

# Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais



# Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais

Marcos Rüginitz Tito

Mario Chacón León

Roberto Porro



Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R. Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais -- 1. ed. -- Belém, Brasil.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 2009. 81 p.

1. Medição de carbono. 2. Biomassa. 3. Carbono orgânico. 4. Equações alométricas. 5. Projetos florestais.

A série Manuais Técnicos sintetiza implicações práticas e resultados de pesquisas e de projetos no marco da ciência agroflorestal que estejam aptos para serem disseminados. Além dos Manuais Técnicos, outras edições do Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) incluem Agroforestry Perspectives, Occasional Papers, e Working Papers.

© 2009 World Agroforestry Centre (ICRAF)

ICRAF Technical Manual no.11

World Agroforestry Centre – Amazon Regional Programme

ICRAF/ Consórcio Iniciativa Amazônica (IA)

Trav. Dr. Enéas Pinheiro S/N. Belém, PA. 66.095-780

Tel. e Fax: +55 (91) 3204-1108

E-mail: m.tito@cgiar.org

Website: <http://www.iamazonica.org.br/>

Para melhor refletir seu alcance global e uma agenda que integra pesquisa e desenvolvimento, em 2002 nossa instituição passou a ser designada como World Agroforestry Centre (Centro Mundial Agroflorestal). International Centre for Research in Agroforestry (Centro Internacional de Pesquisas Agroflorestais) e ICRAF permanecem respectivamente como nosso nome legal, e nosso acrônimo.

ISBN: 978-92-9059-248-8

Revisores técnicos: Álvaro Vallejo, Niro Higuhi, Lou Verchot.

Ilustrações: Joao Henrique Lopes de Souza

Fotografias: Marcos Rügnitz Tito e Mario Chacon León.

Colaborações fotograficas Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense, Sociedad Civil –CEDECO (foto capa), e Experiência do projeto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas, Grupo Ganaderia y ambiente – CATIE.

Desenho Grafico: Milton Hidalgo

Impressão:

Autoriza-se a reprodução desta publicação com finalidades educativas e outros fins não comerciais sem a prévia permissão escrita de quem detenha os direitos de autor contanto que se mencione a fonte.

Proíbe-se a reprodução desta publicação para venda ou para outras finalidades comerciais sem a prévia permissão escrita de quem detenha os direitos de autor.

O ICRAF certifica que, ao seu entender, a informação apresentada nesta publicação é verídica. As recomendações e tecnologias apresentadas devem ser consideradas como orientações que o usuário deve adaptar de acordo com as características específicas de sua localidade.

Esta publicação contou com recursos provenientes do apoio financeiro institucional proporcionado ao ICRAF pelos Governos da Dinamarca, Irlanda, Holanda, Noruega, Suécia, Estados Unidos, e Finlândia, assim como pela Mars Inc. A responsabilidade integral pelo conteúdo apresentado nesta publicação é contudo do ICRAF.

INTRODUÇÃO .....	ix
I. NOÇÕES BÁSICAS SOBRE O CICLO DO CARBONO .....	1
II. PLANEJAMENTO PARA DETERMINAÇÃO NO CAMPO DE ESTOQUES DE CARBONO .....	3
II.1. Definição da área de abrangência do projeto .....	4
II.2. Estratificação da área do projeto .....	6
II.3. Decisão sobre qual depósito de carbono medir .....	11
II.4. Determinação do tipo e número de parcelas de amostragem .....	13
II.4.a. Tipo de parcelas .....	14
II.4.b. Tamanho da parcela .....	14
II.4.c. Passos para determinar o número de parcelas .....	15
II.4.d. Passos para definir a localização e marcação dos limites das parcelas .....	18
II.5. Determinação da frequência de medições .....	20
II.6. Cuidados a serem tomados antes e durante a etapa de campo .....	21
II.6.a. Coleta e armazenamento das amostras .....	22
II.7. Medição de diâmetro e altura de árvores .....	22
II.7.a. Medição de diâmetro de árvores .....	22
II.7.b. Medição de altura de árvores .....	24
III. MEDIÇÃO E ESTIMACÃO DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO .....	28
III.1. Biomassa arbórea .....	28
III.1.a. Inventário de biomassa em plantações florestais .....	29
III.1.b. Inventário de biomassa florestal em capoeira e bosque natural e sistemas agroflorestais .....	31
III.1.c. Inventário de árvores dispersas .....	33
III.1.d. Cálculo do estoque de carbono na biomassa arbórea .....	34
III.2. Biomassa de vegetação não arbórea .....	35
III.3. Cálculo do estoque de carbono na biomassa acima do solo .....	37
III.4. Material e equipamentos para medição de biomassa de vegetação arbórea e não arbórea .....	37
IV. MEDIÇÃO DE BIOMASSA SUBTERRÂNEA .....	39
IV.1. Biomassa de raízes arbóreas .....	39
IV.2. Biomassa de raízes de vegetação não arbórea .....	39

V. MEDIÇÃO DE BIOMASSA EM MATÉRIA ORGÂNICA MORTA .....	41
V.1. Serrapilheira e detritos .....	41
V.2. Troncos caídos, árvores mortas em pé e tocos maiores de 10 cm de diâmetro. ....	41
VI. MEDIÇÃO DE CARBONO NO SOLO .....	44
VI.1. Carbono orgânico .....	44
VI.1.a. Métodos de laboratório para análises de carbono do solo .....	44
VI.1.b. Método para amostragens de solo em campo .....	44
VI.1.c. Profundidade das amostragens .....	44
VI.1.d. Coleta de amostras para medição de carbono orgânico .....	45
VI.1.e. Coleta de amostras para medição de densidade aparente .....	46
VI.2. Biomassa de raízes finas .....	47
VI.2.a. Coleta de amostras para medição de biomassa de raízes finas .....	47
VI.3. Material e equipamentos para medição de carbono orgânico e de raízes finas .....	48
VII. CÁLCULO DO CARBONO DA ÁREA DO PROJETO .....	49
VII.1. Cálculo de carbono para um determinado estrato .....	49
VII.2. Cálculo do incremento de carbono do projeto .....	49
VII.3. Cálculo do carbono equivalente (CO <sub>2</sub> e) .....	50
VIII. PROCEDIMENTOS PARA SELEÇÃO E GERAÇÃO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS DE BIOMASSA .....	51
VIII.1. O que é uma equação alométrica de biomassa? .....	51
VIII.2. Que tipos de equações alométricas existem? .....	52
VIII.3. Como selecionar uma equação alométrica para estimar biomassa? .....	53
VIII.4. Como desenvolver uma equação alométrica? .....	55
VIII.4.a. Procedimentos para o desenvolvimento de uma equação alométrica .....	55
VIII.4.b. Seleção de árvores .....	56
VIII.4.c. Medição de variáveis .....	57
VIII.4.d. Corte das árvores, separação de partes .....	57
VIII.4.e. Pesagem das partes .....	58
VIII.4.f. Secagem em laboratório .....	59
VIII.4.g. Determinação de biomassa seca .....	59
VIII.4.h. Geração de equação de biomassa .....	59
IX. RESUMO .....	63
X. BIBLIOGRAFIA .....	65

XI. ANEXOS .....	71
Anexo 1. Quadro de correção de inclinação .....	71
Anexo 2. Formulário de Inventário Florestal .....	72
Anexo 3. Formulário para coleta de informação de biomassa aérea .....	73
Anexo 4. Equações Alométricas para espécies agroflorestais .....	74
Anexo 5. Programas computacionais .....	75
Anexo 6. Transformações de equações alométricas .....	77
Anexo 7. Formato clinômetro de papel .....	79

## Lista de Caixas

Caixa 1. Protocolo de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo .....	ix
Caixa 2. Relação Biomassa - C - CO <sub>2</sub> .....	3
Caixa 3. Princípios básicos da amostragem .....	7
Caixa 4. Projeto MDL F/R de pequena escala .....	13
Caixa 5. Relação entre número de parcelas e grau de precisão .....	16
Caixa 6. Exemplo de cálculo de número de parcelas requeridas.....	17
Caixa 7. Cálculo de biomassa arbórea acima do solo utilizando equação alométrica genérica .....	29
Caixa 8. Cálculo do estoque de carbono na biomassa arbórea .....	34
Caixa 9. Cálculo do estoque de carbono em vegetação não arbórea .....	36
Caixa 10. Cálculo do estoque de carbono na biomassa acima do solo .....	37
Caixa 11. Equações alométricas para estimar a biomassa de raízes de bosques .....	39
Caixa 12. Cálculo do estoque de carbono na biomassa subterrânea .....	40
Caixa 13. Cálculo do estoque de carbono em troncos caídos .....	42
Caixa 14. Cálculo do estoque de carbono em biomassa de matéria orgânica morta .....	43
Caixa 15. Cálculo de carbono orgânico no solo .....	45
Caixa 16. Cálculo para determinar densidade aparente do solo .....	47
Caixa 17. Índice de Valor de Importância - IVI .....	56

## Lista de Quadros

Quadro 1. Descrição dos distintos tipos de depósitos de carbono .....	11
Quadro 2. Matriz de recomendações de depósitos de carbono a medir, por tipo de projeto. ....	12
Quadro 3. Exemplo de formulário com identificação de amostras de solo para orientar a análise de laboratório para determinar a densidade aparente utilizando trincheiras. ....	22
Quadro 4. Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (kg de matéria seca por árvore) em plantações florestais comerciais (monocultivo) .....	30

Quadro 5. Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (kg de matéria seca por árvore) em bosques naturais e capoeiras .....	32
Quadro 6. Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (kg de matéria seca por árvore) em árvores isoladas (dispersas) .....	33
Quadro 7. Equipamento e quantidade de pessoal necessário para amostragem de biomassa acima do solo .....	37
Quadro 8. Ferramentas necessárias para realizar inventários de carbono no solo .....	48
Quadro 9. Critérios de seleção de equações alométricas .....	54
Quadro 10. Parâmetros estatísticos de seleção de equações alométricas.....	61

## Lista de Figuras

Figura 1. Esquema do fluxo de carbono .....	1
Figura 2. Fluxo de carbono simplificado .....	3
Figura 3. Tipos de área de abrangência de projeto .....	5
Figura 4. Elaboração de mapa de forma conjunta com a comunidade .....	5
Figura 5. Elaboração de mapa durante o trajeto em campo .....	5
Figura 6. Exemplo de imagem de satélite .....	6
Figura 7. Exemplo de foto aérea .....	6
Figura 8. Ilustração de população, amostra e unidade amostral .....	7
Figura 9. Ilustração de população, amostra e unidade amostral utilizando como referencia uma floresta .....	7
Figura 10. Representação gráfica de diferenças entre exatidão e precisão .....	9
Figura 11. Exemplos de mapas de vegetação, solos e aptidão agrícola de uma determinada região .....	10
Figura 12. Exemplo de estratificação de um projeto .....	11
Figura 13. Representação de distribuição aleatória (lado esquerdo) e sistemática (lado direito) .....	19
Figura 14. Equipamentos utilizados para demarcar os limites das parcelas .....	20
Figura 15. Exemplo de armazenamento de amostras de solo .....	22
Figura 16. Medição correta de diâmetro. ....	23
Figura 17. Instrumentos de medição de diâmetro .....	23
Figura 18. Medição de diâmetro à altura do peito utilizando suta .....	24
Figura 19. Ilustração de diâmetro e circunferência .....	24
Figura 20. Medição com suta de uma árvore de secção não-circular .....	24
Figura 21. Clinômetros e hipsômetros comerciais .....	25
Figura 22. Medição de altura utilizando o clinômetro eletrônico Vertex .....	25
Figura 23. Medição de altura utilizando clinômetro de papel .....	25
Figura 24. Medição de distância da árvore .....	26
Figura 25. Ilustração sobre correção de inclinação .....	26



Figura 26. Observação e medição do ângulo á base da árvore utilizando clinômetro de papel .....	27
Figura 27. Observação e medição do ângulo ao topo da árvore utilizando clinômetro de papel .....	27
Figura 28. Cálculo das medições de altura .....	27
Figura 29. Ilustração sobre medição de altura .....	27
Figura 30. Corte de árvore em segmentos para medição de um tronco para desenvolvimento de equação alométrica .....	28
Figura 31. Plantações florestais comerciais de <i>Bombacopsis quinata</i> e <i>Tectona grandis</i> .....	29
Figura 32. Representação gráfica de formato de parcela para o inventário de capoeira e bosques .....	31
Figura 33. Medição de altura e diâmetro basal, plantação comercial de palmito ( <i>Bactris gasipaes</i> ), Costa Rica.....	33
Figura 34. Representação gráfica do formato de parcela circular para o inventário de árvores dispersas. ....	33
Figura 35. Exemplo ilustrativo da forma de arremessar aleatoriamente o marco, e a forma de coletar vegetação herbácea e gramínea em campo. ....	35
Figura 36. Trado para raízes .....	40
Figura 37. Medição do diâmetro do tronco caído .....	42
Figura 38. Diferentes tipos de trados .....	44
Figura 39. Parcela para amostragem de solo .....	45
Figura 40. Sequência tomada de amostra para densidade aparente em trincheira .....	46
Figura 41. Processo de peneiragem e lavagem de raízes finas em laboratório ....	47
Figura 42. Materiais e ferramentas para medição de carbono e raízes .....	48
Figura 43. Procedimentos para o desenvolvimento de equação alométrica .....	56
Figura 44. Medição do dap utilizando fita diamétrica .....	57
Figura 45. Corte da árvore .....	58
Figura 46. Medição do tronco segmentado .....	58
Figura 47. Pesagem de ramas cortadas .....	58
Figura 48. Linha de regressão e nuvem de pontos de pares de medições para a regressão alométrica simples $ht = f(dap)$ nos sajales dos bosques de guandal no delta do rio Patia, Pacifico sul colombiano. ....	60
Figura 49. Relação da biomassa total por árvore e o dap de 300 árvores de um bosque da reserva de biosfera Maya, Petén, Guatemala .....	62
Figura 50. Dispersão dos dados de biomassa aérea seca de cada componente e as curvas dos modelos selecionados em função do dap para <i>Calophyllum brasiliense</i> .....	62



Figura 51. Procedimentos para o planejamento de medições em campo .....	63
Figura 52. Diagrama dos procedimentos utilizados para a medição de biomassa e determinação de carbono nos componentes do sistema .....	64
Figura 53. Resultado gráfico de estoques de carbono em diferentes compartimentos .....	75
Figura 54. Módulo de Equações Silvia .....	75
Figura 55. Módulo seletor de metodologias MDL aprovadas .....	76
Figura 56. Módulo financeiro TARAM .....	76
Figura 57. Planilha para determinação de tamanho de amostras Winrock .....	77
Figura 58. A biomassa em função do diâmetro e a altura, sem e com transformação logarítmica. ....	77
Figura 59. Exemplo de gráfico de dispersão de resíduos sem e com anomalia ....	78

## Lista de acrônimos

CE - Comércio de Emissões

CRE's - Certificados de Redução de Emissões

CQNUMC - Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima  
(United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC)

GBP UTMUTF - Guia de Boas Práticas do Uso da Terra, Mudança do Uso  
da Terra e Florestas

GEE - Gases de Efeito Estufa (Greenhouse Gases - GHG)

IA - Consórcio Iniciativa Amazônica

IC - Implementação Conjunta

ICRAF - Centro Mundial Agroflorestal

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

(Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática)

MDL - Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (Clean Development  
Mechanism - CDM)

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

Intervenções produtivas que tenham como meta o sequestro de carbono têm o potencial de contribuir com a geração de renda em comunidades rurais e de produtores familiares. Quando realizadas de forma correta, ações voltadas ao sequestro de carbono, além de contribuir para a mitigação dos efeitos negativos de mudanças climáticas devem promover o uso sustentável dos recursos naturais e a melhoria do bem-estar de comunidades rurais. Tais intervenções ocorrem através da utilização de sistemas de uso da terra com maior produção de biomassa, e que resultam em estoques mais elevados de carbono. Com efeito, agricultores familiares e comunidades tradicionais podem de fato, desempenhar um serviço ambiental através de atividades florestais e agroflorestais que contribuam com o armazenamento de carbono. Contudo, até o momento tem sido irrisórios os benefícios financeiros recebidos por este segmento, resultantes do acesso a mercados de carbono.

Com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto em 2005, o mercado internacional de carbono passou a ser uma realidade jurídica e prática. Além do mercado associado ao cumprimento do Protocolo de Quioto, outros mecanismos (voluntários e paralelos) geram oportunidades para complementar receitas provenientes das atividades florestais através da renda derivada de certificados de créditos de carbono. Entretanto, as metodologias e procedimentos exigidos para comprovar a captura e armazenamento de carbono por projetos florestais são considerados restritivos, sendo que a maioria destes mercados ainda não negocia certificados originados a partir da redução de emissões por desmatamento e degradação.

## **Caixa 1. Protocolo de Quioto e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo**

O Protocolo de Quioto é um tratado internacional em vigor desde 2005 visando a redução da emissão dos gases que provocam o efeito estufa (GEE, ver seção I). O Protocolo determina que países desenvolvidos (considerados as Partes constituintes do Anexo I) devem reduzir pelo menos 5,2% de suas emissões de GEE em relação aos níveis de 1990, no período entre 2008 e 2012 (primeiro período de compromissos). Cada país signatário do Anexo I define suas metas individuais de redução. Países em desenvolvimento como o Brasil não pertencem ao Anexo I e, portanto, não têm a obrigação de reduzir suas emissões de GEE.

Três mecanismos de flexibilização auxiliam os países do Anexo I a atingirem suas metas de redução previstas no Protocolo: Implementação Conjunta (IC), Comércio de Emissões (CE) e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Destes três mecanismos<sup>1</sup>, apenas o MDL tem aplicabilidade em países em desenvolvimento. Tal mecanismo permite que países Parte do Anexo I possam financiar ou desenvolver projetos de redução de GEE (eficiência energética ou seqüestro de carbono) fora de seu território. As reduções de emissões resultantes da atividade de projeto são contabilizadas na forma de Certificados de Redução de Emissões (CREs)<sup>2</sup> e negociadas em mercados internacionais. Para isso, as reduções de emissões devem ser adicionais às que ocorreriam na ausência da atividade certificada do projeto, e trazer benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo, relacionados com a mitigação da mudança do clima. Além de reduzir as emissões de GEE, o MDL visa promover a sustentabilidade em geral, principalmente nos países em desenvolvimento.

Tais limitações para acessar mercados de carbono tornam-se ainda maiores no caso de pequenos e médios produtores rurais que desconhecem o potencial para seqüestro de carbono de suas áreas, assim como as modalidades de projetos e componentes elegíveis para cada tipo de mercado, e os procedimentos necessários para negociar créditos de carbono nos respectivos mercados. Nesse sentido, considera-se que os principais desafios que limitam a adoção de intervenções para viabilizar o acesso de agricultores e comunidades rurais aos mercados de carbono incluem: (1) a necessidade de mecanismos para uma correta quantificação e monitoramento de estoques de carbono; (2) o insuficiente conhecimento de técnicas e práticas de manejo agroflorestal e agroecológico; (3) políticas públicas inadequadas para promover tais investimentos; (4) o tamanho mínimo recomendado para viabilizar financeiramente um projeto de carbono e a dificuldade de agrupar pequenos produtores em projetos de escala adequada; e (5) a inexistência de instituições e mecanismos que promovam vínculos equitativos destes produtores com mercados de carbono.

A falta de acesso a métodos precisos e de baixo custo para a quantificação e monitoramento de estoques de carbono de fato constitui-se num dos principais obstáculos para a implementação de projetos voltados à inserção de comunidades de produtores familiares nos mercados de carbono. Alguns dos reservatórios de carbono em projetos florestais e agroflorestais são de mensuração difícil ou custosa, como é o caso do solo e de raízes arbóreas, o que frequentemente impede sua utilização, resultando na subestimação dos estoques. A maioria dos métodos, além de custosos e de demandarem muito tempo, inclusive de técnicos qualificados, foram concebidos para situações de monocultivos florestais comerciais, ou para

---

<sup>1</sup> O Comércio de Emissões e a Implementação Conjunta possibilitam a um país signatário do Anexo I contabilizar redução de emissões de outro país através de compra e venda de títulos gerados por essas atividades, respectivamente, a Unidade de Redução de Emissões (ERU) ou a Unidade Permitida de Reduções (AAU).

<sup>2</sup> Um CRE corresponde a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), calculada a partir do uso dos potenciais de aquecimento global.

pequenos lotes homogêneos individuais. Em muito menor intensidade tem sido delineados métodos adequados às situações de extensas paisagens heterogêneas que caracterizam a agricultura familiar, particularmente na Amazônia. Abordagens participativas para a quantificação de estoques de carbono associadas a técnicas eficazes no monitoramento em escala de paisagem são necessárias para a redução dos custos e para uma maior atratividade desta categoria de projetos.

Levando em conta tais considerações, esta publicação representa um esforço inicial para contribuir na superação deste desafio, realizado pelo Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) no âmbito do Consórcio Iniciativa Amazônica. A publicação consiste num guia prático para técnicos e agentes de desenvolvimento envolvidos em projetos que promovem a inserção de comunidades rurais e produtores familiares em mercados de carbono, com ênfase para a região Amazônica. A publicação é baseada nas recomendações do Guia de Boas Práticas do Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (UTMUTF), no Sourcebook para UTMUTF e Projetos Florestais produzido pelo BioCarbon Fund do Banco Mundial e Winrock, e nas experiências de campo do Grupo Ganadería y Ambiente (CATIE). O guia apresenta os procedimentos utilizados para a medição em campo de biomassa e carbono orgânico do solo. Tais procedimentos são necessários para a determinação da situação inicial (linha de base) quanto aos estoques de carbono, assim como para o monitoramento dos mesmos ao longo da implementação de ações voltadas ao seqüestro de carbono, comparando-os à situação que ocorreria sem considerar a intervenção do projeto. Os procedimentos e protocolos apresentados neste manual podem ser posteriormente integrados a softwares e utilização de sensoriamento remoto, que permitirão maior rapidez e eficiência nos processos de monitoramento de carbono utilizados por agências públicas e investidores privados.

A primeira seção do manual apresenta noções básicas sobre o ciclo de carbono. Na segunda seção descrevem-se os cinco procedimentos necessários para o planejamento de medições em campo de biomassa e carbono orgânico do solo. Posteriormente, são apresentados os procedimentos para a medição das cinco modalidades de depósitos (reservatórios) de carbono presentes na biomassa acima do solo, matéria orgânica morta e matéria orgânica do solo. Na última seção apresenta-se os procedimentos para a seleção e geração de equações alométricas de biomassa. Na seção de anexos proporcionam-se os formulários para registrar os dados de campo e indicações de programas computacionais de utilidade para projetos que têm como objetivo a obtenção de certificados de crédito de carbono.

Neste momento em que a utilização sustentável de áreas abertas na Amazônia adquire caráter de urgência, espera-se que esta publicação possa ser de uso efetivo para associações de produtores, comunidades e demais grupos informais engajados na busca de alternativas agroflorestais para a melhoria de seu bem-estar.

# I. NOÇÕES BÁSICAS SOBRE O

## CICLO DO CARBONO

O carbono é o elemento químico fundamental dos compostos orgânicos, que circula através dos oceanos, da atmosfera, do solo, e subsolo. Estes são considerados depósitos (reservatórios) de carbono. O carbono passa de um depósito a outro através de processos químicos, físicos e biológicos.

A atmosfera<sup>3</sup> é o menor e o mais dinâmico dos reservatórios do ciclo do carbono. Entretanto, todas as mudanças que ocorrem neste reservatório têm uma estreita relação com as mudanças do ciclo global de carbono (Figura 1) e do clima. Grande parte do carbono presente na atmosfera ocorre na forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ , também conhecido como gás carbônico). Em menor proporção, o carbono atmosférico apresenta-se na forma de metano ( $\text{CH}_4$ ), perfluorcarbonetos (PFCs) e hidrofluorcarbonos (HFC). Todos estes são considerados Gases do Efeito Estufa (GEE)<sup>4</sup>, que contribuem para o equilíbrio térmico da terra. Qualquer atividade relacionada ao uso do solo que modifique a quantidade de biomassa na vegetação e no solo tem o potencial de alterar a quantidade de carbono armazenada e emitida para a atmosfera, o que influencia diretamente a dinâmica do clima da terra.



**Figura 1.** Esquema do fluxo de carbono

<sup>3</sup> A atmosfera é uma camada, constituída de vários gases, que envolve o planeta. Os principais gases são o nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e o oxigênio ( $\text{O}_2$ ) que, juntos, compõem cerca de 99% da atmosfera. Alguns outros gases encontram-se presentes em pequenas quantidades, incluindo os denominados Gases de Efeito Estufa (GEE). Dentre estes, estão o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o metano ( $\text{CH}_4$ ), o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), perfluorcarbonetos (PFCs), hidrofluorcarbonos (HFC), e o hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ).

<sup>4</sup> O efeito estufa é um processo que ocorre quando uma parte da radiação solar refletida pela superfície terrestre é absorvida por determinados gases presentes na atmosfera. Como consequência, o calor fica retido, não sendo liberado ao espaço. O efeito estufa é de vital importância, pois sem ele o planeta congelaria. Entretanto, o excesso da concentração de GEE causa o aquecimento global.

A troca de carbono entre o reservatório terrestre e o atmosférico é o resultado de processos naturais da fotossíntese e respiração, e da emissão de gases causados pela ação humana. A captura de carbono através da fotossíntese ocorre quando as plantas absorvem energia solar e  $\text{CO}_2$  da atmosfera, produzindo oxigênio e hidratos de carbono (açúcares como a glicose), que servem de base para seu crescimento. Através deste processo as plantas fixam o carbono na biomassa da vegetação, e consequentemente constituem, junto com seus resíduos (madeira morta e serapilheira), um estoque natural de carbono. O processo inverso ocorre com a emissão de carbono através da respiração das plantas, animais, e pela decomposição orgânica (forma de respiração das bactérias e fungos). A esta somam-se as emissões de GEE devido ao desmatamento, incêndios, gases industriais, e queima de combustíveis: ações antrópicas que contribuem com o desequilíbrio do ciclo de carbono.

O carbono presente no solo está amplamente relacionado ao processo de decomposição da biomassa pelas atividades bacterianas. Parte do carbono presente no solo volta à atmosfera através do processo de mineralização do carbono orgânico. De forma natural, outra parte do carbono orgânico é levada pelos rios até chegar aos oceanos, onde se deposita sob a forma de carbonatos ( $\text{CO}_3$ ). Este processo também pode ser acentuado pela ação humana. A troca de carbono entre o reservatório oceânico e o atmosférico ocorre através de processos químicos que estabelecem um equilíbrio entre as camadas superficiais dos oceanos e as concentrações no ar acima da superfície. A quantidade de  $\text{CO}_2$  que o oceano absorve depende da temperatura do mesmo e da concentração já presente, sendo que temperaturas mais altas da água podem causar a emissão de  $\text{CO}_2$ .

## II. PLANEJAMENTO PARA DETERMINAÇÃO NO CAMPO DE ESTOQUES DE CARBONO

O inventário de biomassa é um requisito básico para desenvolver projetos que tenham como objetivo a obtenção de certificados de crédito de carbono. O inventário quantifica o armazenamento de carbono em diferentes depósitos<sup>5</sup> presentes em distintos usos da terra ou ecossistemas, permitindo também medir o impacto de um determinado projeto na remoção (seqüestro) do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente na atmosfera, através de sua fixação na biomassa existente (Figura 2).

### Caixa 2. Relação Biomassa - C - CO<sub>2</sub>

Uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas (t) de CO<sub>2</sub> (obtido em razão dos pesos moleculares do carbono e do CO<sub>2</sub>, de 12 / 44). Para saber a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido ou armazenado a partir da quantidade carbono de um determinado depósito deve-se multiplicar esta por 3,67. Por sua vez, uma tonelada de biomassa florestal possui aproximadamente 0,5 tonelada de carbono. Resumindo:

<b>1 t biomassa</b>	<b>+/- 0,5 t C</b>
<b>1 t C</b>	<b>3,67 t de CO<sub>2</sub></b>



**Figura 2.** Fluxo de carbono simplificado

Para realizar o inventário no âmbito de um projeto de carbono é necessário identificar uma metodologia que contemple o levantamento do “cenário de referência”, no qual não se considera a intervenção causada pelo projeto (também conhecido como

<sup>5</sup> Os depósitos também são usualmente denominados de “reservatórios”



“linha de base<sup>6</sup>”), e as práticas de monitoramento<sup>7</sup>. A metodologia a ser selecionada deve estar de acordo com as exigências do agente comprador (mercado) com o qual se pretende negociar os créditos de carbono, assim como com as diretrizes e regras nacionais e internacionais. No Brasil, para o caso do mercado estabelecido pelo MDL, os procedimentos e informações necessárias podem ser consultados no “Manual para Submissão de Projetos de MDL para aprovação da Comissão Interministerial de Mudança Global do Clima<sup>8</sup>”.

Nesta seção serão apresentados cinco procedimentos básicos recomendados por Pearson et al. (2005) necessários para o planejamento de medições em campo de biomassa e carbono orgânico do solo:

1. Definição da área de abrangência do projeto;
2. Estratificação da área do projeto;
3. Decisão sobre quais depósitos de carbono medir;
4. Determinação do tipo e número de parcelas de amostragem;
5. Determinação da frequência de medições.

## **II.1. Definição da área de abrangência do projeto**

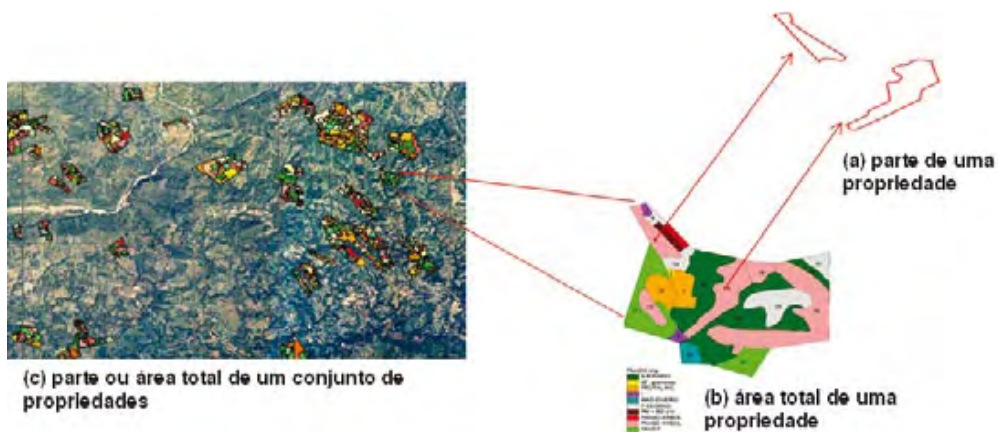
4

Em termos gerais, um projeto com vistas à obtenção de certificados de crédito de carbono apresenta três possibilidades quanto à sua área de abrangência: (a) pode abranger uma parte, ou (b) a área total de uma propriedade rural; ou (c) abranger parte ou área total de um conjunto de propriedades, podendo ocorrer em áreas contínuas ou fracionadas.

---

<sup>7</sup> O monitoramento é realizado através de medições periódicas que avaliam e descrevem mudanças nos diferentes componentes do projeto.

<sup>8</sup> [http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0025/25268.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0025/25268.pdf)



**Figura 3.** Tipos de área de abrangência de projeto

Fonte: Experiência do projeto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas, CATIE.”

Para definir a abrangência de um determinado projeto é necessário contar com mapas das áreas onde se pretende estabelecer o mesmo. Num primeiro momento, o mapeamento pode ser realizado manualmente e de forma conjunta com os produtores que serão beneficiados pelo projeto (Figura 4). Também, pode ser realizado diretamente em campo (Figura 5).



**Figura 4.** Elaboração de mapa de forma conjunta com a comunidade

Fonte: Adaptado de Carvalheiro et al. 2008.



**Figura 5.** Elaboração de mapa durante o trajeto em campo

Fonte: Experiência do projeto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas, CATIE.”

Numa etapa posterior ao mapeamento realizado manualmente e de forma conjunta com os produtores é necessário definir os limites (perímetro de cada área) através do georeferenciamento, utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG<sup>9</sup>) e Cartografia, tais como aparelhos GPS<sup>10</sup>, interpretação de imagens de satélites (Figura 6) ou fotos aéreas (Figura 7).



**Figura 6.** Exemplo de imagem de satélite  
Fonte: ENGESAT 2008



**Figura 7.** Exemplo de foto aérea  
Fonte: Embrapa Meio Ambiente 2008

## II.2. Estratificação da área do projeto

As áreas de um projeto são normalmente heterogêneas em termos de microclima, tipo e condição de uso do solo, cobertura e estados de conservação e perturbação da vegetação, o que pode resultar em distintas quantidades de biomassa (estoque de carbono) para cada uma destas sub-áreas. Desta forma, é necessário estratificar a área do projeto, permitindo a expressão de tais diferenças. A estratificação, ou definição de sub-áreas que representem a tipologia existente de acordo com sua participação proporcional, aumenta a exatidão e precisão da amostragem.

Em algumas ocasiões, dependendo das exigências do mercado de créditos de carbono (comprador, certificadora), assim como do estado de diversificação das propriedades, não será necessário a estratificação de pequenas unidades produtivas, realizando-se a estratificação a uma escala de projeto (ex. entre diferentes tipos de unidades produtivas).

---

<sup>9</sup> O Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser definido como sendo um conjunto de módulos computacionais utilizados para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais sobre o mundo real para um conjunto particular de objetos (Burrough 1986).

<sup>10</sup> Sistema de Posicionamento Global, vulgarmente conhecido por GPS, pelo acrónimo do inglês Global Positioning System.

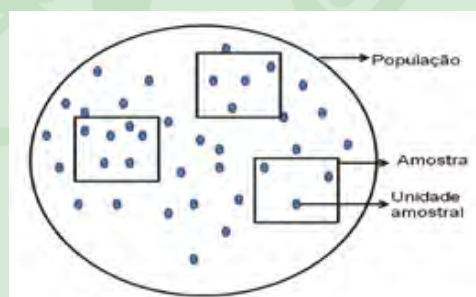
### Caixa 3. Princípios básicos da amostragem

Na determinação do estoque de carbono é praticamente impossível medir toda biomassa presente neste, seja por motivos de limitações de tempo, recursos econômicos, ou restrição na locomoção para registro dos dados.

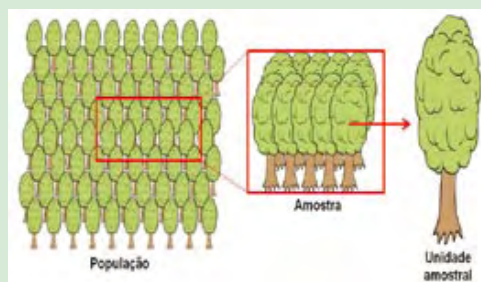
Portanto, recorre-se à técnica de amostragem, onde um sistema pré-estabelecido de amostras é considerado idôneo para representar o universo pesquisado (população), com margem de erro amostral aceitável (normalmente de  $\pm 10\%$ , ver seção II.4.c.). De forma mais simples, amostragem é o processo pelo qual se obtém informação sobre um todo (população), examinando-se apenas uma parte do mesmo (amostra). Define-se amostra como um subconjunto de indivíduos, denominados unidades amostrais, apresentando características comuns que identificam a população a que pertencem (Figura 8).

Com isso, define-se como população um conjunto de indivíduos que apresentam determinadas características em comum, localizados em uma determinada área, num espaço de tempo definido para o estudo. No nosso caso a população pode tanto ser uma unidade produtiva (fazenda, sítio, etc.), um conjunto destas, ou unidades de paisagem (como uma floresta, plantação, etc.). A amostragem proporciona meios para projetar a informação medida ao nível geográfico selecionado. Por exemplo, a medição de carbono na biomassa de árvores de uma determinada floresta pode ser estimada a partir do inventário florestal utilizando um número limitado de parcelas de amostragem (Figura 9).

Existem dois métodos para obtenção da amostra: probabilístico e não probabilístico. Na amostragem probabilística as unidades amostrais são escolhidas por mecanismos de sorteio, e cada unidade amostral possui a mesma probabilidade de



**Figura 8.** Ilustração de população, amostra e unidade amostral



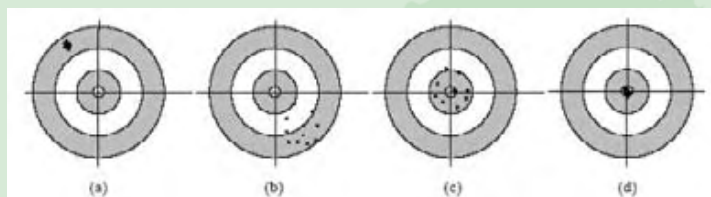
**Figura 9.** Ilustração de população, amostra e unidade amostral utilizando como referencia uma floresta

ser selecionada. Na amostragem não probabilística a variabilidade amostral não pode ser estabelecida com precisão pois não se conhece a probabilidade de cada unidade amostral pertencer à amostra. Isto faz com que algumas unidades tenham probabilidade zero de pertencer à amostra. De modo geral, busca-se garantir a imparcialidade escolhendo aleatoriamente os elementos que participarão das amostras, ou seja, utilizando amostras probabilísticas. Nesse sentido, o guia constantemente refere-se a três tipos de amostragem probabilística (aleatória): simples, sistemática e estratificada.

A amostragem aleatória simples é o processo mais elementar e freqüentemente utilizado. Cada elemento da amostra é retirado aleatoriamente de toda a população (com ou sem reposição), possibilitando que cada amostra tenha a mesma probabilidade de ser recolhida. Quando os elementos da população se apresentarem de forma ordenada, utiliza-se a amostragem do tipo aleatória sistemática. Esta apresenta características semelhantes com a amostra aleatória simples, mas a seleção dos elementos ocorre de forma sistemática e seqüencial a partir de uma lista dos elementos da população. Neste caso, a seleção dos elementos que constituirão a amostra pode ser feita por um sistema dirigido pelo produtor. No caso de populações heterogêneas, como unidades produtivas com diferentes usos do solo, florestas ou plantações florestais, não se recomenda a amostra aleatória simples para toda a população, devido à baixa precisão das estimativas obtidas. Neste caso, deve-se dividir a população em sub-populações homogêneas. Este processo denomina-se estratificação da população, sendo cada sub-população um estrato. A amostra obtida denomina-se amostra aleatória estratificada. Esta técnica de amostragem usa informação existente sobre a população para tornar mais eficiente o processo de amostragem.

A utilização de uma amostra implica na aceitação de uma margem de erro, ou erro amostral, que nada mais é do que a diferença entre a estimativa a partir da amostra e o verdadeiro resultado populacional. Não se pode evitar a ocorrência do erro amostral, porém pode-se limitar seu valor através da escolha de uma amostra de tamanho adequado. Quanto maior o tamanho da amostra (seção II.4.b.), menor o erro cometido e vice-versa. No entanto, podem-se evitar erros não-amostrais que ocorrem principalmente quando os dados amostrais são coletados, registrados ou analisados incorretamente, ou quando há uma utilização de um instrumento defeituoso durante a realização de mensurações. Em algumas situações não é possível medir uma amostra (ex. depósito de carbono, ver seção II.3) com a exatidão e precisão (Figura 10) necessárias. Dentro do possível, o estabelecimento das parcelas para realizar amostragem deve ser exata, precisa e conservadora.





**Figura 10.** Representação gráfica de diferenças entre exatidão e precisão  
(a) Inexato mas preciso; (b) Inexato e Impreciso; (c) Exato mas impreciso; (d) Exato e preciso  
Fonte: IPCC 2006c

A estimação estatística de um erro está associada a um nível de confiança que indica a probabilidade de que o valor verdadeiro (desconhecido) se encontre dentro de uma margem, chamada intervalo de confiança<sup>11</sup>, gerado ao subtrair-se e somar-se o erro estimado ao valor medido (Cardona 2004). Para o nosso caso, é importante obter valores de estoque de carbono que representem com confiança o conjunto da população, sendo aconselhável uma abordagem conservadora quanto ao resultado final (Pearson et al. 2005). Uma abordagem conservadora consiste em utilizar um intervalo de confiança menor que 95 % (ver seção II.4.c.), o que resulta em um menor valor de carbono armazenado pelo depósito medido.

A prévia caracterização da área otimiza o trabalho de campo, propiciando maior agilidade, reduzindo os custos de medições, além de conferir uma maior confiabilidade na apresentação dos resultados. Para tanto, recomenda-se realizar uma pré-estratificação de acordo com os seguintes seis passos:

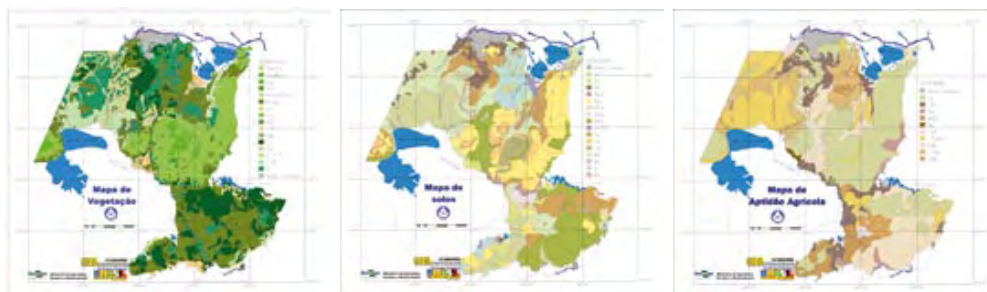
**Passo 1:** Avaliar os fatores essenciais que influenciam os estoques de carbono nos reservatórios que serão medidos (ver próxima seção). Sempre que possível, recomenda-se que a definição dos estratos considere os seguintes fatores: (a) áreas com práticas de manejo e história do uso do solo similar, (b) características do solo, (c) microclima, (d) relevo (por exemplo, elevação, gradiente de inclinação), (e) espécies de árvores existentes ou a serem plantadas, (f) ano do plantio, etc. A observação destes fatores é ainda mais importante no caso de projetos que representem parte ou a área total de um conjunto de propriedades.

<sup>11</sup> Para um melhor entendimento do conceito, nos submetemos ao exemplo proposto por Cardona (2004): caso uma medida de 100 m apresentar um erro padrão de 0,01 m pode-se confirmar com um nível de confiança de 68% (se os dados se distribuem como uma normal) que o valor correto encontra-se entre 99,99 e 100,01. Igualmente, é possível confirmar com um nível de confiança de 95%, que o mesmo é maior ou igual que 99,98 e menor ou igual que 100,02.

**Passo 2:** Coletar informações locais sobre os fatores essenciais identificados no passo anterior, considerando as seguintes variáveis:

- Tipo de uso do solo (ex.: florestas, plantações florestais, sistemas agroflorestais, cultivos, pastagens);
- Tipo de vegetação (ex.: espécies, grupos ecológicos, etc.);
- Tipo de solo e topografia (ex.: argiloso ou arenoso; ondulado ou plano);
- Tipo de manejo agrônomo do sistema (ex.: monocultivo ou cultivos associados);
- Histórico da área (ex: tempo de uso do solo, tipo de preparação, uso do fogo ou fertilizações). Cabe ressaltar que as atividades humanas e outras perturbações alteram a dinâmica do carbono nos solos;
- Ocorrência de áreas protegidas por lei (ex.: Reserva Legal e Áreas de Preservação Permanente - APPs), entre outras.

A utilização de mapas da área de abrangência do projeto, assim como mapas da região (solos, vegetação, clima, etc., Figura 11) é fundamental para a estratificação.



Mapa de Vegetação

Mapa de Solos

Mapa de Aptidão Agrícola

**Figura 11.** Exemplos de mapas de vegetação, solos e aptidão agrícola de uma determinada região  
 Fonte: Embrapa Pantanal 2008

**Passo 3:** Estratificação preliminar: a estratificação deve ser conduzida de forma hierárquica, dependendo da importância dos fatores essenciais em relação às mudanças nos estoques de carbono ou do grau de diferença dos fatores essenciais na área do projeto. Somente depois de finalizada a estratificação no nível mais alto é que deve ter início a estratificação no nível inferior seguinte.

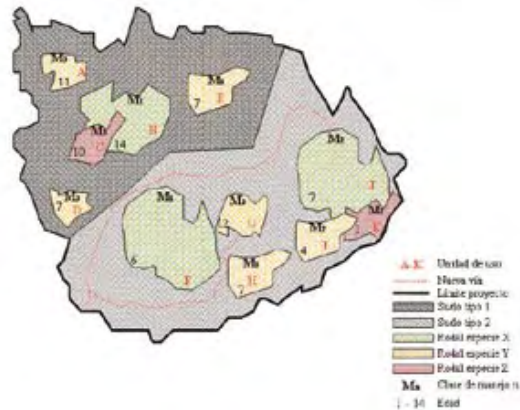
**Passo 4:** Realizar amostragem para cada estrato preliminar. Há situações de projetos em que áreas que à primeira vista parecem ser homogêneas acabam por demonstrar heterogeneidade, quando se realiza uma análise mais detalhada. Deve-se analisar a variação dos fatores essenciais pesquisados. No caso de variação grande dentro de cada estrato preliminar, devem ser feitas pesquisas de campo mais intensas e/ou se considerar a realização de estratificações adicionais, como mencionado no próximo passo (5).



**Passo 5:** Conduzir estratificação adicional com base nas informações suplementares obtidas no passo anterior (4), verificando se cada estrato preliminar é suficientemente homogêneo, ou se a diferença entre os estratos preliminares é significativa.

**Passo 6:** Criar um mapa de estratificação da área (Figura 12).

Finalmente, deve-se considerar uma adequação ou pós-estratificação após os resultados das primeiras medições de campo. A definição dos estratos somente terá sentido se estes reduzirem os custos de amostragem e a complexidade da análise. Neste sentido, estratos que não apresentem grandes diferenças entre os fatores essenciais, poderiam ser agrupados.



**Figura 12.** Exemplo de estratificação de um projeto

Fonte: Vallejo 2005

### II.3. Decisão sobre qual depósito de carbono medir

De acordo com o Guia de Boas Práticas do Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas (GBP UTMUTF) existem cinco tipos de depósitos (reservatórios) de carbono que podem ser medidos (Quadro 1).

**Quadro 1.** Descrição dos distintos tipos de depósitos de carbono

Tipo de Depósito		Descrição
Biomassa viva	Biomassa acima do solo	Toda a biomassa viva que se encontra acima do solo, incluindo troncos, tocos vivos, ramas, cascas, sementes e folhas. Para facilitar as medições avalia-se por separado a biomassa aérea arbórea, e a biomassa aérea não arbórea.
	Biomassa subterrânea	Toda a biomassa de raízes vivas. Excluem-se raízes finas de menos de 2 mm de diâmetro porque dificilmente se distinguem da matéria orgânica do solo (outro depósito, veja a seguir).
Matéria orgânica morta	Madeira morta	Toda biomassa florestal não viva: troncos caídos, árvores mortas em pé, e tocos maiores de 10 cm de diâmetro.
	Serrapilheira	Toda a biomassa não viva acima do solo (folhas, ramos, caules e cascas de frutos) em diferentes estados de decomposição. Compreende as capas de detritos e húmus. Pode-se estabelecer previamente um diâmetro mínimo para diferenciar de “madeira morta” (por exemplo, 10 cm).

Tipo de Depósito		Descrição
Solos	Matéria orgânica do solo	Compreende o carbono orgânico nos solos minerais e orgânicos a uma profundidade específica selecionada pelo proponente do projeto.
		Raízes finas vivas com diâmetro menor de 2 mm.

Fonte: IPCC 2005b

Algumas vezes o custo de realizar a amostragem com o grau de precisão exigido ou estabelecido é maior que o retorno que se receberá pelo projeto. Este é o caso, principalmente, da avaliação de raízes e em alguns casos da biomassa da vegetação não arbórea. Sendo assim, a decisão sobre qual depósito de carbono medir dependerá do custo-benefício de realizar as amostragens, estando-se de acordo com as exigências do mercado no qual se visa negociar o projeto.

Para facilitar a decisão, apresenta-se no quadro a seguir uma adaptação da matriz de decisão sobre os possíveis critérios de seleção de depósitos que deverão ser medidos e monitorados, recomendados pela UTMUTF:

**Quadro 2.** Matriz de recomendações de depósitos de carbono a medir, por tipo de projeto.

Objetivo do projeto	Tipo de Projeto	Tipo de depósitos de carbono					
		Biomassa viva			Biomassa morta		Solo
		Árvores	Vegetação não arbórea	Raízes	Madeira Morta	Serrapilheira	
Redução (evitar) emissão de carbono	Conservação da floresta	S	T	R	T	S	R
	Manejo florestal sustentável	S	T	R	T	S	T
Reflorestamento (Seqüestro de carbono)	Restaurar vegetação nativa	S	T	R	S	S	T
	Plantações florestais	S	N	R	T	T	R
	Plantações agroflorestais	S	S	T	S	S	R

Fonte: Modificado de Brown, 2002

S: Sim, necessário; R: Recomendado; N: Não recomendado; T: Talvez, dependendo das exigências do mercado.

Para o caso de projetos florestais no âmbito do MDL, os participantes do projeto podem eleger não incluir um ou mais reservatórios de carbono dentro do limite do projeto, caso forneçam informação verificável, transparente, passível de ser replicável e auditável, de que a implementação do projeto não acarretará a diminuição dos estoques de carbono nesses reservatórios.

Atualmente, existem três metodologias de pequena escala desenvolvidas pelo grupo de trabalho de florestamento e reflorestamento (F/R) do CQNUMC que permitem a conversão de terras a bosques através de atividades de florestamento: (1) em áreas de cultivos ou pastagens, (2) em áreas de assentamentos; (3) em áreas inundáveis<sup>12</sup> (brejos, pântanos e várzeas). Devido à necessidade de simplificação das metodologias, em todas estas são considerados unicamente a contabilização do carbono de depósitos de biomassa viva (acima do solo e subterrânea), não sendo considerados o carbono de depósitos de matéria orgânica morta e solo.

#### **Caixa 4. Projeto MDL F/R de pequena escala**

Os projetos MDL F/R de pequena escala são projetos que absorvem até 16.000<sup>13</sup> toneladas de CO<sub>2e</sub>/ano (em média durante cinco anos) e cujas atividades sejam desenvolvidas e implementadas por comunidades e indivíduos de baixa renda. As atividades de pequena escala não podem ser o resultado do desagrupamento de uma atividade de grande escala.

Tendo 16.000 toneladas de CO<sub>2e</sub>/ano como limite, um projeto florestal de pequena escala que estime um seqüestro médio de 10 toneladas de carbono por hectare (equivalente a 36,7 ton CO<sub>2e</sub> / ha) deverá utilizar uma área máxima de aproximadamente 436 hectares.

#### **II.4. Determinação do tipo e número de parcelas de amostragem**

A definição do tipo, número e dimensões das parcelas deverá estar de acordo com o tipo de uso do solo (ex. vegetação) a ser amostrado, precisão demandada, natureza das informações requeridas e custos de estabelecimento e medição. Recomenda-se um estudo preliminar sobre os custos necessários para realizar todo o trabalho de campo, as análises de laboratório, e elaboração dos relatórios. Este estudo contribuirá

---

<sup>12</sup> Incluem terras cobertas (saturadas) por água durante todo ou parte do ano e que não se classifiquem na categoria de floresta, agrícolas, pastagens ou assentamentos. São excluídas desta categoria as áreas de cultivo de arroz (IPPC 2006).

<sup>13</sup> Redefinida durante 13a. sessão da Conferência das Partes (COP13/MOP3) realizada em Bali em dezembro de 2007.

para definir a intensidade de amostragem de acordo com os recursos disponíveis. Em um inventário de prospecção de uma floresta estacional semidecídua submontana no estado de Minas Gerais, Freitas et al. (2005) apresentam que a estimativa do custo da abertura de picadas e do inventário de prospecção foi de US\$ 35,7/ha e US\$ 89,4/ha, respectivamente.

#### **II.4.a. Tipo de parcelas**

Como vimos anteriormente, realizar medições em toda área torna-se praticamente inviável por questões de tempo, custo e confiabilidade dos resultados e, portanto, recorre-se a técnicas de amostragem. Assim, para avaliar a quantidade de biomassa (carbono) em cada depósito selecionado, e para estimar as mudanças registradas nos respectivos depósitos ao longo do tempo, utilizam-se parcelas de amostragem do tipo temporal ou permanente. São consideradas amostragens temporais quando as parcelas utilizadas na segunda ocasião de medição são diferentes da primeira, e, permanentes, quando as parcelas selecionadas na primeira ocasião são as mesmas utilizadas (medidas) na segunda ocasião e nas seguintes (Silva 1984). Em geral, considera-se que o uso de amostragem permanente é estatisticamente mais eficiente. Parcelas permanentes são comumente utilizadas em inventário de espécies arbóreas, quando cada árvore é identificada e monitorada (quanto ao crescimento e mortalidade) no tempo (anos). Para outros tipos de depósitos usualmente utilizam-se parcelas temporais. Por sua vez, as parcelas temporais podem apresentar um menor custo de estabelecimento.

Uma desvantagem da utilização das parcelas permanentes, ocorre quando alguns técnicos e produtores, ao saber que as parcelas permanentes serão visitadas pelos verificadores das certificadoras, de forma quase natural, realizam manejo diferenciado (maior atenção), proporcionando uma maior produção de biomassa, não representando a realidade de toda área do projeto.

Mais detalhes sobre quais métodos de amostragem utilizar serão apresentados nas seções metodológicas específicas a cada tipo de depósito.

#### **II.4.b. Tamanho da parcela**

O tamanho de parcela deve representar um equilíbrio entre a exatidão, a precisão, e o tempo (custo) da medição. Para o caso das medições do componente arbóreo, o tamanho da parcela estará relacionado com a quantidade de árvores, diâmetro e variância do carbono armazenado entre as parcelas. Para plantações de tamanho uniforme geralmente utiliza-se uma parcela de área que varia entre 100 m<sup>2</sup> (para uma densidade de plantio de aproximadamente 1.111 árvores/ha ou mais) até 1000 m<sup>2</sup> (para plantios pouco densos, como plantios de uso múltiplo). Entretanto, quanto menor for o tamanho da parcela, maior será o número de parcelas necessárias. Esta

tendência e confirmada por Higuchi et al. (1990) em seu estudo sobre tamanho ideal de parcela amostral para inventários de uma floresta tropical húmida de terra firme. Segundo os autores, quanto menor o número de parcelas menor será o tempo de deslocamento da equipe em campo e o estabelecimento de parcelas. Entretanto, o tempo de medição por parcela será maior. Para situações onde o acesso é difícil a variável tempo de deslocamento até a parcela assume importância fundamental para a definição do tamanho da parcela. De acordo com Higuchi (comunicação pessoal) utilizar o tamanho recomendado significa racionalizar o custo dentro da incerteza tolerável. Verificando a eficiência de diversos tamanhos e formas de parcelas em amostragem aleatória na Floresta Nacional do Tapajós, Silva (1980) cita que para a variável volume e para as condições do estudo, o tamanho de 2500 m<sup>2</sup> (50 X 50 m) foi mais eficiente em relação aos demais tamanhos testados. De acordo com Silva (1984), a metodologia de inventário florestal contínuo adotado pela EMBRAPA-CPATU utiliza parcelas de um (1) ha para anotações completas de árvores individuais com DAP superiores a 20 cm. Segundo o autor, este tamanho possibilita obter informações mais precisas sobre árvores de tamanho intermediário que constituirão a próxima colheita. Entretanto para estes casos recomenda-se a divisão em subparcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 X 10 m) para as medições de todas as árvores com diâmetros iguais ou maiores que 5 cm e menores que 20 cm. Baseados nas experiências do programa Alternativas ao Corte e Queima de Florestas - ASB (Alternatives to Slash and Burn), Hairiah et al, em seu guia de métodos de amostragem de estoque de carbono recomendam parcelas retangulares de 20 x 100 m (2000 m<sup>2</sup>) para a medição de árvores com DAP superior a 30 cm, e subparcelas de 5 x 40 m (200 m<sup>2</sup>) para indivíduos menores, com DAP entre 5 e 30 cm).

A seguir, apresentam-se as etapas necessárias para determinar o número de parcelas e para definir a localização e marcação dos limites destas parcelas.

#### **II.4.c. Passos para determinar o número de parcelas**

##### **Passo 1. Selecionar o nível de precisão desejado**

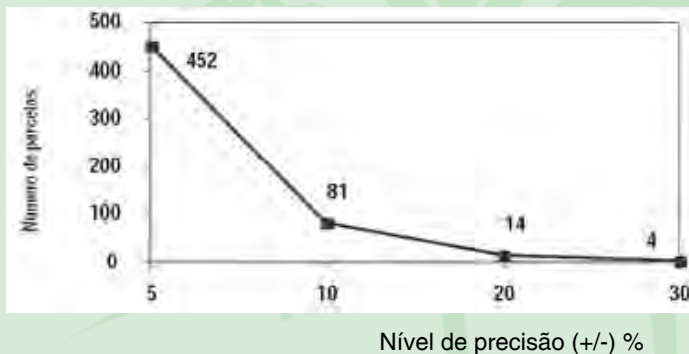
A seleção do nível de precisão está quase sempre relacionada com os recursos disponíveis e com a exigência do comprador (mercado). O nível de precisão exigido terá um efeito direto sobre os custos do inventário. Usualmente, para projetos florestais utiliza-se um nível de precisão (erro de amostragem) de +/-10% do valor da média de carbono a um nível de confiabilidade de 95%<sup>14</sup>. Entretanto, projetos do tipo MDL florestal em pequena escala podem utilizar um nível de precisão de até +/- 20 % (Emmer 2007). Contudo, níveis de precisão específicos podem ser definidos para cada tipo de componente do inventário.

---

<sup>14</sup> Ou seja, quando o valor identificado for 80 ton de C/ha, significa que para 95% das situações no universo amostrado a quantidade de carbono armazenado estará entre 72 ton (- 10%) e 88 ton (+10%).

### Caixa 5. Relação entre número de parcelas e grau de precisão

A figura a seguir ilustra a relação entre o número de parcelas e o nível (grau) de precisão (+/- % do carbono total armazenado na biomassa viva e morta, com 95% de confiança) para quatro tipos de depósitos combinados (biomassa acima do solo, subterrânea, serrapilheira e matéria orgânica do solo) presentes em seis categorias de vegetação de um bosque tropical na Bolívia (Projeto Piloto Noel Kempff). Para informações adicionais, consultar Winrock International (1999).



Como ilustrado, para alcançar um nível de precisão de 5% seriam necessárias 452 parcelas; enquanto somente 81 parcelas confeririam nível de precisão de 10%. Este exemplo evidencia as implicações (custo-benefício) das exigências de um maior ou menor nível de precisão.

Fonte: IPCC 2003

### Passo 2. Seleção da área para a tomada de dados preliminares

Antes de determinar o número de parcelas requeridas para a medição e monitoramento do carbono com determinado nível de confiança, deve-se obter primeiro uma estimativa da variância existente para cada tipo de depósito (ex.: carbono no solo) em cada estrato. Dependendo da ocorrência de um mesmo estrato na área do projeto, cada estrato deverá ter amostras de mais de uma área (repetição), para que os resultados tenham validade estatística. Recomenda-se inicialmente estabelecer entre quatro a oito repetições para cada estrato.

### Passo 3. Estimar média, desvio padrão e variância do estoque de carbono de dados preliminares

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Média

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Variância

$$s = \sqrt{s^2}$$

Desvio Padrão

#### Passo 4. Cálculo do número de parcelas requeridas

Uma vez conhecida a variância estimada em cada estrato, a superfície de cada estrato, o nível de precisão desejado e o erro de estimativa (baseado no nível de confiabilidade selecionado), pode-se calcular o número de parcelas necessárias. A fórmula genérica para o cálculo do número de parcelas é apresentada a seguir:

$$n = \frac{(N * s)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N * s^2}$$

Fórmula para um único estrato

$$n = \frac{(\sum_{h=1}^L N_h * s_h)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + (\sum_{h=1}^L N_h * s_h^2)}$$

Fórmula para mais de um estrato

Onde:

**n** = número de parcelas

**E** = erro permitido (média x nível de precisão selecionado). Como visto no passo anterior, o nível de precisão recomendado é de  $\pm 10\%$  (0,1) da média, mas pode chegar a  $\pm 20\%$  (0,2).

**t** = amostra estatística da distribuição t para um nível de 95% de confiança (geralmente utiliza-se o 2 como número de amostra)

**N** = número de parcelas na área do estrato (área do estrato dividido pelo tamanho da parcela em ha)

**N<sub>h</sub>** = número de parcelas na área do estrato h a ser amostrado (área do estrato dividido por tamanho da parcela em ha)

**s** = desvio padrão do estrato h

#### Caixa 6. Exemplo de cálculo de número de parcelas requeridas

Através de amostragens preliminares de biomassa arbórea aérea utilizando parcelas de 20 X 20 m, determinou-se os seguintes valores:

Área de estudo = 10.000 ha

Área da parcela = 0,04 ha (20 X 20 m)

Média de estoque de carbono = 120,3 tC/ha

Desvio padrão do estrato (s) = 18,1 tC/ha

Amostra estatística da distribuição t = 2

Nível de precisão selecionada = 10% (0,1)

Com estas informações pôde-se calcular área do extrato (N) e o erro permitido (E):

Área do extrato (N) (área do extrato x tamanho da parcela em ha = 10.000/0,04) = 250.000

Erro permitido (E) (média x nível de precisão selecionado): 120,3 x 0,1 = 12,3

Finalmente calculou-se número de parcelas requeridas para amostragem do estrato:

$$n = \frac{(N * s)^2}{\frac{N^2 * E^2}{t^2} + N * s^2} = \frac{(250.000 * 18,1)^2}{\frac{250.000^2 * 12,3^2}{2^2} + 250.000 * 18,1^2} = 28 \text{ parcelas}$$

Fonte: Adaptado de Person et al 2005



O guia UTMUTF recomenda estabelecer 10% a mais de parcelas do que a quantidade determinada (calculada), como precaução contra imprevistos futuros que possam impedir a localização de alguma das parcelas.

Para facilitar a determinação de números de parcelas requeridas, a organização Winrock International, desenvolveu a ferramenta Excel denominada “Winrock Terrestrial Sampling Calculator”. Para mais detalhes sobre a ferramenta ver Anexo 5.4.

#### **II.4.d. Passos para definir a localização e marcação dos limites das parcelas**

##### **Passo 1. Preparar o mapa do projeto com os limites (divisões internas e externas) e seus estratos bem definidos**

Estabelecer a distância recomendada do limite da área de abrangência do projeto para evitar interferência de outras atividades (mais conhecido como efeito bordadura). É importante conhecer o histórico de uso da terra do local onde se estabelecerá a parcela, evitando situar as parcelas em locais em que o uso do solo anterior foi totalmente atípico ao restante da área do estrato (ex.: devido ao acúmulo de fertilizante).

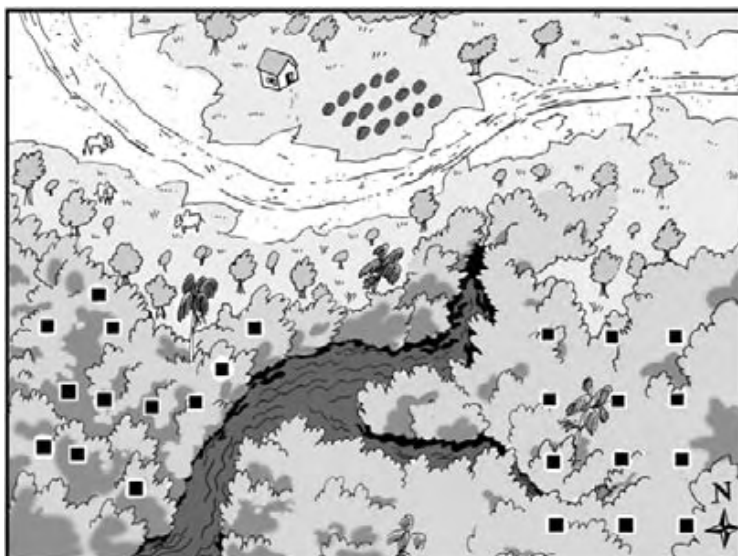
##### **Passo 2. Decidir se as parcelas serão distribuídas de forma aleatória simples ou sistemática**

A localização das parcelas pode ser realizada através da seleção aleatória simples ou sistemática dos locais. Como já sabemos, a amostragem aleatória simples requer que todas as combinações possíveis de parcelas tenham igual chance de serem amostradas, sendo que a seleção deve ser livre de qualquer escolha e totalmente independente da seleção das demais parcelas (Ambiente Brasil 2008). Prodan e Peters (1997) recomendam a utilização de amostragem aleatória simples quando nenhum outro tipo de desenho amostral garanta estimações mais exatas e precisas (ver Figura 10). A amostragem sistemática consiste na seleção de parcelas a partir de um esquema rígido e preestabelecido de sistematização, com o propósito de cobrir toda a extensão da área do projeto.

Em alguns casos específicos a localização das parcelas pode ser mais fácil em uma amostra sistemática do que em uma aleatória, uma vez que as unidades são distribuídas segundo uma orientação previamente determinada. Silva (1984) relata que o processo sistemático pode, muitas vezes, superestimar o erro de amostragem, mas possibilita estimativa de média próxima do valor verdadeiro, visto que detecta a maior parte da variação populacional.

##### **Passo 3. Seleção dos locais e específicos para cada parcela**

A localização das parcelas deve ser feita inicialmente no mapa da área ou do estrato e após na área. Dividi-se o mapa em quadros ou polígonos, determinando um número



**Figura 13.**  
Representação  
de distribuição  
aleatória (lado  
esquerdo) e  
sistemática (lado  
direito)

para cada quadrante. Para a seleção aleatória simples do local de uma parcela, realiza-se o sorteio de alguns destes números. Também se pode realizar a localização diretamente em campo, como é o caso da amostragem da vegetação de arbustos de pequeno porte, na qual o processo consiste em arremessar aleatoriamente o marco utilizado para demarcar a parcela. Entretanto, caso esta metodologia não seja adequadamente empregada em campo, respeitando os critérios de probabilidade, esta pode passar a ser considerada um tipo de amostragem não aleatória por não permitir que todas as parcelas tenham probabilidade de ser selecionadas. A seleção aleatória sistemática consiste em localizar parcelas com um padrão definido através da área. Esta metodologia é comumente utilizada por empresas florestais. Para o caso de amostragens sistemáticas que não sejam predefinidas utilizando um mapa, recomenda-se que as parcelas sejam posicionadas de forma ordenada a partir de um primeiro ponto determinado ao azar (aleatório). O objetivo é evitar a seleção das melhores áreas (locais mais convenientes) para localização das parcelas.

De acordo com a metodologia florestal AR-AM0001 (“Reflorestamento de Terras Degradadas”), deve-se assegurar que as parcelas amostrais estejam distribuídas da forma mais uniforme possível. Por exemplo, se um estrato consistir em mais de duas áreas geograficamente separadas, propõe-se que:

- a área total do estrato seja dividida pelo número de parcelas, obtendo-se a área média por parcela;
- a extensão de cada área seja dividida por essa área média por parcela, e a parte inteira do resultado atribuída a essa área. Por exemplo, se a divisão resultar em 6,3 parcelas, então 6 parcelas são atribuídas a essa área, a fração 0,3 é passada para a próxima área, e assim por diante.

Àqueles que tenham acesso a um aparelho receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Global) recomenda-se utilizar esta ferramenta para facilitar a localização e o estabelecimento de cada parcela. Entretanto, a demarcação das parcelas não deverá ser realizada utilizando o receptor de GPS porque isso aumentará em muito o tempo estimado para a coleta de informação.

#### **Passo 4. Demarcação dos limites das parcelas**

Independente do tipo (aleatória ou permanente) cada parcela deverá ser georeferenciada com GPS num dos vértices previamente definido, e corretamente demarcada e sinalizada<sup>15</sup> de forma a favorecer sua localização durante o período (anos) de monitoramento. Para o caso de parcelas permanentes retangulares (comumente utilizadas em inventários de plantações florestais), recomenda-se fixar canos de PVC ou piquetes de madeira resistente (de 0,5 a 1,0 m de comprimento) nos quatro vértices da parcela. Após estabelecido o primeiro vértice de forma aleatória, os demais vértices serão localizados utilizando uma bússola (Figura 14 b, c, d) para orientar cada vértice, e uma fita métrica (Figura 14 a) para medir as distâncias entre os vértices.



**a. Fita Métrica**



**c. Bússola  
Brunton**



**b. Bússola  
ranger Silva**



**d. Bússola Digital  
Noma**

**Figura 14.** Equipamentos utilizados para demarcar os limites das parcelas

Fonte: Terra Ges 2008

#### **Passo 5. Definição dos critérios de inclusão**

Recomenda-se que toda árvore cuja base do tronco esteja em parte ou em sua totalidade dentro da parcela seja incluída, mesmo que o fuste e a copa estejam fora. Se o fuste e a copa estiverem dentro da parcela, mas a base estiver fora, a árvore não será incluída.

## **II.5. Determinação da frequência de medições**

A frequência de amostragem será determinada pelo objetivo (ex. pesquisa ou venda de crédito de carbono) e tipo do projeto (ex. florestal ou agroflorestal), tipo de componente amostrado, tipo de manejo (ex. períodos de desbaste e corte), velocidade e magnitude

<sup>15</sup> Porém, as metodologias MDL recomendam usar uma demarcação discreta, para que o pessoal do projeto não dê às amostras um tratamento ou manejo diferente do restante das áreas.

da mudança no estoque de carbono, e exigência do comprador de crédito. Geralmente as amostragens são realizadas durante a etapa de verificação para a venda do crédito (temporal) de carbono. Esta geralmente é realizada a cada cinco anos após o início da implementação do projeto.

Para o caso de projetos com finalidade de pesquisa, para gerar modelos de crescimento e equações alométricas para uma determinada espécie florestal, recomenda-se medir a biomassa viva aérea em intervalos de um (principalmente nos primeiros 10 anos) a cinco anos (idades mais avançadas, em que o crescimento não é tão significativo).

Para processos mais lentos ou estáveis de acumulação de carbono (caso do carbono no solo) e principalmente, quando os custos de medições de campo são elevados, o intervalo de amostragem pode ser superior a cinco anos. Para estes tipos de reservatórios recomenda-se somente a medição no estabelecimento do projeto e na última verificação.

## **II.6. Cuidados a serem tomados antes e durante a etapa de campo**

- O processo de medições em campo somente deve ocorrer quando estiverem bem definidos os objetivos e os aspectos administrativos e logísticos do projeto, e quando sua execução for requerida por razões técnicas ou normativas.
- Recomenda-se estabelecer um cronograma de campo adequado à etapa de análise de dados, evitando armazenar amostras de solo, raízes e serrapilheira por muito tempo antes de enviar ao laboratório. A base de dados para inserir informação que será coletada em campo deve estar definida com antecedência. Usualmente utilizam-se programas como Excel e/ou Access para compor bases de dados.
- A equipe de campo deve ser devidamente treinada, tanto para recolher a informação como para manipular as amostras, tendo o pleno conhecimento dos procedimentos necessários, e principalmente, da importância de coletar dados com a maior precisão possível.
- Recomenda-se instalar parcelas de prova (pré-testes) medindo todos os componentes selecionados.
- Recomenda-se evitar ao máximo a troca dos membros da equipe, principalmente os responsáveis pelo levantamento de informação subjetiva, como é o caso da medição de altura de espécies florestais. O inventário deve realizar-se quando a equipe de campo possa trabalhar de maneira eficiente e segura.
- Deve-se evitar tomar amostras em distintos períodos do ano, reduzindo assim variações estacionais.
- Finalmente, deve-se ter em consideração que os mapas da área e o uso de GPS são indispensáveis

### II.6.a. Coleta e armazenamento das amostras

Cada amostra retirada deve ser colocada num saco adequadamente etiquetado (identificado). A etiqueta deve possuir um número específico para cada amostra. Por sua vez, este deve coincidir com os dados de procedência da amostra e tipo de análises a realizar. Esta informação é registrada num formulário de campo, enviado junto com as amostras ao laboratório. O formulário (Quadro 3) deve conter as seguintes informações:

- Número da etiqueta do saco
- Nome ou código da propriedade
- Tipo de amostra (ex. serrapilheira; densidade aparente do solo, raízes, etc.)
- Profundidade da amostra (para o caso de raízes e solo)
- Código do tipo de estrato
- Número da repetição
- Código do tipo da parcela



**Figura 15.** Exemplo de armazenamento de amostras de solo

**Quadro 3.** Exemplo de formulário com identificação de amostras de solo para orientar a análise de laboratório para determinar a densidade aparente utilizando trincheiras.

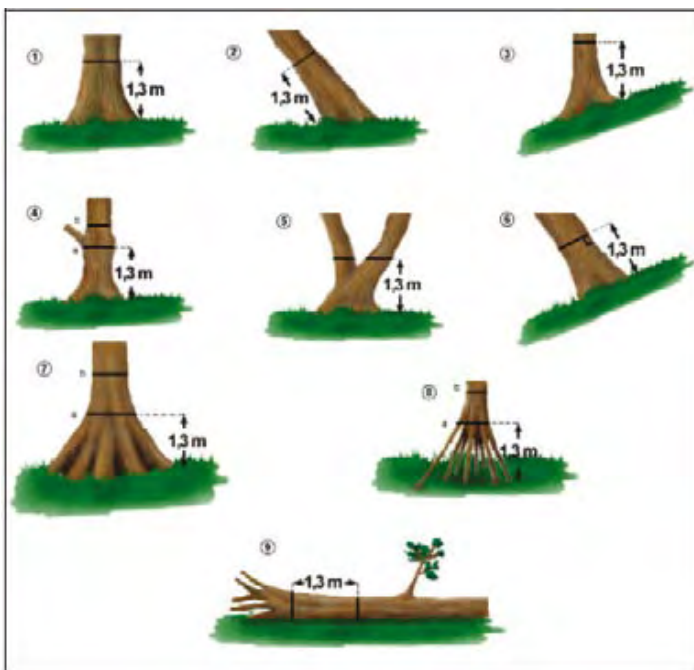
# etiqueta do saco	Tipo de análise	Profundidade	#Trincheira	Repetição	Estrato	Propriedade	Código parcela
900	Densidade	0-10	1	3	Bosque	Chico Silva	309
901	Densidade	10-20	1	3	Bosque	Chico Silva	309
902	Químico	0-10	1	3	Bosque	Chico Silva	309
903	Químico	10-20	1	3	Bosque	Chico Silva	309

### II.7. Medição de diâmetro e altura de árvores

Prévio à descrição dos procedimentos necessários para a quantificação e o monitoramento de biomassa em campo, apresenta-se a seguir algumas instruções básicas para a medição de diâmetro e altura das árvores.

#### II.7.a. Medição de diâmetro de árvores

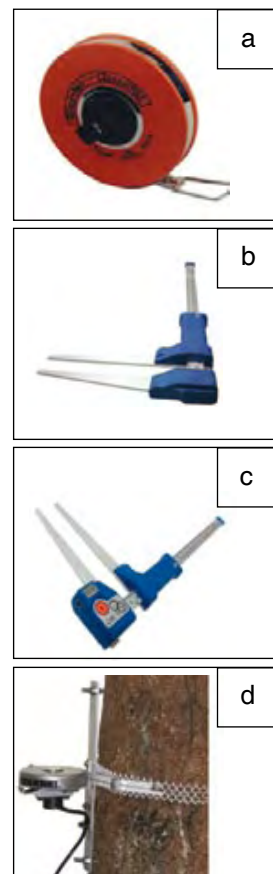
O diâmetro das árvores é medido com a casca, à altura do peito (1,3 m.), sendo portanto designado DAP. A exceção são os casos particulares apresentados na Figura 16. A medição pode ser realizada com fita diamétrica (fita flexível usada para medir



**Figura 16.** Medição correta de diâmetro.

Nas situações 4, 7 e 8 a posição (b) é considerada correta para medir o diâmetro.

Fonte: Schlegel et al. 2001



**Figura 17.** Instrumentos de medição de diâmetro:

a. Fita de diâmetro; b. Suta de medição; c. Suta de medição digital; d. Dendrômetros de cinta

Fonte: Terra Ges 2008

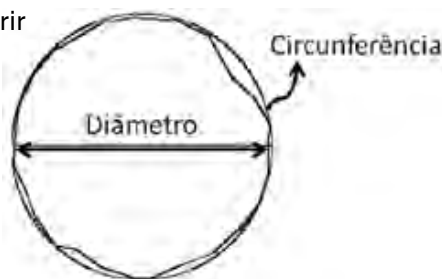
a circunferência, proporcionando o resultado diretamente em unidades de diâmetro em centímetros (Figura 17 a) ou com uso de uma suta (Figuras 17 b, c). Em alguns casos, principalmente para pesquisa, utilizam-se equipamentos específicos como o dendrômetro de cinta<sup>16</sup> (Figura 17 d).

<sup>16</sup> Os dendrômetros de cinta são equipamentos que servem para determinar os períodos de crescimento da diferentes árvores da população e consistem em micrômetros de precisão que se ajustam às árvores mediante uma cinta de metal cujo funcionamento é semelhante ao de uma fita de diâmetro que está permanentemente ajustada ao tronco.



**Figura 18.** Ilustração de medição de diâmetro à altura do peito utilizando suta em um indivíduo de pequeno grossor

Não existindo a possibilidade de adquirir uma fita diamétrica ou suta a opção é medir o diâmetro utilizando uma fita métrica convencional (utilizada pelas costureiras). Entretanto, deve-se converter o valor da circunferência a diâmetro (Figura 19).



**Figura 19.** Ilustração de diâmetro e circunferência

Essa conversão é feita através da divisão da circunferência pelo  $\pi$  (PI)<sup>17</sup>:  $D = C / \pi$

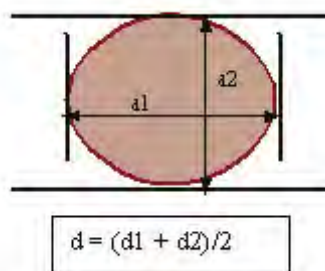
Onde:

D é o diâmetro

C é a circunferência e

$\pi$  (PI) equivale a 3.1415

Caso utilizem a suta para árvores com perímetros diamétricos não circulares (Figura 20) devem-se medir os dois diâmetros perpendiculares, somá-los, e depois dividir por dois.



**Figura 20.** Medição com suta de uma árvore de secção não-circular

Fonte: FAO 2004

## II.7.b. Medição de altura de árvores

A medição da altura das árvores realiza-se através de aparelhos como clinômetros (Figuras 21 a, c) e hipsômetros (Figuras 21 b, d). Os clinômetros são aparelhos

<sup>17</sup> Na matemática,  $\pi$  é o número que representa o quociente entre o perímetro de uma circunferência e o seu diâmetro. Entenda melhor o valor  $\pi$  assistindo o vídeo: [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Pi-unrolled\\_slow.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/4a/Pi-unrolled_slow.gif)



			
a. Clinômetro Sunnto	b. Hipsômetro Blume-Leiss	c. Clinômetro Eletrônico Haglöff	d. Hipsômetro Vertex.
<b>Aparelhos Manuais</b>		<b>Aparelhos Digitais</b>	

**Figura 21.** Clinômetros e hipsômetros comerciais  
Fonte: Terra Ges 2008

utilizados para medir altura e inclinação, e geralmente demandam uma cinta métrica para estabelecer a distância entre a árvore e a pessoa que realiza a medição. Os hipsômetros são aparelhos utilizados especificamente para medir alturas de objetos. A maioria dos hipsômetros dispensa a utilização de fita métrica para medição da distância.

Em alguns casos, os aparelhos digitais apresentam resultados de medição de alturas e ângulos diretamente num mostrador, eliminando qualquer risco de erros de cálculo. Dois exemplos deste tipo de aparelho são os Clinômetro Eletrônico Haglöff (Figura 21 c) e o Hipsômetro Vertex (Figura 21 d). A Figura 22, a seguir, ilustra a medição utilizando o clinômetro eletrônico Vertex.



**Figura 22.** Medição de altura utilizando o clinômetro eletrônico Vertex  
Fonte: Experiência do projeto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas, CATIE.”



**Figura 23.** Medição de altura utilizando clinômetro de papel

Não existindo a possibilidade de adquirir aparelhos comerciais a opção é construir um clinômetro. Existem algumas formas de clinômetro artesanais<sup>18</sup>, entre estas o clinômetro de papel (Figura 23) construído utilizando um transferidor. No anexo 7 apresenta-se um formato de clinômetro de papel que pode ser utilizado para medição de altura de árvores.

<sup>18</sup> Outra artesanal é o clinômetro de madeira. Os procedimentos para a construção de um clinômetro de madeira podem ser encontrados no Website [http://hilaroad.com/camp/projects/clinometer/clinometer\\_use.html](http://hilaroad.com/camp/projects/clinometer/clinometer_use.html).

## Passos para determinar a altura de árvores

**Passo 1.** Tomar distância suficiente da árvore a ser medida (de 15 a 40 metros, dependendo da escala do aparelho e da visibilidade total que se tem da árvore). Realizar a medição da distância (Figura 24). Para reduzir erros de medição, a distância deve ser aproximada à altura da própria árvore. O responsável em registrar os dados deverá se posicionar na base da árvore a ser medida. O outro membro da equipe deve posicionar-se a uma distância definida para realizar os próximos passos.



Figura 24. Medição de distância da árvore

**Passo 2.** Correção da inclinação do terreno (Figura 25, pontos a, b). Deve-se obter a distância horizontal da árvore selecionada apesar do grau de inclinação do terreno (ex. 20 m). Quando o terreno é plano, as distâncias podem ser medidas diretamente. Entretanto, se o terreno for inclinado ( $\geq 15\%$ ), recomenda-se aplicar um fator de correção.

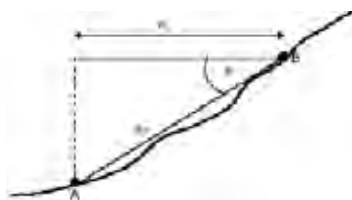
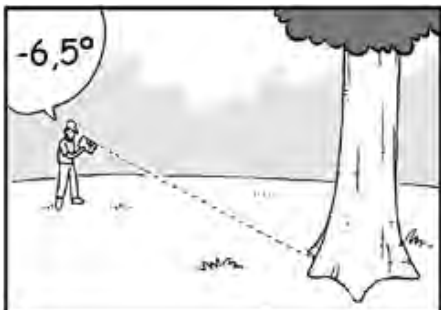


Figura 25. Ilustração sobre correção de inclinação

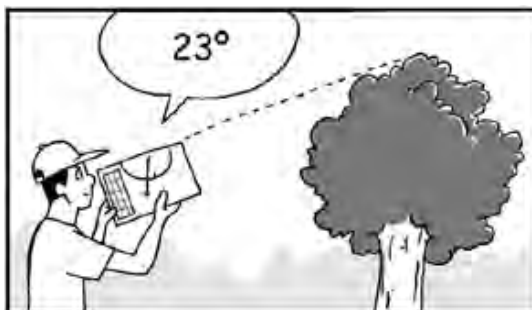
A distância entre dois pontos, medida em um terreno inclinado ( $d1$ ) sempre será maior que a distância horizontal equivalente ( $h1$ ). Desta forma, para obter a distância correta, a distância horizontal deve ser multiplicada por um fator correspondente à inclinação.  $\Theta$  é o ângulo entre a horizontal e a reta A-B:  $d1 = h1/\cos(\Theta)$ . Para agilizar as medições em campo pode-se utilizar o Quadro de Correção de Inclinação (Anexo 1).

**Passo 3.** Observação e medição da base da árvore (Figura 26).



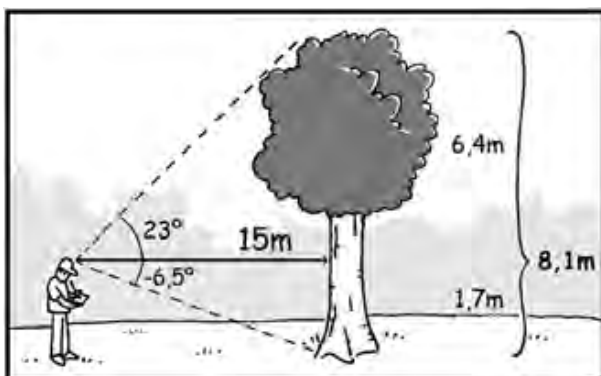
**Figura 26.** Observação e medição do ângulo à base da árvore utilizando clinômetro de papel

**Passo 4.** Observação e medição do topo (ou altura comercial) da árvore (Figura 27).



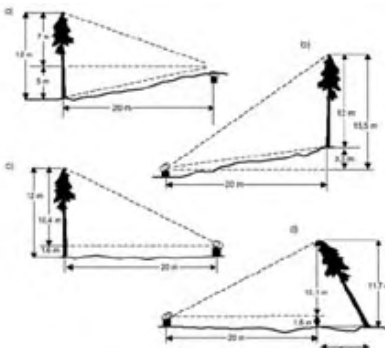
**Figura 27.** Observação e medição do ângulo ao topo da árvore utilizando clinômetro de papel

**Passo 5.** Cálculo das medições (Figura 28): Soma (Figura 29 a) ou subtração (Figura 29 b) dos resultados de medição.



**Figura 28.** Cálculo das medições de altura

**Passo 6.** Correção da inclinação de árvores (Figura 29 d). Onde,  $H = \text{Raiz}(112+52)$



**Figura 29.** Ilustração sobre medição de altura  
Fonte: FAO 2004

Para medir a altura de cada árvore utiliza-se a seguinte fórmula:

$$H = \text{Tang.}(X) * D$$

Onde:

H = altura em metros

Tang. (X) = tangente de ângulo em grau

D = distância em metros.

No Web site <http://www.colouredchalk.co.uk/ideas/videos/clinometer.swf> pode-se observar um simples vídeo de como medir a altura de uma árvore.

## III. MEDIÇÃO E ESTIMACÃO DE BIOMASSA ACIMA DO SOLO

### III.1. Biomassa arbórea

Existem dois métodos para medir e estimar a biomassa arbórea acima do solo: o método direto e o indireto. O método direto (ou destrutivo), utilizado para a construção de equações alométricas e fatores de expansão<sup>19</sup> da biomassa, consiste em cortar um ou mais indivíduos (árvores), determinar a biomassa através do peso direto de cada um dos componentes (fuste, ramas e folhas) e extrapolar os resultados para a área total. Já o método indireto consiste em utilizar equações ou fatores de expansão que permitam relacionar algumas dimensões básicas obtidas em

campo (de fácil medição) com características de interesse, de forma que não seja necessário medir estas últimas. Por exemplo, pode-se utilizar uma equação que permita calcular a biomassa total de uma árvore através da medição de seu diâmetro. Estas equações são geradas por meio de uma técnica estatística chamada análise de regressão.

Neste guia descreveremos o método indireto para estimar a biomassa acima do solo de espécies arbóreas e não arbóreas, considerando equações alométricas já existentes.

As equações alométricas para estimar a biomassa arbórea acima do solo são função do tipo de vegetação e espécie medida (plantações florestais em monocultivo, capoeira e bosques naturais, ou até mesmo para árvores dispersas) e tipo de componente.



**Figura 30.** Corte de árvore em segmentos para medição de um tronco para desenvolvimento de equação alométrica

<sup>19</sup> O fator de expansão de biomassa (FEB) é multiplicado pelo volume do tronco de cada árvore permitindo estimar a biomassa aérea total. Este fator é menos preciso, promovido e utilizado que as equações alométricas.

### Caixa 7. Cálculo de biomassa arbórea acima do solo utilizando equação alométrica genérica

$$B_{ASU} = f(\text{dados dimensionais})$$

Onde:

$B_{ASU}$  : é a biomassa arbórea acima do solo de uma unidade, em kilogramas de matéria seca por árvore (Kg. M.S./árvore);

$f$  (dados dimensionais): é uma equação alométrica relacionando a biomassa acima do solo (Kg. M.S./árvore) aos dados dimensionais medidos em campo (ex. diâmetro na altura do peito – dap, e altura total da árvore – ht, etc).

Para mais detalhes consultar a seção VIII.

Fonte: Adaptado de ARAM0001<sup>21</sup> 2005

#### III.1.a. Inventário de biomassa em plantações florestais



**Figura 31.** Plantações florestais comerciais de *Bombacopsis quinata* e *Tectona grandis*

Para o caso de plantações florestais em monocultivo recomenda-se estabelecer parcelas quadráticas ou retangulares. O tamanho da parcela deverá estar de acordo com o espaçamento entre plantas (ex.: 2 x 2 m, 3 x 2 m) e o tamanho do DAP a ser medido. Tendo em consideração o custo e tempo de estabelecer uma parcela, recomenda-se ter um mínimo de 20 árvores em cada parcela amostrada. Usualmente, para inventários florestais de plantações comerciais, utilizam-se parcelas de 10 X 10 m (100 m<sup>2</sup>). Para facilitar a decisão sobre o tamanho da parcela pode-se utilizar as seguintes medidas: parcela de 2m x 2m para indivíduos com diâmetro menor ou

<sup>21</sup> Metodologia revisada de linha de base de florestamento e reflorestamento:  
<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/51946.html>

igual a 5 cm; 10 x 10 m para indivíduos com DAP entre 5 a 20 cm e, 25 x 25 m para indivíduos com DAP maior a 20 cm de.

Para estimar a biomassa total utilizam-se equações alométricas (Quadro 4) de acordo com a situação local (clima, ecossistema, espécie e diâmetro).

**Quadro 4.** Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (kg de matéria seca por árvore) em plantações florestais comerciais (monocultivo)

Equação alométrica	Espécies	Diâmetros (cm)	R²	Fontes
Espécies Florestais Comerciais				
$Y = 0,153 \cdot dap^{2,382}$	<i>Tectona grandis</i> <sup>b</sup>	10-59	0,98	1
$Y = 0,0908 \cdot dap^{2,575}$	<i>Tectona grandis</i> <sup>c</sup>	17-45	0,98	2
$Y = 0,0103 \cdot dap^{2,993}$	<i>Bombacopsis quinhtum</i> <sup>d</sup>	14-46	0,97	3
$Y = 1,22 \cdot dap^2 \cdot HT \cdot 0,01$	<i>Eucalyptus</i> sp. <sup>e</sup>	1-31	0,97	4
$Y = 0,08859 \cdot dap^{2,235}$	<i>Pinus pinaster</i> <sup>f</sup>	0-47	0,98	5
$Y = 0,97 + 0,078 \cdot SB - 0,00094 \cdot SB^2 + 0,0000064 \cdot SB^3$	<i>Bactris gasipaes</i> <sup>g</sup>	2-12	0,98	6
$Y = -3,84 + 0,528 \cdot SB + 0,001 \cdot SB^2$	<i>Hevea brasiliensis</i> <sup>g</sup>	6-20	0,99	6
$Y = -18,1 + 0,663 \cdot SB + 0,000384 \cdot SB^2$	<i>Bertholletia excelsa</i> <sup>g</sup>	8-26	0,99	6
Palmeiras				
$Y = 0,182 + 0,498 \cdot HT + 0,049 \cdot (HT)^2$	<i>Chrysophylla</i> sp	0,5-10,0	0,94	7
$Y = 10,856 + 176,76 \cdot (HT) - 6,898 \cdot (HT)^2$	<i>Httalea cohune</i>	0,5-15,7	0,94	7
$Y = 24,559 + 4,921 \cdot HT + 1,017 \cdot (HT)^2$	<i>Sabal</i> sp	0,2-14,5	0,82	7
$Y = 23,487 + 41,851 \cdot (\ln(HT))^2$	<i>Httalea phalerhta</i>	1-11	0,62	7
$Y = 6,666 + 12,826 \cdot (HT^{0,5}) \cdot \ln(HT)$	<i>Euterpe prechtoria</i>	1-33	0,75	7

Onde:  
Y = matéria seca acima do solo, em kg de matéria seca por árvore  
dap = diâmetro à altura do peito em cm  
HT = altura total da árvore, metros (nas palmeiras este é o fuste principal, excluindo as folhas)  
SB = superfície basimétrica, cm²  
e: 87 exemplares de 5 a 47 anos de idade.  
c: 9 exemplares de 20 anos de idade.  
d: 17 exemplares de 10 a 26 anos de idade.  
e: Valores agrupados para 458 exemplares de *Eucalyptus ovhta*, *E. saligna*, *E. globulus* e *E. nites* de 2 a 5 anos de idade.  
f: 148 exemplares de 1 a 47 anos de idade.  
g: 7 a 10 exemplares de 7 anos de idade.  
Fontes: 1) Pérez y Kanninen 2003; 2) Kraenzel et al. 2003; 3) Pérez y Kanninen 2002; 4) Senelwa y Sims 1998; 5) Ritson y Sochacki 2003; 6) Schroth et al. 2002.; 7) Delaney et al. 1999; Brown et al. 2001

Fonte: LUFUCF 2003



Caso utilizem-se equações alométricas retiradas da literatura recomenda-se verificar a confiabilidade do modelo coletando de forma destrutiva indivíduos (árvores) de diferentes tamanhos, dentro da área do projeto, mas fora das parcelas de amostragem, estimando sua biomassa e comparando-a com o resultado da equação selecionada. A biomassa estimada deve estar dentro de uma margem de +/- 10% prevista pela equação. A quantidade de árvores que devem ser coletadas para esta verificação deve estar, na medida do possível, próxima ao número mínimo de árvores recomendado pelo modelo, ou, na sua ausência desta informação, ao número de árvores utilizado para construir o modelo. Esta verificação também dependerá da gama de categorias de tamanhos e do número de espécies. Quanto maior for a heterogeneidade da floresta, maior será a quantidade de árvores necessárias. Dentro do possível, recomenda-se também levar em consideração os seguintes critérios:

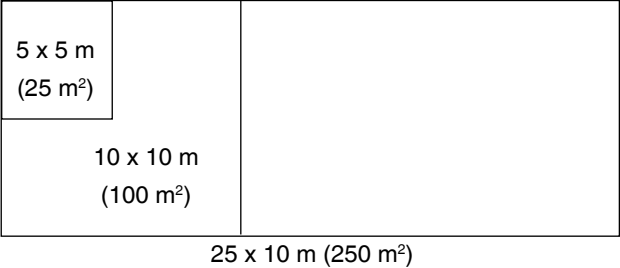
- Utilizar equações que tenham sido desenvolvidas em locais com condições climáticas semelhantes à área do projeto;
- Que parte das espécies utilizadas para desenvolver as equações também esteja presente na área do projeto; e
- Que as características (diâmetro e altura) dos indivíduos utilizados para desenvolver as equações sejam semelhantes às características dos indivíduos da área do projeto.

Caso contrário, recomenda-se desenvolver equações alométricas locais. Os procedimentos passo a passo para desenvolver equações alométricas de biomassa serão apresentados na última seção deste guia.

**III.1.b. Inventário de biomassa florestal em capoeira e bosque natural e sistemas agroflorestais**

Para avaliar espécies lenhosas em capoeira, bosques naturais e sistemas agroflorestais, o tamanho da parcela deve estar em função do tipo, idade e densidade do ecossistema. Para bosques naturais e sistemas agroflorestais recomenda-se utilizar parcelas retangulares de 20 x 100 m (2000 m<sup>2</sup>) para a medição de árvores e palmeiras com DAP superior a 30 cm, e subparcelas de 5 x 40 m (200 m<sup>2</sup>) para indivíduos menores com DAP entre 5 a 30 cm.

Para capoeiras recomenda-se parcelas retangulares de 250 m<sup>2</sup> (25 x 10 m, Figura 32) para árvores e palmeiras com DAP superior a 10 cm, subparcelas de 100 m<sup>2</sup> (10 x 10 m) para árvores de 5 a 9.9 cm de DAP, e subparcelas de 25 m<sup>2</sup> (5 x 5 m) para espécies florestais



**Figura 32.** Representação gráfica de formato de parcela para o inventário de capoeira e bosques



com altura superior a 1,5 m e diâmetros inferiores a 4.9 cm. Nestas últimas, parte dos arbustos será contabilizados. Estas formas e dimensões de parcelas também podem ser utilizadas para plantações de espécies frutíferas e palmeiras.

Para estimar a biomassa total utilizam-se equações alométricas de referência (Quadro 5) de acordo com a situação local (clima, ecossistema, espécie e diâmetro). Cabe destacar que as equações alométricas de espécies florestais presentes em bosques tropicais são, em sua maioria, função de uma única variável, o DAP. Isto ocorre porque a medição da altura de árvores em bosques fechados é de difícil visualização (Chave et al. 2005), o que pode aumentar ainda mais o erro amostral.

**Quadro 5.** Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (kg de matéria seca por árvore) em bosques naturais e capoeiras

Equação Alométrica	Tipo de Floresta	Intervalo de dap Medidos
$Y = \exp[-2,289 + 2,649 \cdot \ln(\text{dap}) - 0,021 \cdot (\ln(\text{dap}))^2]$	Madeiras duras de zonas tropicais úmidas	5 - 148
$Y = 21,297 - 6,953 \cdot (\text{dap}) + 0,740 \cdot (\text{dap})^2$	Madeiras duras de zonas tropicais muito úmidas	4 - 112
Onde: Y = matéria seca acima do solo, em kg de matéria seca por árvore dap = diâmetro a altura do peito, em cm ln = logaritmo natural; exp = “elevado à potencia de” Caracterizam-se como zonas tropicais úmidas regiões com precipitações entre 2.000-4.000 mm/ano em terras baixas; “zona tropical muito úmida” refere-se a regiões (em terras baixas) com precipitações maiores de 4.000 mm/ano.		

Fonte: UTMUTF 2003 citando a Brown 1997; Brown e Schroeder 1999; Schroeder et al. 1997

No Anexo 4 apresentam-se equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo de espécies utilizadas em sistemas agroflorestais. Para o caso de espécies florestais que sofrem manejo de poda constantemente (abaixo de 1,3 m de altura), ou que têm vários troncos, recomenda-se estabelecer equações alométricas a partir do diâmetro basal (Figura 33).



Plantação comercial de palmito



Medição de diâmetro basal.



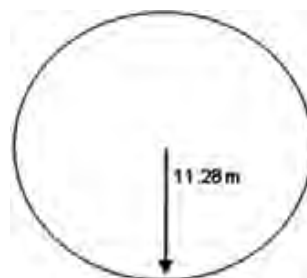
Medição da altura do fuste principal excluindo as folhas

**Figura 33.** Medição de altura e diâmetro basal, plantação comercial de palmito (*Bactris gasipaes*), Costa Rica.

Fonte: Ares et al. 2002.

### III.1.c. Inventário de árvores dispersas

Para estratos com baixa densidade de árvores recomenda-se utilizar uma parcela circular de 400 m<sup>2</sup> (11,28 m de raio, Figura 34), o que reduz o tempo necessário para estabelecimento de uma parcela. O primeiro passo consiste em localizar aleatoriamente um ponto no centro da parcela, demarcando-o com uma estaca de madeira, à qual se recomenda amarrar uma corda ou cinta métrica de 11,28 m de comprimento. Em seguida registram-se todas as árvores (espécie, dap e altura). Para estimar a biomassa total utiliza-se a equação alométrica (Quadro 6) de acordo com a situação local (clima, ecossistema, espécie e diâmetro).



**Figura 34.** Representação gráfica do formato de parcela circular para o inventário de árvores dispersas.

**Quadro 6.** Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (kg de matéria seca por árvore) em árvores isoladas (dispersas)

Equação Alométrica	Tipo de Floresta	Fonte
$\text{Log}_{10} Y = -2.18062 + 0.08012(\text{dap}) - 0.0006244(\text{dap}^2)$	Árvores dispersas em pastagens na América Central	1
$Y = 4.5 + 7.7 * H$	Palmeiras	2

Onde:

$\text{Log}_{10} Y$  = Logaritmo base 10 da matéria seca acima do solo, em kg de matéria seca por árvore

Y = matéria seca acima do solo, em kg de matéria seca por árvore

H: altura em metros; dap = diâmetro a altura do peito em cm

Fontes: 1) Ruiz 2002; 2) Frangi y Lugo 1985

### III.1.d. Cálculo do estoque de carbono na biomassa arbórea

#### Caixa 8. Cálculo do estoque de carbono na biomassa arbórea

**Passo 1.** Cálculo de biomassa arbórea acima do solo utilizando equação alométrica genérica

$$B_{AU} = f \text{ (dados dimensionais)}$$

Onde:

$B_{AU}$  = é a biomassa arbórea acima do solo de uma unidade, em kilogramas de matéria seca por árvore (Kg. M.S./árvore);

$f$  (dados dimensionais): é uma equação alométrica relacionando a biomassa acima do solo (Kg. M.S./árvore) aos dados dimensionais medidos em campo (ex. diâmetro na altura do peito – dap, e altura total da árvore – ht, etc).

#### Caixa 8. Cálculo do estoque de carbono na biomassa arbórea (continuação)

**Passo 2.** Cálculo de biomassa arbórea por hectare

$$B_A = (\Sigma_{AU}/1000) \times (10000/\text{área da parcela})$$

Onde:

$B_A$  = biomassa acima do solo arbórea (t MS/ha);

$\Sigma_{AU}$  = Somatória da biomassa arbórea de todas as árvores da parcela (Kg. M.S./área da parcela);

Fator 1000 = conversão das unidades da amostra de Kg. MS para t MS

Fator 10000 = conversão da área (m<sup>2</sup>) a hectare

**Passo 3.** Cálculo do estoque de carbono na biomassa arbórea por hectare

$$\Delta C_{BA} = (B_A * CF)$$

Onde:

$\Delta C_{BA}$  = quantidade de carbono na biomassa acima do solo (t C/ha);

$B_A$  = biomassa acima do solo arbórea (t MS/ha);

$CF$  = é a fração de carbono (t C / t MS). O valor padrão do IPCC para  $CF = 0,5$ .

### III.2. Biomassa de vegetação não arbórea

A vegetação não arbórea, como plantas herbáceas, arbustivas e gramíneas, está presente em todas as formas de uso do solo (florestal, agrícola e pastagens).

Para amostragem da vegetação arbustiva de pequeno porte, herbáceas e gramíneas, recomenda-se o uso de parcelas temporais aleatórias demarcadas através de um marco quadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (50 cm x 50 cm). O processo consiste em arremessar aleatoriamente o marco (Figura 35) dentro da parcela, e em seguida cortar rente ao solo todo o material localizado dentro do marco. De cada amostra é feita uma sub-amostra (200 g) que deve ser guardada em bolsas (plásticas ou de papel) devidamente identificadas, que serão enviadas ao laboratório, para secagem em forno-estufa de ar forçado a 60°C, até obter-se um peso constante. Determina-se assim a relação entre matéria seca e úmida, e a quantidade de carbono. Com os valores obtidos deve-se calcular o total de toneladas de matéria seca por hectare (t MS/ha) e posteriormente calcular a quantidade de carbono por hectare (t C/ha)



**Figura 35.** Exemplo ilustrativo da forma de arremessar aleatoriamente o marco, e a forma de coletar vegetação herbácea e gramínea em campo.

Para vegetação não arbórea de grande porte, estabelece-se uma pequena parcela de 4 m<sup>2</sup> (2m x 2m). Estas parcelas devem ser estabelecidas aleatoriamente dentro de cada estrato. Para o caso de amostragem de vegetação não arbórea em áreas florestais, estas parcelas podem ser consideradas como uma sub-parcela localizada no interior da parcela florestal estabelecida para o inventário. Corta-se rente ao solo todo o material localizado dentro do marco, seguindo o mesmo procedimento utilizado para amostragem da vegetação herbácea e gramínea.

Também existe a possibilidade de desenvolver ou utilizar equações de biomassa para arbustos, baseadas em variáveis como área da copa, altura ou diâmetro da base de plantas, ou outra variável relevante, como por exemplo, número de caules.

## Caixa 9. Cálculo do estoque de carbono em vegetação não arbórea

### Passo 1. Cálculo da matéria seca da amostra

$$MS_{amostra} = (MF_{sub-amostra} / MS_{sub-amostra}) \times MF_{amostra}$$

Onde:

$MS_{amostra}$  = matéria fresca da amostra (Kg/0,25 m<sup>2</sup> para vegetação arbustiva de pequeno porte, herbáceas e gramíneas ou Kg/4 m<sup>2</sup> para vegetação arbustiva de grande porte)

$MF_{sub-amostra}$  = matéria fresca (Kg) da subamostra levada para a determinação do teor de humidade.

$MS_{sub-amostra}$  = matéria seca (Kg) da subamostra levada para a determinação do teor de humidade.

$MF_{amostra}$  = matéria fresca da amostra (Kg/0,25 m<sup>2</sup> para vegetação arbustiva de pequeno porte, herbáceas e gramíneas ou Kg/4 m<sup>2</sup> para vegetação arbustiva de grande porte)

### Passo 2. Cálculo da quantidade de carbono na amostra da vegetação não arbórea

$$\Delta C_{BN amostra} = MS_{amostra} \times CF$$

Onde:

$\Delta C_{BN amostra}$ : Quantidade de carbono na biomassa da amostra de vegetação não arbórea (Kg C/0,25 m<sup>2</sup> ou Kg/4 m<sup>2</sup>);

$CF$ : é a fração de carbono (Kg. C /Kg. MS) determinada no laboratório ou utilizando o valor padrão do IPCC = 0,5.

### Passo 3. Cálculo da quantidade de carbono na biomassa da vegetação não arbórea por hectare.

A quantidade de carbono na biomassa da vegetação não arbórea por hectare é calculado partir do tamanho do marco (0,25 m<sup>2</sup> ou 4 m<sup>2</sup>), convertendo as unidades da amostra de Kg. C para t C (dividindo por 1000).

$$\Delta C_{BN} \text{ (t C/ ha)} = (10000 \text{ m}^2 / 0,25 \text{ m}^2 \text{ ou } 4 \text{ m}^2) \times ((\Sigma \Delta C_{BN amostras} / \text{número de amostras}) / 1000)$$

Onde:

$\Delta C_{BN}$  = Quantidade de carbono na biomassa de vegetação não arbórea (t C/ ha);

$\Sigma \Delta C_{BN amostras}$  = somatória da quantidade de carbono de todas as amostras (Kg. C/ 0,25 m<sup>2</sup>)

Fator 1000 = conversão das unidades da amostra de Kg. MS para t MS

Fator 10000 = conversão da área a hectare

### III.3. Cálculo do estoque de carbono na biomassa acima do solo

Para estimar o estoque de carbono na biomassa acima do solo, utiliza-se uma seleção de equações alométricas aplicadas às medições das árvores.

#### Caixa 10. Cálculo do estoque de carbono na biomassa acima do solo

$$\Delta C_{BAS} = \Delta C_{BA} + \Delta C_{BN}$$

Onde:

$\Delta C_{BAS}$  = Quantidade de carbono na biomassa acima do solo (ton C/ha);

$\Delta C_{BA}$  = Quantidade de carbono na biomassa de vegetação arbórea (t C/ ha);

$\Delta C_{BN}$  = Quantidade de carbono na biomassa de vegetação não arbórea (t C/ ha);

### III.4. Material e equipamentos para medição de biomassa de vegetação arbórea e não arbórea

A seguir apresenta-se uma descrição detalhada dos equipamentos e quantidade de mão-de-obra necessária para amostragem dos componentes de biomassa acima do solo (Quadro 7).

**Quadro 7.** Equipamento e quantidade de pessoal necessário para amostragem de biomassa acima do solo

Atividade	Materiais e equipamento	Pessoal	Rendimentos*
Amostragem de vegetação não arbórea	1 receptor GPS 5 m de corda de nylon 3 facões 1 balança de 25 kg ou mais de capacidade 1 balança de 1 a 5 kg de capacidade com um decimal de grama de precisão. sacos plásticos, marcadores, lápis, formulários e quadro de apoio.	3 pessoas	40 – 60 minutos
Inventário Florestal	1 receptor GPS 1 cinta métrica de 50 metros 1 hipsômetro 3 facões 1 estaca de madeira de 2 m de largura (pode conseguir-se em campo) 30 m de corda de nylon. marcadores, lápis, formulários e quadro de apoio.	3 pessoas	120-150 minutos

Atividade	Materiais e equipamento	Pessoal	Rendimentos*
Corte, medição e pesagem de árvores e palmeiras	1 motosserra 1 cinta métrica 4 facões 1 balança de 50 kg ou mais de capacidade 1 balança de 1 a 5 kg de capacidade com um decimal de grama de precisão. sacos plásticos, marcadores, lápis, formulários e quadro de apoio.	4 pessoas	1-5 horas**

Fonte: Carbono y Bosques 2005

\* Rendimentos por parcela, o número de parcelas por dia dependerá do tempo de deslocamento entre pontos de amostragem.

\*\* Rendimento por árvore. Este varia de acordo com o tamanho das árvores.



## IV. MEDIÇÃO DE BIOMASSA SUBTERRÂNEA

### IV.1. Biomassa de raízes arbóreas

A medição e estimativa da biomassa de raízes arbóreas é considerada uma árdua tarefa que demanda muito tempo e alto custo. De acordo com Schegel et al (2001), o custo é de cerca US\$ 120 por raiz amostrada. Para inventariar raízes é necessário realizar escavações completas. Sendo assim, alguns projetos optam por utilizar relações entre biomassa subterrânea e acima do solo através de equações alométricas obtidas na literatura científica. Neste sentido, a lógica para esta etapa consiste em procurar informação sobre equações alométricas para estimar a biomassa subterrânea de espécies ou ecossistemas similares ao presente na área de abrangência do projeto, ou do estrato. Há uma maior possibilidade de encontrar este tipo de informação para espécies florestais utilizadas em plantios comerciais.

#### Caixa 11. Equações alométricas para estimar a biomassa de raízes de bosques

Fórmula para todos os tipos de bosques:  $Y = \exp[-1,085 + 0,9256 \cdot \ln(BA)]$   $r^2: 0,83$

Fórmula válida para bosques tropicais:  $Y = \exp[-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(BA)]$   $r^2: 0,84$

Onde:

Y = biomassa da raiz em toneladas por hectare de matéria seca (t MS/ha)

ln = logaritmo natural; exp = “elevado a potencia de”

BA = biomassa aérea em toneladas por hectare de matéria seca (t MS/ha)

Tamanho da amostra para construção dos modelos: 151 indivíduos (árvores)

Fonte: UTMUTF 2003 citando a Cairns et al. 1997

Para o cálculo do estoque de carbono em biomassa de raízes arbóreas recomenda-se seguir os mesmos procedimentos descritos para o cálculo de carbono em biomassa de vegetação arbórea (ver Caixa 8).

### IV.2. Biomassa de raízes de vegetação não arbórea

Não é possível estimar a biomassa de raízes de vegetação não arbórea a partir dos dados da biomassa acima do solo. Portanto, recomenda-se realizar medições de campo. O método de amostragem (local e tamanho de parcela) deve ajustar-se aos procedimentos detalhados para o método de amostragem de biomassa de vegetação não arbórea. A medição da biomassa subterrânea requer a coleta de

amostras de solo através de cilindros de diâmetros e profundidade conhecidos ou trados especiais para coleta de raízes (Figura 36). Os rizomas e tubérculos também são considerados parte do depósito de biomassa subterrânea.

Como a concentração de raízes de vegetação não arbórea é maior na camada superior do solo, diminuindo exponencialmente à medida que aumenta a profundidade, recomenda-se amostragens até 40 cm, estratificadas de acordo com as seguintes quatro profundidades do solo: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm, devendo-se registrar claramente a profundidade correspondente da cada camada por amostra coletada. No laboratório as amostras de campo passarão por um processo de peneiragem e lavagem para eliminar solo e pedras, restando apenas raízes. As raízes serão secas em forno a 70°C até obter-se peso constante, para determinar a relação entre matéria seca e úmida e a quantidade de carbono. Posteriormente as raízes serão pesadas, determinando-se a biomassa por unidade de superfície. Com os valores obtidos calcula-se o total de toneladas de matéria seca por hectare (t MS/ha).



**Figura 36.** Trado para raízes

Fonte: Idelsur 2008.

#### Caixa 12. Cálculo do estoque de carbono na biomassa subterrânea

$$\Delta C_{BS} = (B_{BRA} * CF) + (B_{BRN} * CF)$$

Onde:

$\Delta C_{BS}$ : quantidade de carbono na biomassa subterrânea (t C/ha);

$B_{BRA}$ : biomassa de raízes de espécies arbóreas (t MS/ha);

$B_{BRN}$ : biomassa de raízes de espécies não arbóreas (t MS/ha);

$CF$ : é a fração de carbono (t C /t MS). Valor padrão do IPCC = 0,5

## V. MEDIÇÃO DE BIOMASSA EM MATÉRIA ORGÂNICA MORTA

### V.1. Serrapilheira e detritos

Para amostragem de serrapilheira recomendam-se parcelas temporais aleatórias demarcadas utilizando-se um marco quadrado de 0,25 m<sup>2</sup> (50 cm x 50 cm). Para o caso de amostragem de serrapilheira em áreas florestais, estas parcelas podem ser consideradas como uma sub-parcela localizada no interior da própria parcela florestal estabelecida para o inventário.

O processo consiste em coletar todo o material localizado dentro da parcela (marco). De cada amostra é feita uma sub-amostra (200 g) que deverá ser guardada em sacos (plásticos ou papel) devidamente identificados e enviados ao laboratório para secagem em forno numa estufa de ar forçado a 60°C até obter-se peso constante. Determina-se assim a relação entre teor de humidade e a quantidade de carbono. Com os valores obtidos deve-se calcular o total de toneladas de matéria seca por hectare (t MS /ha) e posteriormente calcular a quantidade de carbono por hectare (t C /ha).

Para o cálculo do estoque de carbono em serrapilheira e detritos recomenda-se seguir os mesmos procedimentos descritos para o cálculo de carbono em vegetação não arbórea (ver caixa 9).

### V.2. Troncos caídos, árvores mortas em pé e tocos maiores de 10 cm de diâmetro.

A madeira de árvores mortas em pé ou de tocos mortos maiores de 10 cm de diâmetro pode ser inventariada durante a medição de árvores vivas (inventário florestal), ou através de um método de amostragem específico para estes componentes. No primeiro caso, a madeira morta em pé será medida como parte do inventário florestal de árvores vivas, utilizando a mesma metodologia, porém registrando-se algumas variáveis à parte. Entre estas, a presença de ramas e rebrotes. Para as árvores mortas com arquitetura de copa similar (presença de ramas) às árvores vivas, recomenda-se utilizar a mesma equação alométrica das árvores vivas subtraindo a biomassa das folhas (aproximadamente entre 2% a 3% da biomassa acima do solo). Para as árvores mortas sem ramas o volume pode ser estimado medindo dap DAP e altura. A biomassa também pode estabelecer-se de acordo com a categoria de densidade da madeira.

Para inventariar os troncos caídos recomenda-se utilizar um transecto que de preferência cruze o centro da parcela partindo de um ponto aleatório até o extremo oposto. Recomenda-se que o transecto deve ter ao menos 100 metros de extensão. O número de transectos deverá ser calculado seguindo o mesmo procedimento descrito no “passo 4 - cálculo do número de parcelas requeridas”. Para permitir outras medições na mesma área do transecto, é importante registrar com precisão a linha onde foi traçado o transecto.

Para o caso de troncos caídos (maiores de 5 cm de diâmetro), o método consiste em estimar o diâmetro dos troncos (Figura 37) por categoria de densidade (muitas vezes relacionado com o estado de decomposição: sólido, intermediário e apodrecido).



**Figura 37.** Medição do diâmetro do tronco caído

Recomenda-se utilizar um facão, batendo este contra o tronco caído encontrado durante o percurso do transecto. Caso o facão rebote, deve-se considerar o tronco como sólido; caso ele penetre ligeiramente, considerar de densidade intermediária; e caso a madeira se desintegre, considerar o tronco como em estado de apodrecimento.

### **Caixa 13. Cálculo do estoque de carbono em troncos caídos**

**Passo 1.** Cálculo da densidade para cada categoria pré-definida

$$\text{Densidade (t/m}^3\text{)} = \text{massa} / \text{volume do tronco}$$

Onde:

Massa = massa da amostra (tronco) da categoria seca no forno, em toneladas (t)

Volume do tronco = em m<sup>3</sup>,  $\pi$  (média do diâmetro/2)<sup>2</sup> x largura média da amostra fresca

Determina-se a densidade média para obter um valor único de densidade para cada categoria.

**Passo 2.** Para cada categoria de densidade se estima o volume de troncos caídos por hectare utilizando a seguinte formula:

$$\text{Volume (m}^3\text{/ha)} = \pi^2 \times [(D1^2 + D2^2 + \dots + Dn^2) / (8 \times L)]$$

Onde:

D1, D2,..., Dn = diâmetro de cada tronco localizado na trajetória do transecto, em centímetros (cm).

L = largura do transecto, em metros (m);

### **Passo 3. Cálculo da biomassa de troncos caídos**

A quantidade de biomassa de troncos caídos é calculada a partir da multiplicação do volume (m<sup>3</sup>/ha de todos os troncos caídos, calculado a partir do transecto) pela respectiva densidade:

$$B_{TC} = (vol_1 \times dens_1) + (vol_2 \times dens_2) + \dots + (vol_n \times dens_n)$$

Onde:

**B<sub>TC</sub>**: biomassa de troncos caídos (t MS/ha)

vol1, vol2,...,voln= é o volume (m<sup>3</sup>/ha) dos troncos caídos de cada categoria calculado a partir do transecto

dens1, dens2,..., densn = densidade (t/m<sup>3</sup>) de cada categoria

### **Passo 4. Cálculo da quantidade de carbono na biomassa de troncos caídos**

$$\Delta C_{TC} = B_{TC} * CF$$

Onde:

**ΔC<sub>TC</sub>**: quantidade de carbono na biomassa de troncos caídos (t C/ha);

**B<sub>TC</sub>**: biomassa de troncos caídos (t MS/ha);

**CF**: é a fração de carbono (t C / t MS). Valor padrão do IPCC = 0,5.

Fonte: adaptado de Pearson et al. 2007.

## **Caixa 14. Cálculo do estoque de carbono em biomassa de matéria orgânica morta**

Para o cálculo da quantidade de carbono na biomassa de matéria orgânica morta

$$\Delta C_{MM} = \Delta C_{SD} + \Delta C_{AT} + \Delta C_{TC}$$

Onde:

**ΔC<sub>MM</sub>**: quantidade de carbono na biomassa de matéria orgânica morta (t C/ ha)

**ΔC<sub>SD</sub>**: quantidade de carbono na biomassa de serrapilheira e detritos (t C/ ha)

**ΔC<sub>AT</sub>**: quantidade de carbono na biomassa de árvores mortas em pé e tocos mortos (t C/ ha)

**ΔC<sub>TC</sub>**: quantidade de carbono na biomassa de troncos caídos (t C/ ha)

## VI. MEDIÇÃO DE CARBONO NO SOLO

### VI.1. Carbono orgânico

O carbono do solo está presente na forma orgânica e inorgânica. A forma orgânica equivale à maior reserva em interação com a atmosfera. O carbono orgânico presente no solo representa um balanço dinâmico entre a absorção de material vegetal morto e a perda por decomposição (mineralização). A informação sobre estoque de carbono no solo é importante para a elaboração da linha de base. Entretanto, a dinâmica do carbono do solo no tempo é difícil de ser estimada e os altos custos de medições muitas vezes são incompatíveis com os benefícios recebidos por projetos de pequenas propriedades rurais.

#### VI.1.a. Métodos de laboratório para análises de carbono do solo

A seleção do método de amostragem de solo em campo deve tomar em consideração o tipo de análise do carbono do solo no laboratório que se terá a disposição. O método de Walkley Black (método de oxidação úmida) é o mais utilizado em laboratórios devido a não demandar equipamentos sofisticados. A implicação de selecionar o método de oxidação úmida é que este não inclui a contabilização de carbonatos.

Para projetos que identifiquem que o carbono do solo contribuirá como uma importante fonte de estoque recomenda-se utilizar o método de combustão seca no laboratório. Entretanto, isto implica em realizar uma análise prévia do solo extraíndo carbono inorgânico através de acidificação, o que demanda identificar laboratórios dotados dos equipamentos necessários.

#### VI.1.b. Método para amostragens de solo em campo

Entre as principais formas para realizar amostragens de solo em campo, estão o estabelecimento de trincheiras e o uso de trados. Como a abertura de trincheiras representa um custo alto e demanda muito tempo, recomenda-se a utilização do trado. Nesta seção descreveremos os processos utilizando o mesmo (Figura 38).



**Figura 38.** Diferentes tipos de trados

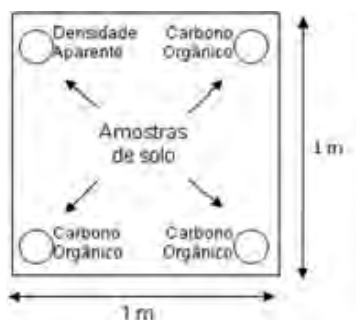
#### VI.1.c. Profundidade das amostragens

A profundidade a ser amostrada dependerá do tipo de projeto, condições da área, espécies utilizadas, e profundidade prevista em que ocorrerão mudanças no estoque de carbono do solo. Geralmente, as concentrações de carbono orgânico do solo são

mais altas em sua camada superior e diminuem exponencialmente conforme aumenta a profundidade. Recomenda-se medir o depósito de carbono do solo a profundidades de pelo menos 30 cm, dividindo esta em três horizontes (0-10, 10-20, 20-30 cm). Esta é a profundidade em que provavelmente ocorrerão variações perceptíveis no depósito de carbono durante o período do projeto. Para cada profundidade selecionada, deverão ser coletadas amostras de solo separadas para análises de carbono orgânico, densidade aparente e raízes finas.

#### VI.1.d. Coleta de amostras para medição de carbono orgânico

Em cada parcela (Figura 39) recomenda-se coletar três amostras de solo para cada profundidade de amostra, utilizando um cilindro metálico com volume conhecido (ex. trado). Estas amostras devem ser misturadas (homogeneizadas) num mesmo recipiente, para em seguida retirar-se uma amostra composta (200 g) que deve ser depositada num saco (de papel ou plástico) para ser encaminhada ao laboratório. Cada uma das amostras de solo deve ser coletada com muito cuidado para evitar a perda de material.



**Figura 39.** Parcela para amostragem de solo

#### Caixa 15. Cálculo de carbono orgânico no solo

O carbono armazenado no solo é calculado através da somatória do carbono armazenado em cada horizonte definido:

$$COS = \sum_{\text{horizonte}=1}^{\text{horizonte}=n} COS_{\text{horizonte}} = \sum_{\text{horizonte}=1}^{\text{horizonte}=n} ([COS] * Densidade\ aparente * Profundidade * d * (1 - frag) * 10)_{\text{horizonte}}$$

Onde:

COS = conteúdo de carbono orgânico do solo, representativo do tipo de uso do solo (t C/ ha)

COShorizonte = conteúdo de carbono orgânico do solo para um determinado horizonte (t C/ ha)

[COS] = concentração de carbono orgânico do solo para uma determinada massa de solo obtida de análises de laboratório (g C /kg de solo)

Densidade aparente = massa de solo por volume de amostra (t de solo m<sup>-3</sup>)

Profundidade = profundidade do horizonte ou espessura da capa de solo, em metros (m)

frag = volume percentual de fragmentos grossos/100, sem demissão<sup>22</sup>

Obs.: Utiliza-se o multiplicador final 10 para converter as unidades em t C/ ha

Fonte: IPCC 2006b

<sup>22</sup> O valor [COS] costuma ser determinado em frações de terra fina (geralmente, < 2 mm). A densidade aparente deveria ser corrigida para refletir a proporção de volume de solo ocupado por fragmentos grossos (partículas de diâmetro ≥ 2 mm).



### VI.1.e. Coleta de amostras para medição de densidade aparente

Para estimar o carbono armazenado no solo é necessário medir a densidade aparente do solo a cada nível de profundidade, em cada parcela. Para tanto, utiliza-se material de uma das extremidades da parcela não utilizadas (Figura 40) para a coleta de amostras para a medição do carbono orgânico. Para determinar a densidade aparente, as amostras de solo devem ser retiradas utilizando cilindros metálicos de volume conhecido, específicos para este tipo de amostragem. Estas amostras devem ser realizadas para cada profundidade selecionada. A Figura 40 a seguir descreve passo a passo a forma de tomar uma amostra para densidade aparente. O exemplo a seguir foi realizado numa trincheira.



Marcação das profundidades a serem amostradas



Penetração dos cilindros



Preparação para extrair a amostra de solo sem destruir o material



Forma correta de extrair o cilindro



Forma de preparar o cilindro para obter a amostra final de solo



Cilindro preparado para ser depositado no saco



Extração do solo do cilindro para ser depositado em um saco

**Figura 40.** Sequência tomada de amostra para densidade aparente em trincheira

Fonte: Experiência do projeto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas”

Em solos pedregosos, de textura grossa, medir a densidade aparente através de cilindros provavelmente resultará em valores superestimados. Nesta situação se faz necessário a amostragem através de trincheiras. Desta forma, para cada profundidade (horizonte) definida dentro do perfil, recomenda-se realizar escavações estimando o volume porcentual ocupado pelas pedras. Ou seja, a porcentagem de pedregosidade é avaliada através da observação direta, utilizando-se uma régua para medir o tamanho máximo e mínimo das pedras presentes.

### Caixa 16. Cálculo para determinar densidade aparente do solo

No laboratório, as amostras de solo serão secas em uma estufa de ar forçado a 105 °C pelo tempo necessário até que atinjam o peso constante, obtendo-se assim o peso seco do solo proveniente de cada um dos cilindros. O cálculo para determinar a densidade aparente é o seguinte:

$$Da = mss/v \text{ total}$$

Onde, a divisão entre a massa do solo seco (mss, em gramas) e o volume do cilindro (v total, em cm<sup>3</sup>) corresponde à densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>) do solo. O volume do cilindro é calculado através da seguinte fórmula:

$$v = \pi \times r^2 \times h$$

Onde, r equivale ao raio (em cm) e, h à altura (em cm).

## VI.2. Biomassa de raízes finas (diâmetro menor que 2 mm)

### VI.2.a. Coleta de amostras para medição de biomassa de raízes finas

O procedimento consiste em também utilizar o trado (com 8 cm de diâmetro e 25 cm de altura) para extrair amostras de solo exclusivamente para análises de raízes. Estas amostras serão coletadas em distintos intervalos de profundidade, tendo em consideração que raízes de espécies vegetais não arbóreas predominam nos primeiros 30 cm.

As amostras obtidas devem ser guardadas em sacos plásticos devidamente identificados e mantidos em refrigeração (4 - 7 °C) até que ocorram as análises de laboratório.

No laboratório as amostras de campo passarão por um processo de peneiragem e lavagem (Figura 41) para eliminar solo e pedras, restando unicamente as raízes finas. Recomenda-se aplicar um fator de correção de 1,25 a 2,0 aos resultados finais, para contemplar as perdas de raízes devido ao processo de amostragem e processamento. As raízes serão secas em um forno a 70°C até obter peso constante. A seguir realizam-se os respectivos cálculos para registrar a biomassa, em toneladas por hectare de matéria seca de raízes (t/ha), relativa a cada intervalo de profundidade.



**Figura 41.** Processo de peneiragem e lavagem de raízes finas em laboratório

Fonte: Ramos 2003.

### VI.3. Material e equipamentos para medição de carbono orgânico e de raízes finas

Alguns materiais e ferramentas podem resultar de difícil acesso, como os GPS ou clinômetros. Entretanto, a maioria dos equipamentos é de fácil acesso e baixo custo (Figura 42). O Quadro 8 apresenta as ferramentas utilizadas comumente para o levantamento de dados para a avaliação de carbono do solo.

**Quadro 8.** Ferramentas necessárias para realizar inventários de carbono no solo

Materiais e Ferramentas	Utilidade
Mapas	Recomenda-se orientar a localização das parcelas através de mapas da área de abrangência do projeto, dos estratos e das parcelas com suas respectivas coordenadas geográficas.
Geo-posicionador (GPS)	Orientar a localização das parcelas
Bússola	Orientar a localização das parcelas
Clinômetro	Medir o declive do solo
Pás e enxadas	Auxiliar na amostragem de solo.
Equipamento para chuva, lonas plásticas	Evitar perda de amostras devido a chuvas inesperadas.
Sacos de papel, plástico	Guardar as amostras de serrapilheira, vegetação (herbáceas, gramíneas e arbustivas) e solos.
Cilindros para densidade aparente (trado) e martelo	Tomar amostras de solo sem danificar o material. Calcular a densidade aparente do solo.
Cinta métrica de 50 m	Medir o tamanho das parcelas
Fações, facas, tesouras e serra de poda	Coletar amostras. Necessários para cortar plantas e raízes.
Marcadores permanentes, lápis	Marcar sacos e anotar dados de campo e outras informações.
Caixa de ferramentas	Para guardar ferramentas de tamanho pequeno como cilindros, facas, tesouras, martelos, espátulas, lápis, sacos, etc.

**Figura 42.** Materiais e ferramentas para medição de carbono e raízes

Fonte: MacDicken 1997 e experiência do projeto “Enfoques Silvopastoriles Integrados para el Manejo de Ecosistemas”

## VII. CÁLCULO DO CARBONO DA ÁREA DO PROJETO

Para calcular o carbono da área do projeto, deve-se somar todas as quantidades de carbono dos estratos para todas as categorias de uso da terra medidas

$$\Delta C_{\text{projeto}} = \sum \Delta C_{\text{estratos}}$$

$\Delta C_{\text{projeto}}$  = Quantidade de carbono da área projeto definido (t C)

$\sum \Delta C_{\text{estratos}}$  = somatória da quantidade de carbono de todos os estratos de todas as categorias de uso da terra medidas (t C)

### VII.1. Cálculo de carbono para um determinado estrato

Para calcular o carbono de um estrato de uma determinada categoria de uso da terra, simplesmente devem-se somar todos os depósitos medidos

$$\Delta C_{\text{estrato}} = (\Delta C_{\text{BSA}} + \Delta C_{\text{BS}} + \Delta C_{\text{MM}} + \Delta C_{\text{SR}} + \Delta C_{\text{SO}}) * \text{área do estrato}$$

$\Delta C_{\text{estrato}}$  = Quantidade de carbono de um determinado estrato de uma categoria de uso da terra (t C)

Área do estrato: em hectares (ha)

Onde os sub-índices referem-se aos seguintes depósitos de carbono:

BSA= biomassa acima do solo (t C/ha)

BS = biomassa subterrânea (t C/ha)

MM = madeira morta (t C/ha)

SR = serrapilheira (t C/ha)

SO = solos (t C/ha)

### VII.2. Cálculo do incremento de carbono do projeto

O incremento do estoque de carbono do projeto resultará da diferença nas quantidades de carbono calculadas em dois momentos de medição.

$$\Delta C_{\text{incremental}} = C_{t2} - C_{t1}$$

$\Delta C_{\text{incremental}}$  = Incremento da quantidade de carbono da área total do projeto (t C)

$C_{t1}$  = Quantidade de carbono do projeto no momento t1, considerando a superfície total (t C)

$C_{t2}$  = Quantidade de carbono do projeto no momento t2, considerando a superfície total (t C)

### VII.3. Cálculo do carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>)

Como já apresentado, as reduções de emissões resultantes da atividade de projetos florestais são contabilizadas em forma de Certificados de Redução de Emissões (CRE's) e negociadas em mercados internacionais. Um CRE corresponde a uma tonelada métrica de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2e</sub>), calculada com o uso dos potenciais de aquecimento global. Uma tonelada de carbono equivale a 3,67 toneladas de CO<sub>2e</sub> (obtido em razão dos pesos moleculares). Para saber a quantidade de CO<sub>2e</sub> emitido ou armazenado a partir da quantidade de carbono de um determinado depósito deve-se multiplicar esta por 3,67. Assim, um projeto que armazene (seqüestre) anualmente 15 tC/ha, poderá negociar no mercado o equivalente a 55 CRE's por hectare por ano (55 tCO<sub>2e</sub>/ha/ano).

## VIII. PROCEDIMENTOS PARA SELEÇÃO E GERAÇÃO DE EQUAÇÕES ALOMÉTRICAS DE BIOMASSA

A biomassa de um ecossistema florestal é função de sua composição florística, densidade populacional, etapa de desenvolvimento (idade do plantio, no caso de reflorestamento ou aflorestamento), grau de restrição ecológica (ao início da plantação), condições edafoclimáticas e do estado de degradação da área. Como visto na seção III.1, existem dois métodos para estimar a biomassa de uma área florestal, o método direto e o indireto

Através das equações obtidas pelo método indireto podem-se estimar a biomassa total ou de alguns componentes das árvores existentes nas áreas avaliadas. Estas mesmas equações podem ser utilizadas para estimar biomassa em áreas que apresentem condições ecológico-produtivas similares. Comumente, técnicos e pesquisadores utilizam equações alométricas disponíveis na literatura para estimar a biomassa em ecossistemas florestais de suas regiões. Não obstante, é necessário ter sempre em consideração a variação entre as áreas florestais onde se coletaram os dados para gerar a equação, e as áreas onde se pretendem aplicar a determinada equação.

51

Gerar modelos alométricos pode ser um processo oneroso que demanda conhecimentos básicos de estatística e/ou contar com o apoio de um profissional desta especialidade. Portanto, é necessário definir entre utilizar equações alométricas existentes na literatura ou desenvolver equações próprias. Mas como selecionar as equações existentes? E como construir uma equação alométrica? Estas e outras dúvidas serão respondidas através dos procedimentos apresentados a seguir.

### VIII.1. O que é uma equação alométrica de biomassa?

Uma equação alométrica<sup>23</sup> de biomassa é uma ferramenta matemática que permite conhecer de forma simples, a quantidade de biomassa de uma árvore através da medição de outras variáveis. As equações são geradas a partir da análise de regressão, onde se estudam as relações entre a massa (geralmente em peso seco)

---

<sup>23</sup> A alometria estuda os padrões de crescimento dos seres vivos e a proporcionalidade entre razões específicas ou relativas de crescimento.

das árvores e seus dados dimensionais (ex. altura, diâmetro). Dependendo do número de variáveis independentes (dados dimensionais) a equação pode ser uma regressão linear simples (uma única variável, ex. dap) ou regressão linear múltipla (mais de duas variáveis, ex. dap, altura total, etc). Dependendo de sua natureza as equações podem ser lineares ou não lineares.

Regressão Linear Simples:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i$   $i = 1, \dots, n.$

Regressão Linear Múltipla:  $Y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi}$   $i = 1, \dots, n.$

Regressão Não Linear:  $e = \alpha / (1 + e^{-(\lambda + kX)/\delta})^\delta$

Onde:

Y é a variável dependente (ex. volume de biomassa em Kg)

$x_1, x_2 \dots + x_p$  são as variáveis independentes (ex. dap, altura, etc.)

$\beta_0, \beta_1, \beta_2 \dots \beta_p$  são os parâmetros (constantes) do modelo.  $\beta_0$  é o valor do intercepto.

As variáveis independentes mais utilizadas são o dap (diâmetro à altura de peito) e a altura total. Algumas equações também consideram como variáveis independentes a altura comercial, volume, densidade da madeira, entre outras.

O uso de equações alométricas permite o cálculo da biomassa de uma espécie florestal de uma maneira não destrutiva e extrapolável a situações de crescimento similares (Montero e Montagnini 2005).

## VIII.2. Que tipos de equações alométricas existem?

Na literatura podem ser encontrados dois tipos de equações alométricas desenvolvidas para estimar a biomassa das árvores:

1. equações individuais que calculam a biomassa de espécies ou plantações específicas como:

$$Hevea\ brasiliensis^{24} : e = -3,84 + 0,528 \cdot SB + 0,001 \cdot SB^2$$

$$Tectona\ grandis^{25} : e = 0,153 \cdot dap^{2,382}$$

Onde: e = Biomassa seca sobre o solo, em kg de matéria seca por árvore

dap = diâmetro a altura do peito em cm

SB = área basal,  $cm^2$

<sup>24</sup> Equação desenvolvida por Schroth et al (2002) a partir de 10 exemplares de 7 anos de idade, com 6 a 20 cm de dap (UTMUTF 2003).

<sup>25</sup> Equação desenvolvida por Pérez y Kanninen (2003) a partir de 87 exemplares de 5 a 47 anos de idade, com 10 a 59 cm de dap (UTMUTF 2003).



2. equações gerais que calculam a biomassa de qualquer espécie de árvore presente em bosques naturais ou outros usos da terra:

Madeiras duras de zonas tropicais úmidas<sup>26</sup> :

$$Y = \exp[-2,289 + 2,649 \cdot \ln(\text{dap}) - 0,021 \cdot (\ln(\text{dap}))^2]$$

Onde: ln = logaritmo natural; exp = “elevado a potencia de”

As equações de biomassa podem ser geradas para estimar um grupo de componentes (ex. biomassa aérea) ou especificamente para um dos componentes (ex. raízes). As equações alométricas de biomassa para estimar raízes usualmente estão em função da biomassa aérea:

$$\text{Biomassa de raízes}^{27} : e = \exp[-1,0587 + 0,8836 \cdot \ln(\text{BA})]$$

Onde:

Y= biomassa de raízes em toneladas por hectare de matéria seca (t MS/ha)

ln = logaritmo natural; exp = “elevado a potencia de”

BA = biomassa aérea em toneladas por hectare de matéria seca (t MS/ha)

### VIII.3. Como selecionar uma equação alométrica para estimar biomassa?

#### Passo 1. Seleção de espécies

Para selecionar uma equação de biomassa, deve-se fazer a seguinte pergunta:

*Necessito uma equação de biomassa para uma espécie arbórea específica de uma plantação florestal, ou necessito uma equação para calcular a biomassa de muitas espécies de um bosque?*

53

#### Passo 2. Revisão de literatura

Procurar na literatura se existem equações alométricas disponíveis para calcular a biomassa da(s) espécie(s) arbórea(s) de nosso interesse, presentes no uso da terra de nosso estudo.

#### Passo 3. Seleção de equação alométrica

Se após procurar na literatura, descobrimos que existe mais de uma equação alométrica para nosso objetivo, devemos selecionar a equação que melhor estime os dados. Para isto, deve-se seguir os critérios de seleção apresentados no Quadro 9:

---

<sup>26</sup> Equação desenvolvida para madeiras duras de bosques tropicais úmidos com 5 a 148 cm de dap (UTMUTF 2003). Caracterizam-se como zonas tropicais úmidas regiões com precipitações entre 2.000-4.000 mm/ano em terras baixas (UTMUTF 2003).

<sup>27</sup> Fórmula válida para bosques tropicais (UTMUTF 2003 citando a Cairns et al. 1997).

**Quadro 9.** Critérios de seleção de equações alométricas

Critério	Descrição	Porque é importante este critério
Condições edafoclimáticas	Quando possível, assegurar que a equação alométrica foi desenvolvida numa região que cumpre com condições climáticas semelhantes à zona do projeto: <ul style="list-style-type: none"><li>• Temperatura média anual</li><li>• Precipitação anual</li><li>• Altura sobre o nível do mar</li><li>• Zona ecológica ou zona de vida</li><li>• Tipo de solo</li></ul>	As condições climáticas de uma região influenciam a diversidade de espécies arbóreas e as estratégias de crescimento destas.  Quanto mais semelhantes sejam as condições edafoclimáticas da zona onde se desenvolveu a equação alométrica com as condições de nossa área de trabalho, mais precisa será a estimativa de biomassa para a área de estudo.
Espécies utilizadas	Deve-se ter um mínimo de 30% das principais espécies utilizadas para desenvolver a equação alométrica entre a lista de espécies do bosque ao qual queremos estimar os conteúdos de biomassa.	Este critério aplica-se para equações alométricas gerais que estimam biomassa em bosques.  Quanto maior o número de espécies similares em nossa área de estudo, maior será a precisão de nossas estimativas de biomassa.
Dimensões das árvores	Assegurar que as árvores selecionadas para desenvolver a equação alométrica tenham uma amplitude de dap e altura similares às características das árvores em nossa área de estudo.	Com uma maior semelhança das dimensões das espécies com as dimensões de nossa área florestal, maior será a precisão de nossas estimativas de biomassa.
Comparar os resultados gerados em ao menos duas equações alométricas	Comparar as equações alométricas e selecionar a equação com o valor estatístico R <sup>2</sup> mais alto, e se possível, a que apresente melhor distribuição dos resíduos (ver mais em VIII.4.h).	Este critério aplica-se caso tenhamos mais de uma equação alométrica que cumpra com os critérios anteriores.  Para projetos de carbono é recomendável ser conservador no informe de dados de biomassa (carbono). Dados muito altos de medição ex-ante resultam em altos valores para os créditos de carbono que o projeto gerará, com implicações negativas nos cálculos financeiros, podendo causar o fracasso do projeto.

**Passo 4.** Verificação da confiabilidade da equação alométrica selecionada

Uma vez selecionada a equação seguindo os critérios mencionados anteriormente, recomenda-se avaliar a confiabilidade utilizando dados de biomassa de árvores representativas (tipo de espécie e classe diamétrica) ou de um conjunto de árvores de parte da área (parcela) obtidos pelo método destrutivo. Mais detalhes sobre o procedimento necessário para obter os dados de campo (medição de variáveis, corte

das árvores, separação de partes, pesagem das partes, secagem em laboratório e determinação de biomassa seca) estão disponíveis na próxima seção.

Deve-se selecionar cuidadosamente e, principalmente, avaliar a confiabilidade dos modelos alométricos a serem utilizados para estimar a biomassa dos componentes florestais. Caso contrário, poderão ocorrer sub ou super-estimativas dos valores. Chave et al. (2005) comentam que vários autores notificaram que modelos tendem a superestimar biomassa. Como exemplo desta situação, partindo de modelos existentes na literatura, Alves et al. (1997) estimaram a biomassa de um bosque tropical de Rondônia, Brasil, de sucessão primária e secundária com diferentes idades. As diferentes equações produziram estimativas com variações de até 400%.

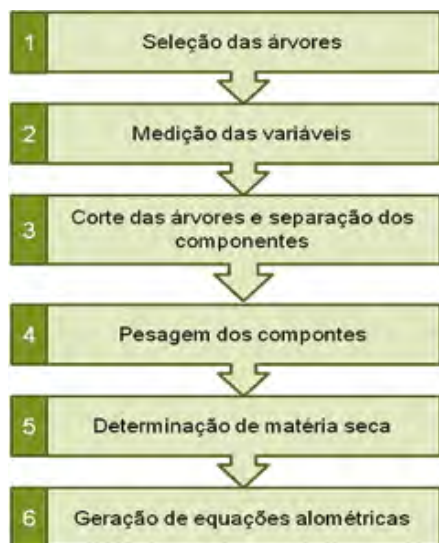
Num recente trabalho sobre desenvolvimento de equações alométricas para a região sul da Amazônia (no chamado Arco do Desmatamento), Nogueira et al. (2008) comprovaram que as estimativas de emissões de carbono a partir do desmatamento da floresta amazônica apresentavam valores superestimados. Esta superestimação ocorreu devido a que os cálculos usualmente realizados baseavam-se na extrapolação de dados obtidos a partir de equações alométricas desenvolvidas exclusivamente em florestas fechadas da região da Amazônia central. Além da densidade de indivíduos arbóreos, outro fator importante identificado pelo estudo que contribuía com a superestimação é o fato de que a densidade da madeira proveniente das florestas abertas da região sul da Amazônia resulta ser menor do que a da madeira com origem nas florestas fechadas da região central, implicando, portanto, em menores quantidades de biomassa.

#### **VIII.4. Como desenvolver uma equação alométrica?**

No caso de não encontrar-se na literatura as equações alométricas específicas para as espécies ou tipo de bosque da área do projeto, ou para situações que não reúnam os critérios de seleção mencionados anteriormente, recomenda-se proceder com o desenvolvimento de uma equação alométrica.

##### **VIII.4.a. Procedimentos para o desenvolvimento de uma equação alométrica**

Para desenvolver uma equação alométrica, inicialmente devem-se selecionar as espécies e o número de indivíduos cujo corte seja necessário. Uma vez selecionadas as árvores, mede-se o diâmetro à altura de peito (dap) e a altura (total ou comercial). Posteriormente, cortam-se as árvores selecionadas e separam-se os troncos, ramas, folhas, e quando possível e desejável, raízes. Cada uma destas partes é levada à balança em campo para conhecer seu peso em biomassa fresca. Desta biomassa fresca se extrai uma amostra que é levada ao laboratório para conhecer seu peso seco,



**Figura 43.** Procedimentos para o desenvolvimento de equação alométrica

que logo é denominado como biomassa seca. Posteriormente, com estes dados e mediante um programa computacional, procede-se em testar distintos modelos alométricos para conhecer qual é a melhor opção desde uma perspectiva matemática. Os passos necessários para desenvolver uma equação alométrica são relacionados na Figura 43

#### VIII.4.b. Seleção de árvores

Antes de seleccionar os indivíduos a cortar, recomenda-se identificar quais são as espécies dominantes nos distintos estratos florestais demarcados pela área do projeto, principalmente nos bosques naturais. Para isto, realiza-se o inventário florestal seguindo os mesmos procedimentos sugeridos nas sessões II e III.

O inventário florestal proporcionará informação sobre a composição florística, como o número de espécies, densidade de indivíduos e sua estrutura (dap). As espécies a serem seleccionadas serão aquelas com maior densidade de indivíduos por área. Para a caracterização e classificação dos bosques de acordo a sua composição florística, recomenda-se utilizar o Índice de Valor de Importância (IVI).

#### Caixa 17. Índice de Valor de Importância - IVI

A análise do IVI permite conhecer quais são as espécies mais importantes em um uso específico da terra (ver II.2). O IVI considera:

**Abundância:** número de árvores por espécie. Distingue-se entre abundância absoluta (número de indivíduos/espécie) e relativa (proporção porcentual de cada espécie no número total de árvores);

**Frequência:** existência ou falta de uma espécie em determinada parcela. A frequência absoluta se expressa em porcentagem (100% = existência em todas as parcelas). A frequência relativa de uma espécie se calcula como sua porcentagem na somatória das frequências absolutas de todas as espécies.

**Dominância:** o grau de cobertura das espécies é a expressão do espaço ocupado por elas. Recomenda-se calcular a dominância absoluta de uma espécie a partir do dap. A mesma é definida pela somatória das áreas basais individuais, expressas em m<sup>2</sup>/ha. A dominância relativa se calcula como a proporção de uma espécie na área basal total avaliada (100%).

Para saber mais sobre o Índice de Valor de Importância, consultar Curtis e McIntosh (1950).

Uma vez selecionadas as espécies mais importantes de acordo com sua dominância absoluta, procede-se em selecionar distintos indivíduos (árvores) que representem as distintas classe diamétricas. O ajuste das equações alométricas de biomassa adequam-se e predizem melhor a determinadas classes. Portanto, recomenda-se dividir o estrato em distintas classes diamétricas, selecionando um número determinado de indivíduos dentro de cada classe.

A divisão da classe diamétrica pode estar em função da abundância relativa tomando em consideração sua distribuição diamétrica, ou simplesmente definida caso a caso de acordo com as possibilidades. Dependendo da circunstancias (ex. bosque com alta diversidade de espécies), recomenda-se dividir em ao menos três classes diamétricas (ex. dap  $\leq 15$  cm; dap entre 15 cm e 30 cm; dap  $\geq 30$  cm). Com a divisão em classes de diâmetros agrupam-se as árvores de características similares de tronco, diminuindo a amplitude volumétrica entre classes, de forma a obter coeficientes de melhor precisão com a mesma quantidade de dados observados.

O número de indivíduos a cortar dependerá dos custos (tempo) e da variabilidade da composição florística. Alguns estudos desenvolvem equações alométricas partindo de 15 árvores por espécie ou grupo de espécies. Outros estudos, em bosques naturais, cortaram todas as árvores presentes numa determinada parcela. Posteriormente, a partir da informação destes exemplares e aplicando os critérios de seleção de modelos (ver seção VIII.4.h, passo 4) avalia-se a necessidade de cortar mais indivíduos

#### VIII.4.c. Medição de variáveis

Selecionadas as árvores, é necessário medir o diâmetro à altura do peito (Figura 44) e a altura da árvore em pé (altura comercial ou total). Recomenda-se que as medições sejam realizadas na época do ano em que as árvores apresentam biomassa verde (folhas) em sua totalidade.

#### VIII.4.d. Corte das árvores, separação de partes

Este processo deve ser realizado a cada uma das árvores avaliada para a determinação da biomassa seca. Após a devida medição das características dimensionais (dap e altura) do indivíduo em pé, corta-se a árvore rente ao solo (Figura 45).



**Figura 44.** Medição do dap utilizando fita diamétrica



**Figura 45.** Corte da árvore

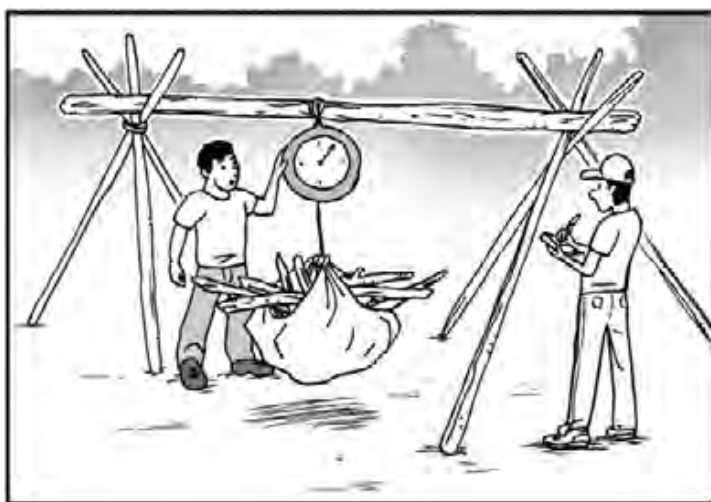


**Figura 46.** Medição do tronco segmentado

Dividem-se suas partes em tronco, ramas, folhas, e quando é desejável e possível, raízes. Segmenta-se o tronco (não mais de 3 metros de largura cada uma), e a cada parte é realizada a medição do diâmetro (mínimo e máximo) e da largura (Figura 46). No Anexo 3 é apresentado um exemplo de formulário para coleta de informação de biomassa.

#### **VIII.4.e Pesagem das partes**

Posteriormente, são pesados (Figura 47) todos os componentes para conhecer seu peso fresco. De cada um dos componentes (troncos, ramas, folhas e raízes) se extrai uma amostra que é levada ao laboratório. Para mais detalhes deste procedimento, consultar a seção III.



**Figura 47.** Pesagem de ramas cortadas

#### VIII.4.f Secagem em laboratório

As amostras tomadas em campo são levadas a um laboratório para a secagem em forno a uma temperatura entre 70° e 100° C (dependendo do tipo de componente) até que alcancem um peso constante. Para mais detalhes, consultar seção III.

#### VIII.4.g Determinação de biomassa seca

A biomassa seca (ou matéria seca) de cada componente da árvore é determinada mediante a relação peso seco - peso fresco das amostras de cada componente:

$$BS_{\text{componente}} = (PS_{\text{amostra}} / PH_{\text{amostra}}) * BH_{\text{componente}}$$

Onde:

BS = Biomassa seca do componente (Kg);

PS = Peso seco da amostra (g);

PH = Peso úmido da amostra (g);

BH = Biomassa úmida do componente (Kg).

A biomassa seca total de cada árvore é determinada somando a biomassa seca de cada um de seus componentes:

$$BS_{\text{total indivíduo}} = BS_{\text{tronco}} + BS_{\text{ramas}} + BS_{\text{folhas}} + BS_{\text{raízes}}$$

#### VIII.4.h Geração de equação de biomassa

Como já sabemos, as equações podem ser geradas especificamente para um (ex. equações alométricas de raízes) ou mais componentes (ex. equações alométricas de biomassa aérea) de uma determinada espécie ou tipo de bosque. As equações podem estar em função de uma determinada classe diamétrica (ex. 5 a 10 cm, 10 a 20 cm de dap) ou para todos os diâmetros presentes em uma determinada plantação florestal ou bosque (ex. 5 a 120 cm de dap).

##### **Passo 1.** Identificação de apoio técnico e programa estatístico

Para gerar os modelos necessita-se conhecimentos básicos de estatística ou contar com o apoio de um especialista nesta área. Também, deve-se contar com um programa (ex. R<sup>28</sup>, SAS<sup>29</sup>, Minitab<sup>30</sup>, Infostat<sup>31</sup>, etc.) que gere as informações estatísticas e gráficos necessários para a seleção das equações.

---

<sup>28</sup> <http://www.r-project.org/>

<sup>29</sup> <http://www.sas.com/software/>

<sup>30</sup> <http://www.minitabbrasil.com.br/>

<sup>31</sup> <http://www.infostat.com.ar/>



## Passo 2. Definição de variáveis independentes

Selecionado o programa estatístico, o primeiro procedimento para gerar a equação consiste em calcular as médias, desvios padrão, valores máximos e mínimos dos dados coletados. Neste momento se analisa a correlação de Pearson<sup>32</sup> ( $r$ ) entre as variáveis dimensionais (independentes, ex. dap, altura total, etc).e as variáveis de biomassa de cada componente de cada espécie avaliada.

Seguindo com o procedimento, elaboram-se diagramas de dispersão entre todas as variáveis para observar as tendências e possíveis relações entre as variáveis (dap, altura, biomassa) e a possível identificação de valores aberrantes (comumente os valores aberrantes são causados por erros de coleta de dados). Recomenda-se inserir uma linha de ajuste para facilitar a interpretação das correlações (Figura 48).



**Figura 48.** Linha de regressão e nuvem de pontos de pares de medições para a regressão alométrica simples  $ht = f(dap)$  nos saiales dos bosques de guandal no delta do rio Patia, Pacífico sul colombiano.

Fonte: Ignacio 2003.

Além de ser considerada a variável mais fácil a ser medida em campo, principalmente em bosques naturais onde visualizar a altura total das árvores é muito difícil, o dap é a variável que mais correlaciona com a biomassa. Frequentemente, os modelos alométricos existentes na literatura estão unicamente em função desta variável.

## Passo 3. Seleção de equações de regressão

Recomenda-se inicialmente provar modelos de regressão já existentes na literatura para estimar a quantidade de biomassa (total ou do componente específico) a partir do diâmetro (dap), altura total, altura comercial, volume, ou uma combinação de variáveis (usualmente entre dap e altura total). Os modelos de regressão existentes na literatura mais utilizados incluem:

<sup>32</sup> A análise de correlação de Pearson ( $r$ ) indica a relação entre duas variáveis lineares, e os valores sempre serão entre +1 e -1. O sinal (+ ou -) indica se a correlação é positiva ou negativa, e o valor do índice indica a força da correlação. Um índice superior a 0.70 (positivo ou negativo) indica que as variáveis estão fortemente correlacionadas. Valores de 0.30 a 0.70 (positivo ou negativo) indicam que a correlação é moderada. Valores entre 0 e 0.30 indicam uma débil correlação.

Naslund	$Biomassa = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 (d^2 h) + \beta_3 (d h^2) + \beta_4 h^2$
Schumacher-Hall	$\ln Biomassa = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h$
Husch	$\ln Biomassa = \beta_0 + \beta_1 \ln d$
Meyer	$Biomassa = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 h + \beta_3 d^2 + \beta_4 (d^2 h) + \beta_5 (d h)$
Stoate	$Biomassa = \beta_0 + \beta_1 h + \beta_2 d^2 + \beta_3 (d^2 h)$
Spurr	$\ln Biomassa = \beta_0 + \beta_1 \ln (d^2 h)$

Onde:

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  e  $\beta_5$ : parâmetros do modelo; v: volume em m<sup>3</sup>; d: dap em cm; h: altura total em m; Ln: logaritmo neperiano

#### **Passo 4.** Seleção de modelos alométricos de biomassa

Para a seleção do modelo podem-se utilizar os seguintes parâmetros estatísticos (Quadro 10):

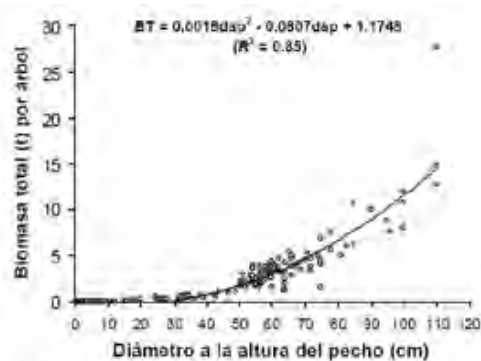
**Quadro 10.** Parâmetros estatísticos de seleção de equações alométricas

Parâmetros estatísticos	Análise
Lógica biológica do modelo	Boa parte dos técnicos relacionados com a coleta de dados é capaz de compreender relações entre variáveis dependentes, assim como, identificar as razões da ocorrência de valores atípicos (aberrantes).
Coefficiente de determinação ( $R^2$ )	O $R^2$ expressa a quantidade de variação da variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes. Quanto mais próximo de um (1) é o valor de $R^2$ , melhor foi realizado o ajuste (Machado 2002).
Coefficiente de variação (CV%)	O coeficiente de variação é uma medida relativa, que permite comparar a dispersão entre duas populações, ou a variação resultante de duas variáveis distintas (originadas de uma mesma população), que tenham diferentes unidades de medidas. Quanto menor é o valor de CV%, melhor é o modelo.
Prova F (análise de variância)	Prova estatística que serve para comparar variâncias. Utilizada em modelos lineares.

Estes indicadores estatísticos confirmam a consistência preditiva do modelo selecionado. Em algumas oportunidades é necessário realizar transformações dos modelos de regressão avaliados com o objetivo de melhorar o ajuste aos dados. A transformação pode simplificar os cálculos, pois permite usar análise de regressão linear. Também, incrementa a validação estatística da análise ao homogeneizar a variância sobre a amplitude dos dados (Zapata et al. 2003). Entretanto, a transformação pode introduzir um viés sistemático nos cálculos. Para mais detalhes de como realizar as transformações de modelos, consultar o Anexo 6.

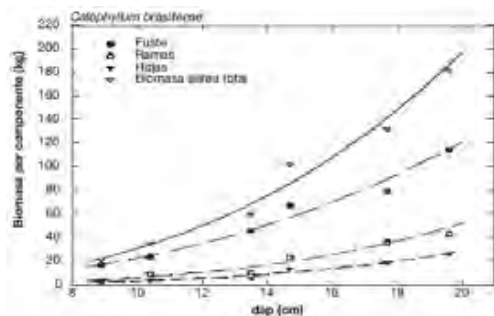
### Passo 5. Estimativa de biomassa e divulgação das equações

Uma vez selecionado(s) o(s) modelo(s) alométrico(s) que melhor estima(m) os dados de campo (para cada classe diamétrica) e suas correspondentes equações (resultado concreto de aplicar aos modelos gerais o grupo de indivíduos medidos), pode-se estimar a biomassa para toda a área florestal. Quando possível, recomenda-se publicar as equações para que outros técnicos e pesquisadores possam utilizar em suas respectivas áreas de trabalho. Para isto, além da equação, é necessário apresentar informações sobre a área (composição florística, densidade de população, condições edafoclimáticas, estado de degradação da área, etc.), espécies e dimensões das árvores utilizadas (além dos elementos utilizados como critérios de seleção de modelos). Recomenda-se também divulgar os gráficos gerados. A seguir apresentam-se dois exemplos de gráficos de equações de biomassa.



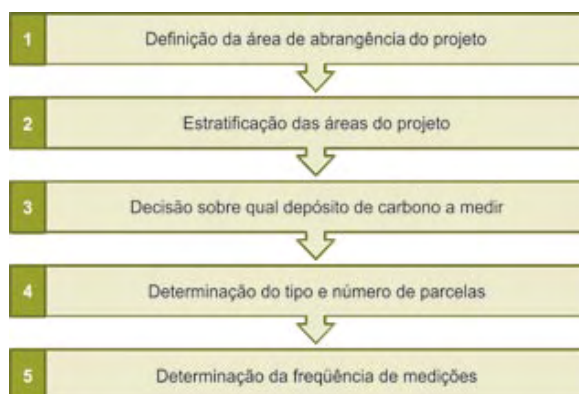
**Figura 49.** Relação da biomassa total por árvore e o dap de 300 árvores de um bosque da reserva de biosfera Maya, Petén, Guatemala

Fonte: Arreaga Gramajo 2002.



**Figura 50.** Dispersão dos dados de biomassa aérea seca de cada componente e as curvas dos modelos selecionados em função do dap para *Calophyllum brasiliense*  
Fonte: Montero e Montagnini 2005.

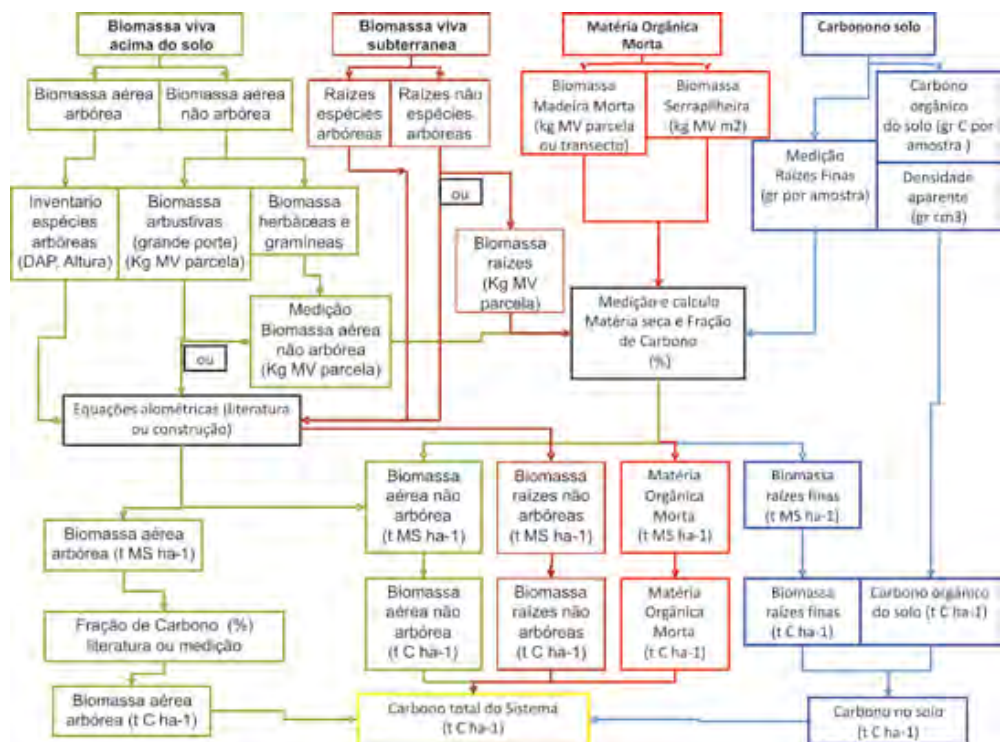
Com o intuito de apoiar a compreensão de agentes de extensão que trabalham junto a pequenos e médios produtores rurais, sobretudo na região Amazônica, sobre o potencial de carbono das áreas destes últimos, este guia descreveu passo a passo os procedimentos necessários para a quantificação e monitoramento do carbono armazenado e capturado pela biomassa e pelo solo em distintos tipos de usos da terra, como plantações florestais, sistemas agroflorestais, florestas naturais, pastagens e cultivos agrícolas.



**Figura 51.** Procedimentos para o planejamento de medições em campo

Através da seção II pôde-se compreender que previamente à etapa de medições em campo de biomassa e carbono orgânico do solo é necessário o planejamento destas atividades, com o objetivo de simplificar, agilizar e reduzir os custos destas medições. Para tanto, recomendaram-se os cinco procedimentos básicos ilustrados pelo diagrama da figura ao lado.

Nas sessões III a VII foram apresentadas as metodologias e procedimentos necessários para a medição de biomassa e determinação de carbono em distintos componentes do sistema. A seguir apresenta-se um diagrama resumindo estas sessões:



**Figura 52.** Diagrama dos procedimentos utilizados para a medição de biomassa e determinação de carbono nos componentes do sistema

## X. BIBLIOGRAFIA

- Alarcón, L. O.; Owen, E.; Seeberg-Elverfeldt, C. 2007. Manual de Ordenamiento Predial para propietarios de bosque nativo. World Wildlife Fund (WWF). 26 p. Consultado em 03 junho de 2008. Retirado de: [http://www.wildgift.org/downloads/manual\\_POP.pdf](http://www.wildgift.org/downloads/manual_POP.pdf)
- Alves, D. S; Soares, J. V.; Amaral, S.; Mello, E. M. K.; Almeida, S. A, S.; Silva, O.F.; Silveira, A. M. 1997. Biomass of primary and secondary vegetation in Rondônia, Western Brazilian Amazon. *Global Change Biology*, v.3.: 451-461.
- Ambiente Brasil S/S Ltda. 2008. Inventário Florestal. Consultado em 24 junho de 2008. Retirado de: <http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./florestal/index.html&conteudo=./florestal/inventario.html>
- Ares, A.; Boniche, J.; Quesada, J.P.; Yost, R.; Molina, E.; Smyth, T. J. 2002. Estimación de biomasa por métodos alométricos, nutrimentos y carbono en plantaciones de palmito en Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 26(2): 19-30.
- Arreaga Gramajo, WE. 2002. Almacenamiento de carbono em bosques com manejo florestal sostenible em a Reserva de Biosfera Maya, Petén, Guatemala. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, CR. 73 p.
- Brown, S. 2002. "Measuring, monitoring, and verification for carbon benefits for forest-based projects." *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*. 360: 1669-1683. Consultado em 12 maio de 2008. Retirado de: [http://www.winrock.org/ecosystems/files/Measuring%20monitoring%20and%20verification%20of%20carbon%20benefits%20for%20forest-based%20projects%20\(2002\).pdf](http://www.winrock.org/ecosystems/files/Measuring%20monitoring%20and%20verification%20of%20carbon%20benefits%20for%20forest-based%20projects%20(2002).pdf)
- Burrough, P. A. 1986. Principles of geographical information systems. Oxford University Press, , 193 p.
- Carbono y Bosques. 2005. Protocolo para el muestreo, estimación y monitoreo del contenido de carbono en el proyecto: El renacimiento de la Orinoquia alta de Colombia.
- Cardona, J. M. 2004. Glosario Multilingue de Terminología Forestal (español, japonés, inglés, francés y portugués). Primera Edición. 350 p.

- Carvalho, K., Vieira, P. A., Ehrlinghaus, C., Treccani, G. 2008. Trilhas da Regularização Fundiária para Populações Rurais nas Florestas Amazônicas: Como decidir qual a melhor solução para regularizar sua terra? CIFOR/FASE.
- Chave, J.; Andalo, C.; Brown, S.; Cairns, M. A.; Chambers, J. Q.; Eamus D.; Foote, H.; Fromard, F.; Higuchi N.; Kira, T.; Lescure, J.-P.; Nelson, B. W.; Ogawa H.; Puig H.; Riéra, B.; Yamakura T.  
2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Ecosystem Ecology*. No. 145: 87–99
- Curtis, J.T.; McIntosh, R.P. 1950. The integration of certain analytic and synthetic phytosociological characters. *Ecology* 31: 434-455.
- Embrapa Meio Ambiente. 2008. Educação Ambiental para Agricultores e Comunidades Rurais – Urbanas. Consultado em 18 maio de 2008. Retirado de: <http://www.cnpma.embrapa.br/unidade/index.php3?id=265&func=unid>
- Embrapa Pantanal. 2008. Zoneamento Ambiental da Borda Oeste do Pantanal. Maciço do Urucum e Adjacência. Consultado em 18 maio de 2008. Retirado de: [http://www.cpap.embrapa.br/agencia/borda\\_oeste/inicial.htm](http://www.cpap.embrapa.br/agencia/borda_oeste/inicial.htm)
- Emmer, I. 2007. Manual de contabilidad de carbono y diseño de proyectos. Proyecto Encofor.  
Quito, Ecuador. 22 p. Consultado em 11 de junho de 2008. Retirado de: [http://www.joanneum.at/encofor/tools/tool\\_demonstration\\_sp/prefeasibility.htm](http://www.joanneum.at/encofor/tools/tool_demonstration_sp/prefeasibility.htm)
- ENGESAT. 2008. [http://www.engesat.com.br/pub/fckeditor/Image/Resourcesat-1/543\\_IRS-2.jpg](http://www.engesat.com.br/pub/fckeditor/Image/Resourcesat-1/543_IRS-2.jpg)
- Freitas, L.J.M.; de Souza, A. L., Garcia, H. L.; Lopes, M. da S. 2005. Análise técnica e estimativas de custos de inventário de prospecção em uma floresta estacional semidecidual submontana. *R. Árvore, Viçosa-MG*, v.29, n.1: 65-75
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2004. National forest inventory. Field manual. Template. Forest Resources Assessment WP 94. Rome, August. Consultado em 04 maio de 2008. Retirado de: <http://www.fao.org/docrep/008/ae578e/AE578E00.htm#TopOfPage>
- Hairiah, K.; Sitompul, S.M., van Noordwijk M.; Palm C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. ICRAF Southeast Asia. 32 pg. Consultado em 03 março de 2009. Retirado de: <http://www.worldagroforestry.org/sea/apps/publications/searchpub.asp?publishid=1003>



Higuchi, N.; Santos, J.; Jardim, F. C. S. 1982. Tamanho de Parcela Amostral para Inventários Florestais. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 12, n. 1, p. 93-103, Consultado em 03 março de 2009. Retirado de: <http://acta.inpa.gov.br/redirect.php?volume=12&edicao=1&arquivo=v12n1a13.pdf&pasta=PDF&loc=sum>

Ignacio, J. V. 2003. Crecimiento em biomassa e acumulação de carbono em los sajales do delta do río Patía. Medição de a captura de carbono em ecosistemas florestais tropicales de Colombia: contribuciones para a mitigação do cambio climatico. Pp. 281-296.

Instrumento del Sur (Idelsur). 2008. Muestreadores de Suelo. Consultado em 17 maio de 2008. Retirado de: [http://www.idelsur.com/representadas/buscador/muestreadores\\_01.htm#](http://www.idelsur.com/representadas/buscador/muestreadores_01.htm#)

Locatelli, B. 2005. LULUCF: el papel de los bosques y las plantaciones en el cambio climático. VI Curso Internacional “Cambio Climático y Diseño de Proyectos MDL en los Sectores Forestal y Bio-energía” CATIE, Turrialba (Costa Rica), Octubre de 2005.

MacDicken, K. 1997. A Guide to Monitoring Carbon Storage in Forestry and Agroforestry Projects. Winrock International Institute for Agricultural Development, Arlington.

Machado, S. A.; Conceição, M. B.; Figueiredo, D. J. 2002. Modelagem do volume individual para diferentes idades e regimes de desbaste em plantações de *Pinus oocarpa*. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, Vol. 4, nº 2, jul/dez.: 185-197.

Montero, M. M.; Montagnini, F. 2005. Modelos alométricos para a estimação de biomassa de diez espécies nativas em plantaciones em a região Atlântica de Costa Rica. *Recursos Naturales e Ambiente/no. 45: Comunicação Técnica*. Pp. 118-125

Nogueira, E. M.; Fearnside, P. M.; Walker, B. N.; Imbrozio, R. B.; Hermanus E. W. K. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*. Volume 256, Issue 11:1853-1867

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). 2003. Guia de Boas Práticas do Uso da Terra, Mudança do Uso da Terra e Florestas. Métodos Complementarios y Orientación Sobre las Buenas Prácticas que Emanan del Protocolo de Kyoto. Capítulo 4. 132 pg. Consultado em 24 junho de 2008. Retirado de: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf\\_languages.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_languages.html)

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC NGGIP). 2005. Capítulo 4: Métodos complementarios y orientación sobre las buenas prácticas que emanan del Protocolo de Kyoto. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Consultado em 03 junho de 2008. Retirado de: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf.html>

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC NGGIP). 2005b. Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura.

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). 2006. Capítulo 2: Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Consultado em 03 junho de 2008. Retirado de: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_02\\_Ch2\\_Generic.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf)

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). 2006b. Capítulo 3: Representación coherente de las tierras Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Consultado em 03 junho de 2008. Retirado de: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_03\\_Ch3\\_Representation.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf)

Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC). 2006c. Glosario. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Consultado em 03 março de 2009. Retirado de: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0\\_Overview/V0\\_2\\_Glossary.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/0_Overview/V0_2_Glossary.pdf)

Pearson, T. R.H.; Brown, S. L.; Birdsey, R. A. 2007. Measurement Guidelines for the Sequestration of Forest Carbon. USDA Forest Service's Northern Global Change Research Program. 47 pg. Consultado em 24 junho de 2008. Retirado de: [http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr\\_nrs18.pdf](http://nrs.fs.fed.us/pubs/gtr/gtr_nrs18.pdf)

Pearson, T. R.H.; Walker, S.; Brown, S. L. 2005. Sourcebook for Land use, Land-use change and forestry Projects. BioCarbon Fund. Winrock Internationa. 64 pg.

Prodan, M.; Peters, R.; 1997 Mensura forestal. "Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible." Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Inter-American Institute of Agricultural Sciences. Publicado por Agroamerica. 561 p.

Ramos Veintimilla, R.A. 2003. Fraccionamiento del carbono orgánico del suelo en tres tipos de uso de la tierra en fincas ganaderas de San Miguel de Barranca, Puntarenas-Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE Turrialba, Costa Rica. 81p.

Resources Research Institute (NRRI). 2008. Consultado em 22 junho de 2008. Retirado de: <http://www.nrri.umn.edu/worms/research/images/DBH-5.jpg>

Ruiz, A. 2002. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica en Matiguás, Nicaragua. Tesis Mag. Sc. Turrialba, Costa Rica. CATIE. 106 p.

Schlegel, B., Gayoso, J. y Guerra, J. 2001. Medición de la capacidad de captura de carbono en bosques de Chile y promoción en el mercado mundial. Manual de procedimientos para inventarios Consultado em 24 junho de 2008. Retirado de: de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 17 p.

Segura Madrigal, M. A. 1999. Valoração do serviço ambiental de fixação e armazenamento de carbono em bosques privados do Área de Conservação Cordillera Volcánica Central. Tesis Mag. Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 115 p.

Silva, J. N. M, 1980. Eficiencia de diversos tamanhos de formas de unidades de amostraa aplicados em inventário florestal na região de Tapajos. Curitiba. Univerisidade Federal do Paraná. Tese de Mestrado – Engenharia Florestal.

Silva, J. N. M.; Lopes, J do C. A. 1984. Inventário florestal continuo em florestas tropicais: a metodologia utilizada pela EMBRAPA-CPATU na Amazonia brasileira. Belém, EMBRAPA. Documentos, 33. 36p.

Terra Ges. 2008. Consultado em 03 junho de 2008. Retirado de: <http://www.terrages.pt>

Vallejo, Álvaro, 2005. Maia - Monitoreo de proyectos de remoción de carbono bajo el Mecanismo para un Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto. 88 p.

Victoria's community information portal. 2008. Consultado em 24 junho de 2008. Retirado de: <http://home.vicnet.net.au/~grange/Recent.html>

Zamora-López, S. 2006. Efecto de los pagos por servicios ambientales en la estructura, composición, conectividad y stock de carbono de un paisaje ganadero en Esparza, Costa Rica. Tesis M.Sc. CATIE. Turrialba, Costa Rica.

Zapata, M.; Colorado, G. J.; Ignacio, J. V. 2003. Equações de biomassa aérea para bosques primarios intervenidos e secundarios. Medição de a captura de carbono em ecosistemas florestais tropicales de Colombia: contribuciones para a mitigação do cambio climático. Pp. 281 a 296.

Winrock International. 1999. Effect of Inventory Precision and Variance on the Estimated Number of Sample Plots and Inventory Variable Cost: The Noel Kempff Mercado Climate Action Project. Consultado em 03 março de 2009. Retirado de: [http://www.winrock.org/ecosystems/files/Effect\\_of\\_Inventory\\_Precision\\_and\\_Variance.pdf](http://www.winrock.org/ecosystems/files/Effect_of_Inventory_Precision_and_Variance.pdf)

## XI. ANEXOS

### Anexo 1. Quadro de correção de inclinação

Inclinação	Graus	Fator	Distâncias horizontais										Inclinação
%	o	fs	5	10	15	20	25	30	40	50	125	245	%
15	9	1,0112	5,1	10,1	15,2	20,2	25,3	30,3	40,4	50,6	126,4	247,7	15
20	11	1,0198	5,1	10,2	15,3	20,4	25,5	30,6	40,8	51,0	127,5	249,9	20
25	14	1,0308	5,2	10,3	15,5	20,6	25,8	30,9	41,2	51,5	128,8	252,5	25
30	17	1,0440	5,2	10,4	15,7	20,9	26,1	31,3	41,8	52,2	130,5	255,8	30
35	19	1,0595	5,3	10,6	15,9	21,2	26,5	31,8	42,4	53,0	132,4	259,6	35
40	22	1,0770	5,4	10,8	16,2	21,5	26,9	32,3	43,1	53,9	134,6	263,9	40
45	24	1,0966	5,5	11,0	16,4	21,9	27,4	32,9	43,9	54,8	137,1	268,7	45
50	27	1,1180	5,6	11,2	16,8	22,4	28,0	33,5	44,7	55,9	139,8	273,9	50
60	31	1,1662	5,8	11,7	17,5	23,3	29,2	35,0	46,6	58,3	145,8	285,7	60
70	35	1,2207	6,1	12,2	18,3	24,4	30,5	36,6	48,8	61,0	152,6	299,1	70
80	39	1,2806	6,4	12,8	19,2	25,6	32,0	38,4	51,2	64,0	160,1	313,8	80
90	42	1,3454	6,7	13,5	20,2	26,9	33,6	40,4	53,8	67,3	168,2	329,6	90
100	45	1,4142	7,1	14,1	21,2	28,3	35,4	42,4	56,6	70,7	176,8	346,5	100
110	48	1,4866	7,4	14,9	22,3	29,7	37,2	44,6	59,5	74,3	185,8	364,2	110
120	50	1,5620	7,8	15,6	23,4	31,2	39,1	46,9	62,5	78,1	195,3	382,7	120
130	52	1,6401	8,2	16,4	24,6	32,8	41,0	49,2	65,6	82,0	205,0	401,8	130
140	54	1,7205	8,6	17,2	25,8	34,4	43,0	51,6	68,8	86,0	215,1	421,5	140
150	56	1,8028	9,0	18,0	27,0	36,1	45,1	54,1	72,1	90,1	225,3	441,7	150

Fonte: FAO, 2004

O quadro proporciona as distâncias corrigidas para algumas distâncias horizontais, em função da inclinação. Exemplo: Para uma distância horizontal de 20 metros, com uma inclinação de 30%, a distância corrigida é de 20,9 m.

Anexo 2. Formulário de Inventário Florestal

Responsável: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Hora de Inicio: \_\_\_\_\_ Hora de finalização: \_\_\_\_\_

Propriedade #: \_\_\_\_\_ Estrato #: \_\_\_\_\_

Parcela #: \_\_\_\_\_

Árvore #	DAP	Altura				Árvore #	DAP	Altura			
		Superior	Inferior	Escala	Distância			Superior	Inferior	Escala	Distância
1						21					
2						22					
3						23					
4						24					
5						25					
6						26					
7						27					
8						28					
9						29					
10						30					
11						31					
12						32					
13						33					
14						34					
15						35					
16						36					
17						37					
18						38					
19						39					
20						40					

Observações (ex. Tratamentos silvícolas):

**Anexo 3. Formulário para coleta de informação de biomassa aérea**

Responsável: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_\_

Hora de Inicio: \_\_\_\_\_ Hora de finalização: \_\_\_\_\_

Propriedade #: \_\_\_\_\_ Estrato #: \_\_\_\_\_ Parcela #: \_\_\_\_\_

Árvore #: \_\_\_\_\_ DAP: \_\_\_\_\_ Altura: \_\_\_\_\_

Seção #	Peso Fuste	Peso Ramas	Peso Folhas	Peso Frutos	Observações
	Kg (Matéria Viva)				
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
Peso da Amostra					



## Anexo 4. Equações Alométricas para espécies agroflorestais

Classificação Geral	Grupo de espécies	Equação Alométrica	Autores	Origem da Informação	Diametro maximos
Árvores de sombra agroflorestais	Geral	$\text{Log10Biomass} = -0.834 + 2.223 (\log_{10}\text{dbh})$	Segura et al. 2006	Nicarágua	44cm
Árvores de sombra agroflorestais	<i>Inga spp.</i>	$\text{Log10Biomass} = -0.889 + 2.317 (\log_{10}\text{dbh})$	Segura et al. 2006	Nicarágua	44cm
Árvores de sombra agroflorestais	<i>Inga punctata</i>	$\text{Log10Biomass} = -0.559 + 2.067 (\log_{10}\text{dbh})$	Segura et al. 2006	Nicarágua	44cm
Árvores de sombra agroflorestais	<i>Inga tonduzzi</i>	$\text{Log10Biomass} = -0.936 + 2.348 (\log_{10}\text{dbh})$	Segura et al. 2006	Nicarágua	44cm
Árvores de sombra agroflorestais	<i>Juglans olanchama</i>	$\text{Log10Biomass} = -1.417 + 2.755 (\log_{10}\text{dbh})$	Segura et al. 2006	Nicarágua	44cm
Árvores de sombra agroflorestais	<i>Cordia alliodora</i>	$\text{Log10Biomass} = -0.755 + 2.072 (\log_{10}\text{dbh})$	Segura et al. 2006	Nicarágua 4	4cm
Café sombreado	<i>Coffea arabica</i>	$\text{Biomass} = \exp(-2.719 + 1.991 (\ln(\text{dbh}))) (\log_{10}\text{dbh})$	Segura et al. 2006	Nicarágua	8cm
Café podado	<i>Coffea arabica</i>	$\text{Biomass} = 0.281 \times \text{dbh}^{2.06}$	Van Noordwijk et al. 2002	Java, Indonésia	10cm
Banana	<i>Musa X paradisiaca</i>	$\text{Biomass} = 0.030 \times \text{dbh}^{2.13}$	Van Noordwijk et al. 2002	Java, Indonésia	28cm
Pupunha	<i>Bactris gasipaes</i>	$\text{Biomass} = 0.97 + 0.078 \times \text{Ba} - 0.00094 \times \text{Ba}^2 + 0.0000065 \times \text{Ba}^3$	Schroth et al. 2002	Amazônia	2–12cm
Seringueira	<i>Hevea brasiliensis</i>	$\text{Biomass} = -3.84 + 0.528 \times \text{Ba} + 0.001 \times \text{Ba}^2$	Schroth et al. 2002	Amazônia	6–20cm
Laranjeira	<i>Citrus sinensis</i>	$\text{Biomass} = -6.64 + 0.279 \times \text{Ba} + 0.000514 \times \text{Ba}^2$	Schroth et al. 2002	Amazônia	8–17cm
Castanheira	<i>Bertholletia excelsa</i>	$\text{Biomass} = -18.1 + 0.663 \times \text{Ba} - 0.000384 \times \text{Ba}^2$	Schroth et al. 2002	Amazônia	8–26cm

Anexo 5. Programas computacionais

Anexo 5.1. Programas para análises do estoque de carbono

De acordo com Zamora-López (2006), existem diversos programas computacionais (modelos) para o cálculo dos fluxos de carbono em nível de unidades de paisagem. Entre eles estão CO2Fix e CO2Land, CAMFor, Gorcham, TRIPLEX, CQUEST e o FullCAM. Nesta seção apresentaremos o programa CO2Fix, já que este é o mais recente e está disponível para acesso gratuito.

**CO2Fix** - Desenvolvido por ALTERRA (Universidade de Wageningen, Holanda), Instituto de Ecologia da Universidade de México (México), CATIE (Centro Agronômico Tropical de Pesquisa e Ensino, Costa Rica) e o Instituto de Bosques Europeu (EFI, Finlândia), no âmbito do projeto CASFOR. O CO2FIX foi desenhado para simular a dinâmica de carbono em sistemas florestais, o que limita sua aplicação a outros usos da terra. O programa divide-se em cinco módulos: biomassa, solo, produtos, financeiro e cálculo de créditos. Para seu funcionamento necessita-se determinar parâmetros específicos para cada um dos módulos. O programa apresenta os resultados em forma de tabela e gráficos.

O programa em versão 3.1 e o manual estão disponíveis no Website: <http://www.efi.int/projects/casfor/models.htm>

Anexo 5.2. Programa para manejo e simulação de crescimento de espécies florestais

Silvia (Sistema de Manejo Florestal) - é um programa desenvolvido pelo CATIE, que apresenta ferramentas para o manejo técnico, sustentável e gerenciado de plantações florestais. O programa permite abordar os principais aspectos do manejo florestal, entre eles a simulação do inventário atual do

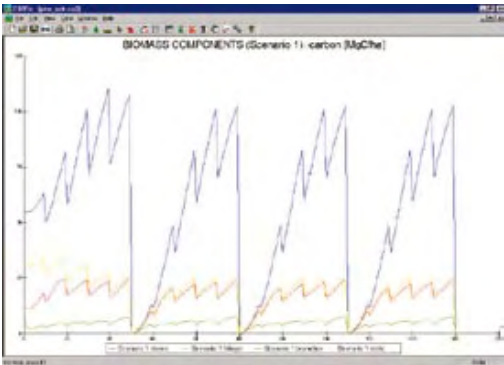


Figura 53. Resultado gráfico de estoques de carbono em diferentes compartimentos

A captura de tela mostra a interface do programa 'Silvia' (Sistema de Manejo Florestal). O formulário é dividido em seções: 'Identificación', 'Ámbito', 'Referencia bioclimática', 'Clima', 'Suelos', 'Especies', 'Comentarios' e 'Observaciones'. A seção 'Identificación' contém campos para 'Especie', 'Dominio/uso del suelo', 'Autor', 'Vigencia', 'Ámbito' e 'Referencia bioclimática'. A seção 'Ámbito' contém campos para 'Geográfico' (País, Región) e 'Ambiental' (Clima, Suelos). A seção 'Clima' contém campos para 'Temperatura media anual', 'Precipitación' e 'Vientos dominantes'. A seção 'Suelos' contém campos para 'Textura' e 'Suelos de referencia'. A seção 'Especies' contém uma tabela com as seguintes colunas: 'Especie', 'Bj', 'T', 'S', 'M'. A seção 'Comentarios' contém um campo de texto para 'Comentarios'. A seção 'Observaciones' contém um campo de texto para 'Observaciones'.

Figura 54. Módulo de Equações Silvia

crescimento de um talhão ou grupos de talhões. O programa contém uma base de dados de equações de crescimento de espécies florestais. A estrutura do programa é visual e totalmente orientada ao usuário, de quem somente se requer um conhecimento geral do sistema operativo Windows para seu acesso e manejo. As simulações se realizam mediante equações calculadas pelo usuário ou selecionadas da literatura. O programa esta disponível no Website: <http://www.silviaforestal.com>.

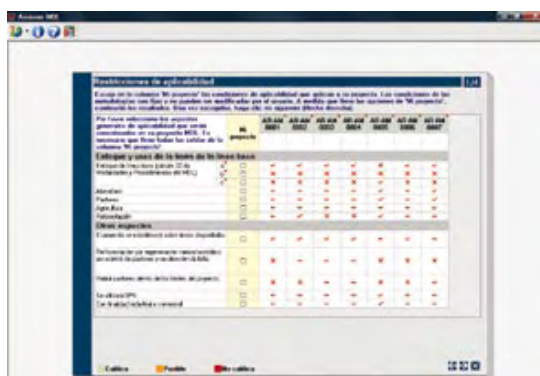
### Anexo 5.3. Programa para aplicação de metodologias A/R

#### Seletor de metodologías MDL aprovadas

Elaborada pelo Projeto Forma, o **Assistente MDL** de Catie, é um guia prático para a seleção de metodologias aprovadas e adecuadas para o desenho de projeto florestal de remoção de carbono mediante o reflorestamento de acordo com as regras do MDL.

O programa esta disponível no Website:

[www.proyectoforma.com](http://www.proyectoforma.com).



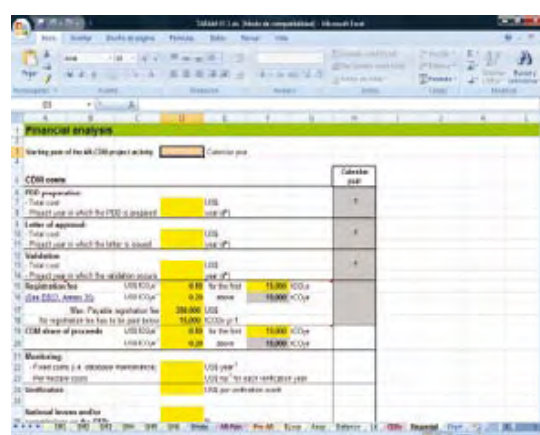
**Figura 55.** Módulo seletor de metodologías MDL aprovadas

#### Aplicação de Metodologias A/R

**TARAM** (Tool for Afforestation and Reforestation Approved Methodologies) - Elaborada pelo Fundo BioCarbono do Banco Mundial, com apoio do Projeto Forma, o TARAM é uma ferramenta para a aplicação de metodologias A/R. O programa é um prático instrumento de folha de cálculo (Excel) que contribui com os elaboradores de projetos a utilizar as equações contidas nas metodologias de linha base e monitoramento aprovadas.

O programa está disponível no Website:

[www.proyectoforma.com](http://www.proyectoforma.com).



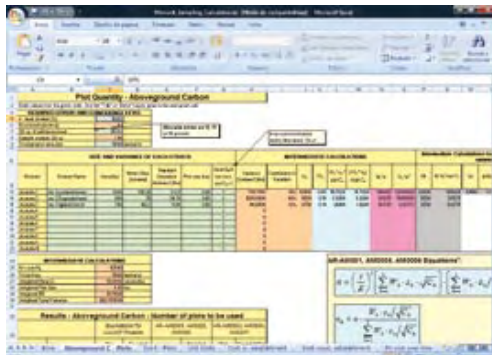
**Figura 56.** Módulo financeiro TARAM

## Anexo 5.4. Programa para determinação de tamanho de amostras

O Winrock Terrestrial Sampling Calculator, é uma planilha de Excel desenvolvida pelo Winrock International utilizada para determinar o número de parcelas. A ferramenta também estima o custo de realização da amostragem. A planilha pode ser usada na determinação do número de parcelas necessárias para o cenário de referencia (linha base), assim como para monitoramento.

O programa esta disponível no Website:

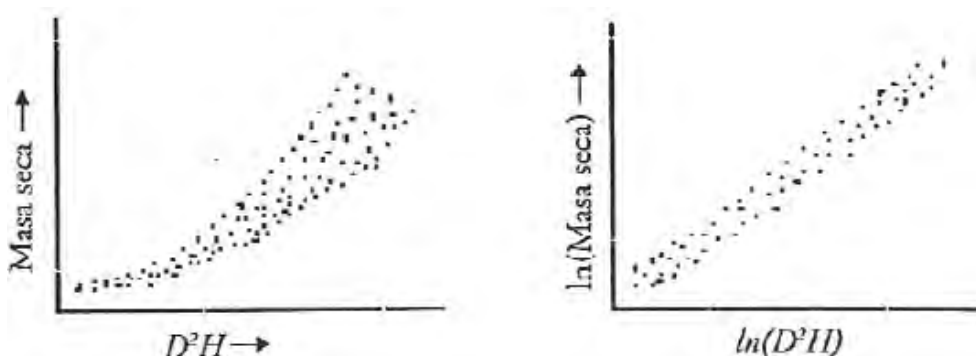
[http://www.winrock.org/Ecosystems/files/Winrock\\_Sampling\\_Calculator.xlsb](http://www.winrock.org/Ecosystems/files/Winrock_Sampling_Calculator.xlsb)



**Figura 57.** Planilha para determinação de tamanho de amostras Winrock

## Anexo 6. Transformações de equações alométricas

Em geral, ao realizar a graficação de uma quantidade de dados representativos de dap em função da altura ou biomassa de árvores, apresenta-se uma tendência não linear, na qual, a nuvem de pontos apresenta um problema de heterocedasticidade refletida no incremento da variância com o aumento do diâmetro, como apresentado por Zapata et al. (2003) na Figura 58

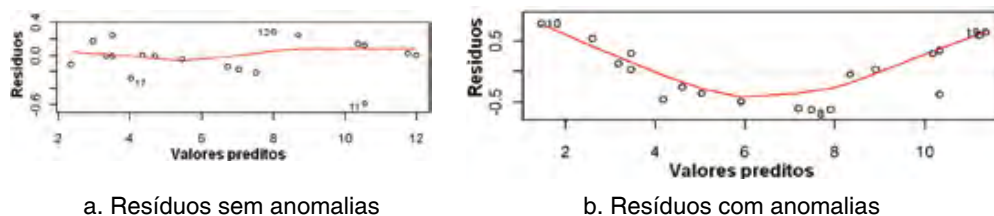


**Figura 58.** A biomassa em função do diâmetro e a altura, sem e com transformação logarítmica.

Fonte: Zapata et al. (2003) citando Bell et al. (1984).

A figura à esquerda ilustra a tendência heterocedástica dos dados de biomassa seca sem a transformação logarítmica com o incremento da variável dap2H. A figura à direita ilustra a regressão linear em escala logarítmica.

Quando necessário, realizam-se transformações (modificações) dos modelos de regressão com objetivo de selecionar o que melhor se ajusta aos dados. Neste procedimento são elaborados diagramas de dispersão entre todas as variáveis. Inicialmente graficam-se as variáveis dependentes originais e transformadas, posteriormente com as variáveis independentes transformadas e, por último transformando todas as variáveis. Caso existam anomalias, procede-se com as transformações do modelo. As anomalias podem ser detectadas através do gráfico de resíduos<sup>33</sup> com base nas variáveis independentes. A seguir apresenta-se um exemplo de gráfico de resíduos com e sem anomalias (Figura 59).



**Figura 59.** Exemplo de gráfico de dispersão de resíduos sem e com anomalia

A distribuição dos resíduos resulta satisfatória quando não se evidenciam tendências anômalas nem heterogeneidade da variância.

Montero e Montagnini (2005) citando a Sprugel (1983) indicam que todos os modelos alométricos com transformações logarítmicas devem ser corrigidos por um fator de correção (FC). O resultado obtido ao usar qualquer modelo deve ser multiplicado pelo FC de cada um. A equação para calcular o FC sugerida pelos autores é a seguinte:

$$FC = \exp^{(SSE^2 / 2)}$$

Onde:

**FC** é o fator de correção

SSE é o erro padrão estimado pela regressão.

Como critério de seleção entre um grupo de equações de regressão ajustadas e outro grupo de equações não ajustadas, utiliza-se o Índice de Furnival (IF). O IF

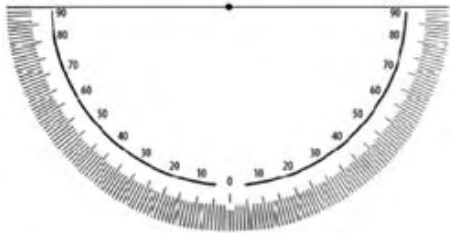
<sup>33</sup> Os resíduos são as distribuições de valores amostrais calculados como a diferença entre o valor da variável resposta e o estimado do modelo de regressão. A distribuição de resíduos é importante como indicador do cumprimento das condições de aplicação das técnicas de correlação, assim como da utilidade do ajuste.

é considerado como um desvio padrão transformado, neste caso, às unidades de biomassa aérea total. Utiliza-se este índice por considerar que os desvios padrão das variáveis dependentes estão expressos em diferentes unidades (Arreaga Gramajo 2002 citando a Ferreira 1990). Excluindo o coeficiente de determinação ajustado, o critério geral de seleção da equação consiste em identificar aquele cujo índice tende à zero.

Anexo 7. Formato clinômetro de papel<sup>34</sup>

Tabela. Altura a partir das distâncias e ângulos determinados

80Distância						
Graus	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m
1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4
2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
3	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	1.1
4	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4
5	0.5	0.8	1.0	1.3	1.5	1.8
6	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1
7	0.7	1.1	1.4	1.8	2.1	2.5
8	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	2.8
9	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2
10	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
15	1.5	2.3	3.0	3.8	4.5	5.3
20	2.0	3.0	4.1	5.1	6.1	7.1
25	2.6	3.8	5.1	6.4	7.7	8.9
30	3.1	4.6	6.2	7.7	9.3	10.8
35	3.7	5.5	7.3	9.1	11.0	12.8
40	4.2	6.3	8.5	10.6	12.7	14.8
45	4.8	7.2	9.7	12.1	14.5	16.9
50	5.5	8.2	10.9	13.7	16.4	19.1
55	6.1	9.2	12.3	15.3	18.4	21.5
60	6.8	10.3	13.7	17.1	20.5	23.9
65	7.6	11.4	15.2	19.0	22.8	26.6
70	8.4	12.6	16.8	21.1	25.3	29.5
75	9.3	14.0	18.6	23.3	27.9	32.6
80	10.3	15.4	20.6	25.7	30.9	36.0
85	11.4	17.1	22.8	28.5	34.1	39.8
90	12.6	18.9	25.2	31.5	37.8	44.1



Fórmula para medir alturas não disponíveis na tabela:  $H = \text{tang.}(X) * \text{distancia}$

<sup>34</sup> Figura retirada de <http://www.learner.org/channel/workshops/lala/images/clinometer.gif>



O mercado internacional de carbono passou a ser uma realidade jurídica e prática com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto. Além do mercado associado ao cumprimento do protocolo, mecanismos adicionais (voluntários e paralelos) geram oportunidades para complementar as receitas provenientes das atividades florestais através da renda derivada de certificados de créditos de carbono. Entretanto, as metodologias e procedimentos para comprovar a captura e armazenamento de carbono por projetos florestais são considerados restritivos, e a maioria dos mercados ainda não negocia certificados originados a partir da redução de emissões por desmatamento e degradação. Tais limitações tornam-se ainda maiores no caso de pequenos e médios produtores rurais que desconhecem o potencial para seqüestro de carbono de suas áreas, assim como as modalidades de projetos e componentes elegíveis e os procedimentos necessários para negociar créditos de carbono nos respectivos mercados.

Levando em conta tais considerações, esta publicação dirige-se a técnicos e agentes de desenvolvimento envolvidos em projetos que visam promover a inserção de comunidades rurais e produtores familiares em mercados de carbono. O Guia apresenta os procedimentos utilizados para a medição em campo de biomassa aérea e subterrânea, e do carbono orgânico do solo em plantações florestais, sistemas agroflorestais, florestas naturais e outros usos do solo como pastagens e cultivos agrícolas.

Neste momento em que a utilização sustentável de áreas abertas na Amazônia adquire caráter de urgência, espera-se que esta publicação do Centro Mundial Agroflorestal possa contribuir com os objetivos de associações de produtores, comunidades e demais grupos informais engajados na busca de alternativas agroflorestais para a melhoria de seu bem-estar.

Apoio:



---

**World Agroforestry Centre – Amazon Regional Programme**

**ICRAF - Consórcio Iniciativa Amazônica**

**Trav. Dr. Enéas Pinheiro S/N. Belém, PA. 66.095-780. Brasil**

**[www.worldagroforestry.org](http://www.worldagroforestry.org)**