustão total e espectroscopia em infravermelho próximo), não há diferença significativa para a variável fuste em nível de confiança de 95%; mas os resultados demonstraram haver diferença para a variável raiz, indicando que a variação pode ter origem no procedimento analítico.
- A metodologia de espectroscopia de infravermelho próximo apresentou maiores coeficientes de variação. O que pode indicar que a utilização do valor médio dos resultados obtidos em diferentes padrões de infravermelho aumenta o valor do erro, assim deve ser realizado ajuste nos comprimentos de onda selecionados para a análise.

- Os valores médios de carbono obtidos por este trabalho de pesquisa foram: para fuste 43,74% (CT) e 43,86% (NIR) e para raiz 44,58% (CT) e 47,69% (NIR). Esses valores demonstram que para a bracatinga, sem considerar o fator idade, e nas condições do sítio amostral em questão, os valores médios de carbono de fuste são maiores que os valores médios de carbono de raiz. Os valores médios obtidos, independente da metodologia utilizada, encontram-se abaixo dos valores propostos para os projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (50% IPCC).

- Para a variável fuste a utilização de um processo de amostragem utilizando o Trado de Pressler, por exemplo, e análise laboratorial de carbono em espectroscopia de infravermelho próximo são indicadas por manterem a integridade das árvores amostradas e da amostra. Dessa forma, em virtude de não utilizar amostragem destrutiva nos ambientes florestais o processo estaria em conformidade ambiental e viabilizaria estudos em áreas de preservação.

7. RECOMENDAÇÕES

Os resultados e conclusões obtidos neste trabalho permitiram recomendar que:

- Os procedimentos e métodos analíticos são bastante específicos para cada espécie e sítio amostral devendo haver maiores pesquisas por espécie em sítios amostrais diferentes a fim de se ajustarem melhor os modelos matemáticos.
- Sejam realizadas mais pesquisas de correlação entre os teores de carbono das partes das árvores (raiz, fuste, galho, folhagem) por espécie e por dados alométricos e idade a fim de melhorar os modelos de quantificação.
- Pesquisas de metodologias não invasivas, como os analisadores de fotossíntese, tecnologia de uso de imagens, etc. devem ter prioridade para evitar a coleta de amostras por meios destrutivos.
- A utilização do Trado de Pressler para a coleta de amostras florestais para análise de teores de carbono é uma alternativa não agressiva e que deve ser utilizada em detrimento do sistema de amostragem destrutivo.
- O uso do método de análise de carbono por espectrofotometria em infravermelho próximo demonstrou ser interessante ao passo que não destrói as amostras para a leitura, é um processo mais barato que as análises de combustão total.
- Para a quantificação do carbono em ambientes florestais devem sempre ser considerados os níveis presentes nas raízes, além da quantificação dos folhedos, serapilheira e solo, dando mais credibilidade e confiabilidade à estimativa do carbono acumulado.

8. REFERÊNCIAS

BALBINOT, R.; VALERIO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V.W.; SILVESTRE, R. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp. em diferentes idades no sul do Estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 38, n. 2, abr./jun. 2008.

BLUM, H. **Ácidos húmicos de solos em diferentes formações florestais na Floresta Nacional de Irati**, PR. 49p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, Irati, 2010.

BROHAN, P., J.J. KENNEDY, I. HARRIS, TETT, S.F.B., JONES, P.D. Grid-box temperature anomaly (from the base period 1961-90). **East Anglia University's Climate Research**. Disponível em: <<http://colli239.fts.educ.msu.edu/2006/05/23/grid-box-1990/>> Acesso em: 20/12/2010

BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P.A. **Estatística básica**. Editora Saraiva, 5ª edição, 2002. São Paulo – SP.

CAMPOS, G. M. **Estatística prática para docentes e pós-graduandos**. Disponível em: <http://www.forp.usp.br/restauradora/gmc/gmc_livro/gmc_livro.html> Acesso em: 02/01/2011.

CARPANEZZI, A. *et al.* **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth)**. Curitiba: EMBRAPA, 1988, 70p. (Documentos, 20)

COSTA NETO, Pedro Luiz de O. **Estatística**. 2ª edição, São Paulo-SP: Editora Blücher, 2002.

DIAS, J.C. e LIMA, W.N. Comparação de métodos para a determinação de matéria orgânica em amostras ambientais. **Revista Científica da UFPA**, Vol.4. abril/2004. Disponível em: <<http://www.ufpa.br/revistaic>> Acesso em: 12/08/2010.

DUDA, G.P.; MONTEIRO, M.T.; SALVIANO, A.M., GUERRA, J.G. Comparação entre métodos colorimétricos e titrimétrico para determinação de carbono microbiano. **CAATINGA**, Mossoró-RN, v.18, n.1, p.52-57, jan/mar.2005.

FABROWSKI, Fernando José. **Abordagem anatômica, químico-qualitativa e botânica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) e suas variedades**

populares. 87 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Florestal), Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1998.

FRONDIZI, I. M. R. L. (Coord.) **O mecanismo de desenvolvimento limpo: guia de orientação 2009.** Rio de Janeiro, Imperial Novo Milênio.FIDES, 2009.

GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D.; BOEIRA, R.C.; TOLEDO, L.G. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2008, 50 p. (Documento 66)

HOSOKAWA, R.T.; MOURA, J.B. e CUNHA, U.S.; **Introdução ao manejo e economia de florestas.** Editora da UFPR. Curitiba, 1998.

HOSOKAWA, R. T.; HOSOKAWA, E. G. Fundamento científico do mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL): A lei dos efeitos acelerados da entropia. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICH, L.F.; BALBINOT, R. M.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (es). **As Florestas e o Carbono.** Curitiba: Editora da UFPR, 2002. p. 109-118.

HOSOKAWA, R.T., YAMAMOTO, H., ROCHADELLI, R., KLOCK, U., REICHER, F., BOCHICCHIO, R. Reforestation: the dynamics of safe, efficient CO₂ storage. **Nagoya Univ. For. Sci.**, Nagoya, v. 21, p.9-18. 2002.

HOSOKAWA, R., HOSOKAWA, E.. A lei dos efeitos acelerados da entropia e o limite no uso de recursos energéticos da biosfera. **FLORESTA**, América do Norte, 31, ago. 2004. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/2346/1960>>. Acesso em: 05/03/2010.

HOSOKAWA, R.T., ROCHADELLI, R., HOSOKAWA, E.S. **Vegetações arbóreas de ambientes fluviais.** 1ª Edição. Curitiba: Editora Hyogo, 2007. 1 CD-ROM.

IMAÑA-ENCINAS, José; SILVA, Gilson Fernandes da; PINTO, José Roberto Rodrigues. Idade e crescimento das árvores. **Comunicações técnicas florestais**, Brasília: Universidade de Brasília, v.7, n.1, 43 p., 2005.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC 1996a: Climate change 1995: The science of climate change-contribution of working group 1 to the IPCC **Second Assessment Report.** Cambridge Univ. Press. 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 23/03/2008.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE IPCC 2001a: Climate change 2001: The scientific basis-contribution of working group 1 to the IPCC **Third Assessment Report**. Cambridge Univ. Press. 2001. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 23/03/2008.

IURK, M. C. **Levantamento florístico de um fragmento de floresta ombrófila mista aluvial do rio Iguaçu, Município de Palmeira – PR**. 114p. Dissertação (Mestrado em Botânica), Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

KOEHLER, H.S., WATZLAWICK, L.F., KIRCHNER, F.F., VALÉRIO, A.F. Fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono fixado na floresta ombrófila mista. **Revista Biomassa & Energia**, v.s, n.1., p.69-77, 2005. Disponível em: <http://www.renabio.org.br/arquivos/p_fontes_mista_22113.pdf>. Acesso em: 22/08/2010.

KOEHLER, A. B. **Modelagem biométrica e morfometria em povoamentos jovens de *Araucaria angustifolia* (Bert.) KTZE., em Tijucas do Sul, Estado do Paraná**. 2009. 142 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2009.

KOTZ, J.C.; TREICHEL, P.M.; WEAVER, G.C. **Química geral e reações químicas**. Tradução da 6.a. edição americana. São Paulo – SP: Ed. Cengage Learning, 2009.

LECO Corporation. **C-144 carbon determinator specification sheet**, 2008. Disponível em: <<http://www.leco.com>>. Acesso em: 09/09/2010.

LEHNINGER, A.L., **Princípios de Bioquímica**, 4.a edição (David L. Nelson e Michael M. Cox). São Paulo – SP: Ed. Sarvier, 2006.

LEITE, C.M.B., BERNARDES, R.S., OLIVEIRA, S.A. Método Walkley-Black na determinação da matéria orgânica em solos contaminados por chorume. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.111-115, 2004. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em 04/03/2010.

LIMA, T. E. O. **Análise fitossociológica, da macrofauna edáfica e da biomassa em um trecho de floresta ripária no Município de Guarapuava, Paraná**. 120 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade**: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. 2ª edição. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2007..

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Status atual das atividades de projeto no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) no Brasil e no mundo**. Última compilação do site da CQNUMC: 09 de janeiro de 2010. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em 19/06/2010.

MIRANDA, L. C. **Modelos matemáticos de estoque de biomassa e carbono em áreas de restauração florestal no sudoeste paulista**. 114 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, 2008.

MOSCOVICH, F.A. **Dinâmica de crescimento de uma floresta ombrófila mista em Nova Prata, RS**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM-RS). Santa Maria, 2006.

ODUM, Eugene P. **Ecologia**. Rio de Janeiro – RJ: Editora Guanabara Koogan S.A., 1988.

POGGIANI, F.; ZAMBERLAN, E.; GAVA, I.C.; MONTEIRO JR., E. Quantificação da deposição de folhedos em talhões experimentais de *Pinus taeda*, *Eucalyptus viminalis* e *Mimosa scabrella* plantados em uma área degradada pela mineração do xisto betuminoso. **IPEF**, n.37, p.21-29, dez. 1987. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr37/cap03.pdf>>. Acesso em 05/06/2010

RAVEN, P.H., EVERT, R.F., CURTIS, H. **Biologia vegetal**. 2ª edição. Rio de Janeiro – RJ: Editora Guanabara Dois, 1985.

RICKLEFS, R.E. **A economia da natureza**. 5.a. edição. Rio de Janeiro-RJ: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2003.

RIFKIN, Jeremy. **Entropia**. São Paulo: Makron Books, 2000.

ROCHA, Marcelo Theoto. **O aquecimento global e os instrumentos de mercado para a solução do problema**. 2003. 196 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

ROCHADELLI, R. **A estrutura de fixação dos átomos de carbono em reflorestamento** (Estudo de caso: *Mimosa scabrella* Bentham, bracatinga). 2001. 86 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba – PR, 2001.

SANQUETTA, C.R., WATZLAWICK, L.F., BALBINOT, R., ZILIOOTTO, M.A.B., GOMES, **As florestas e o carbono**. Curitiba – PR: F.S. Editores Imprensa Universitária da UFPR, 2002.

SCHULTZ, T.P.; TEMPLETON, M.C.; MCGINNIS, G.D. **Rapid determination of lignocellulose by diffuse reflectance fourier transform infrared spetrometry**. Mississippi Forest Products Laboratory. An.. Chem, 1985, 57 (14), p. 2867-2869. Dezembro, 1985

SCHUMACHER, B.A. Methods for de determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. 25 p. **Environmental Sciences Division** NCEA-C-1282. EMASC-0001. Ecological Risk Assessment Support Center Office of Research and Development. US Environmental Protection Agency. National Exposure Research Lasboratory, Las Vegas, April.2002. Disponível em: <<http://www.epa.gov/esd/cmb/research/papers/bs116.pdf>>. Acesso em: 03/12/2010.

SEGNINI, A. et al . Estudo comparativo de métodos para a determinação da concentração de carbono em solos com altos teores de Fe (Latosolos). **Quím. Nova**, São Paulo, v. 31, n. 1, 2008. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422008000100020&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 05 Dec. 2010.

SELLE, G. L. Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais. **Bioscience Journal**. Uberlândia-MG, v.23, n.4, p.29-39. Out/Dez, 2007. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br>>. Acesso em: 27/04/2010.

SILVA, I. P., SILVA, J. A. A. **Métodos estatísticos aplicados à pesquisa científica: uma abordagem para profissionais da pesquisa agropecuária**. Recife: UFRPE, 1999.

SILVEIRA, P. **Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa**. Tese (Doutorado em ciências florestais). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR, 2008.

SILVEIRA, P., KOEHLER, H.S., SANQUETTA, C.R., ARCE, J.E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. 185-206 p. **Revista Floresta**, v. 38, n. 1, jan/mar 2008, Curitiba – PR, 2008.

SOMOGYI, Z.; CIENCIALA, E.; MÄKIPÄÄ, MUUKKONEN, P.; LEHTONEN A.; WEISS, P. 197-207 p. Indirect methods of large forest biomass estimation. **Europe Journal Forest Research**, Feb., 2006.

SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.; VAN WILEN, G.J. **Fundamentos da termodinâmica**. 6.a edição, São Paulo – SP: Ed Blucher, 2003.

SOUZA, J.S.; FERRÃO, M.F. Aplicações da espectroscopia no infravermelho no controle de qualidade de medicamentos contendo diclofenaco de potássio. Parte I: Dosagem por regressão multivariada. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, vol.42, n.3, jul/set., 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcf/v42n3/a13v42n3.pdf>>. Acesso em: 23/08/2010.

SPEIDEL, G. **Economia Florestal**. Imprensa da Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR, 1966.

TEDESCO, M. J.; GAINELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, J. S. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos da UFRGS, 174p. 1995. (Boletim Técnico, n. 5)

TOMASELLI, A. **Determinação de biomassa e carbono em povoamentos de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze em Caçador, Santa Catarina**. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Regional de Blumenau. Blumenau – SC, 2005.

URBANO, E. **Quantificação e estimativa da biomassa aérea e do carbono fixado em árvores de bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

VALÉRIO, A. F. **Quantificação e modelagem da biomassa e carbono em plantações de Pinus eliottii Eng. Com diferentes idades**. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade do Centro-Oeste. Irati-PR, 2009.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal**. 124p. Fundação Instituto Brasileiro

de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1991.

VIEIRA, G., SANQUETTA, C.R., KLÜPPEL, M.L.W., BARBEIRO, L.S.S. Teores de carbono em espécies vegetais da caatinga e do cerrado. **Acad., Ciências Agrár. Ambient.**, Curitiba – PR: v.7, n.2, p.145-155, abril/jun, 2009,.

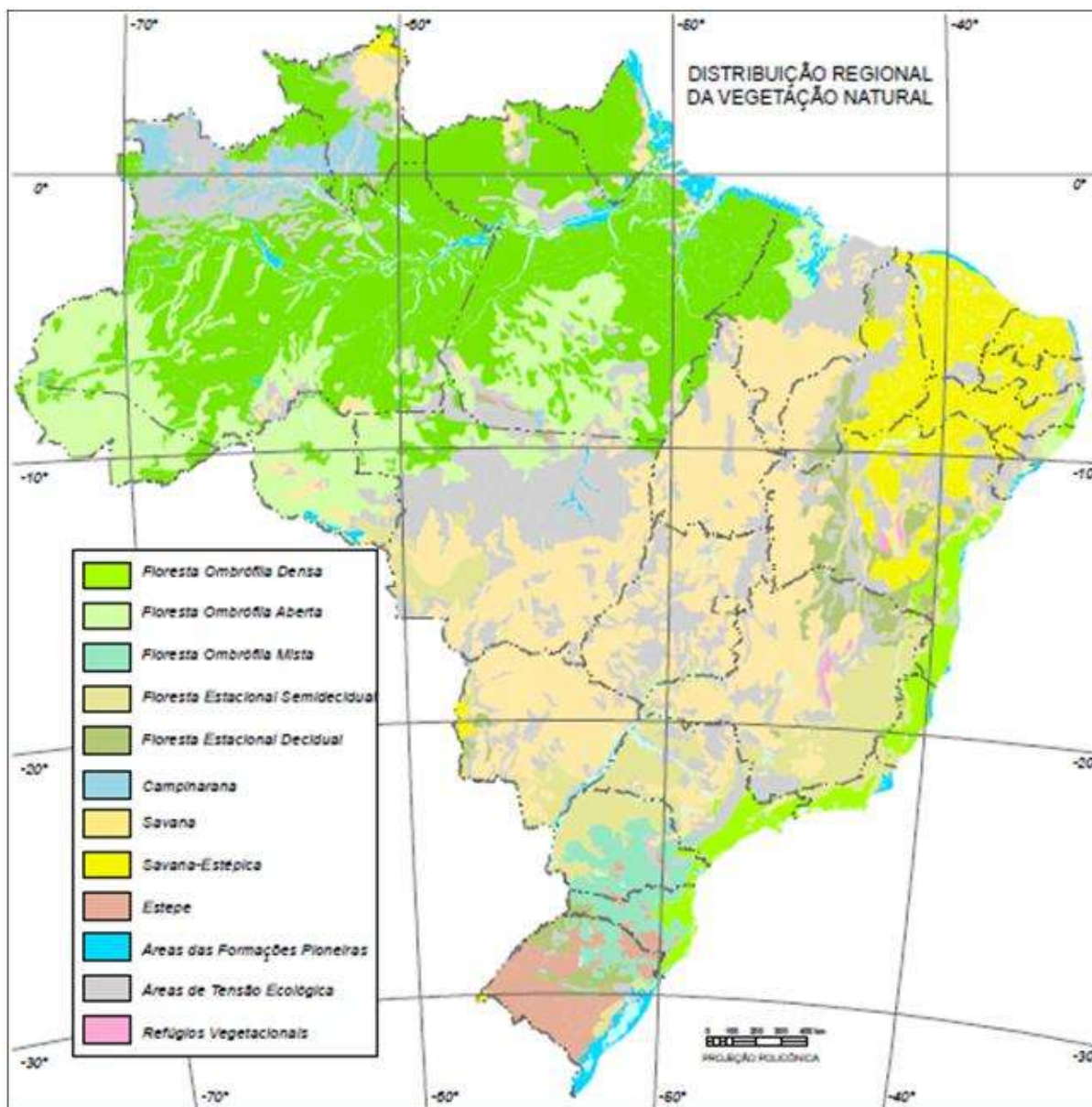
WATZLAWICK, L.F., SANQUETTA, C.R., ARCE, J.E., BALBINOT, R. Quantificação de biomassa total e carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze no Sul do Estado do Paraná, Brasil. **Revista Acadêmica: ciências agrárias e ambientais**, Curitiba, v.1, n.2, p.63-68, abril./jun.2003.

WEBER, K.S.; SANQUETTA, C. R.; MELLO, A. A.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R. Variação nos teores de carbono orgânico em povoamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., **Brasil Florestal**, Brasília, nº 76, p. 23-28, Brasília, 2003..

WEBER, K., BALBINOT, R., WATZLAWICK, L.F., SANQUETTA, C.R. Teores de carbono orgânico de seis espécies naturais do ecossistema da floresta ombrófila mista. **Revista Ambiência**, v.2., nº 2, p.167-177. Guarapuava – PR, jul/dez, 2006.

ANEXOS

ANEXO 1 – Distribuição Regional da Vegetação Natural proposta pelo IBGE (1991)



FONTE: VELOSO, RANGEL FILHO e LIMA – IBGE (1991)

ANEXO 2 – FICHA TÉCNICA LECO C144

Dados Técnicos

Alcance de instrumento a 350mg

Carbono 50 ppm ou 0,005% a 100%

Precisão

Carbono $\leq 1\%$ RSD ou ± 25 ppm

Calibração ponto único, múltiplos pontos (linear, quadrático ou cúbico polinomial)

Tempo de análise 90 segundos (nominal)

Tamanho da amostra 350 mg (para carvão)

Método de Detecção Infravermelho

Gás necessário Oxigênio, 99,5% pureza, 40 psi, 3,5 lpm (fluxo de expurgo); 2,5 lpm (fluxo analítico)

Forno 400° to 1450°C; 1350°C nominal

ANEXO 3 – CONFIGURAÇÕES BOTÂNICAS DA BRACATINGA

Características	Descrição
Sinônimos Botânicos	<i>Mimosa scabrella</i> G. Bentham (HOOKER 1842; MARTIUS 1876; BURKART 1948, 1952, 1964). <i>Mimosa bracaatinga</i> Hoehne (HOEHNE 1930) <i>Mimosa sordida</i> Bentham
Nomes Vulgares:	<i>Mimosa bracaatinga</i> Hoehne var. <i>aspericarpa</i> Hoehne. <i>Mimosa scabrella</i> Bentham var. <i>aspericarpa</i> (Hoehne) Burkart. <i>Mimosa secunda</i> Hoehne (BARNEBY 1991) <i>Mimosa verrucosa</i> Hoehne (BARNEBY 1991) Bracatinga, abracaatinga, bracatilho, paracaatinga, bracatinga-branca, bracatinga vermelha, bracatinga-argentina, maracatinga (Biguaçu-SC), anizeiro (MG), mandengo (Rezende-RJ)
Família	Leguminosae
Subfamília	A família Leguminosae compreende cerca de 650 gêneros e 18.000 espécies distribuídas em todos os habitats do planeta (excetuando-se as regiões mais geladas). Compreendem ervas anuais ou perenes, subarbustos, arbustos, lianas e árvores.
Árvore	Mimosoideae (ENGLER, 1964) Mimosaceae (CRONQUIST, 1988)
Tronco	Árvore perenifólia que pode atingir a média de 20m. Diâmetro à Altura do Peito – DAP até 40 cm quando adulta. Idade de corte entre 6 e 8 anos.
Ramificação	Alto e esbelto quando em maciços ou curto e ramificado quando em árvores isoladas.
Casca	Copa arredondada, paucifoliada, estratificada e umbeliforme variando de 1,5m de diâmetro em povoamentos até 10m quando isoladas. As ramificações simpodial, ramos pilosos e ligeiramente avermelhados quando jovens.
Folhas	Internamente rosada, de textura fibrosa e estrutura trançada. Externamente áspera com separação em pequenas escamas, de cor marrom-acastanhada quando jovem e acinzentada em evoluções mais tardias e frequentemente cobertas por fungos e líquens (manchas).
Inflorescências	Pecíolo piloso de base reforçada, folíolos pilosos, caducas; de configuração espacial composta, bipinada, paripinada, com 5 a 7 folíolos, alternas, espiraladas, com folhas de aproximadamente 6 cm com folíolos de 4,5 a 5mm de comprimento.
Frutos	Flores amarelas e dispostas em capítulos pedunculados globosos solitários de 6-7 mm de diâmetro, 1 a 3 por nó, axilares ou terminais ou racemos curtos.
Sementes	Frutos craspédios, legume seco deiscentes, segmentado transversalmente, unilocular que se separa na maturação. De 1,7 a 4,8cm de comprimento por 0,5 a 0,9cm de largura.
	Irregulares, comprimidas lateralmente com duas protuberâncias laterais.

FONTE: ADAPTADO DE FABROWSKI (1998) E CARPANEZZI ET AL, EMBRAPA (1988).