

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

12 CONSUMO E
PRODUÇÃO
RESPONSÁVEIS

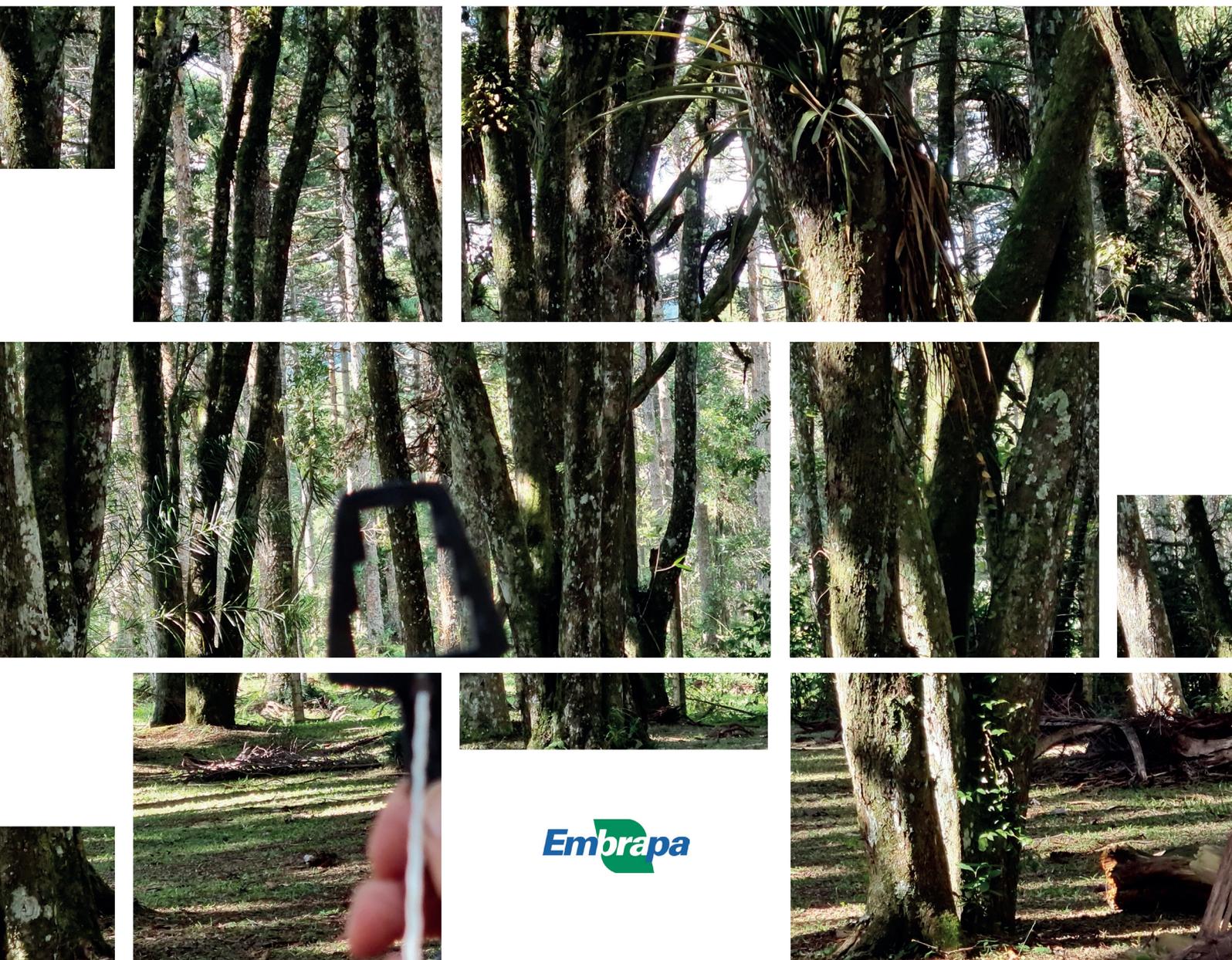


OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

15 VIDA
TERRESTRE



Erva-mate sombreada: proposta de metodologia para avaliação e monitoramento de carbono em programas de pagamento por serviços ambientais



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 380

**Erva-mate sombreada: proposta de metodologia para
avaliação e monitoramento de carbono em programas
de pagamento por serviços ambientais**

*Denise Jeton Cardoso
André Eduardo Biscaia de Lacerda
Lucília Maria Parron
Maria Augusta Doetzer Rosot
Marilice Cordeiro Garrastazú*

Embrapa Florestas
Estrada da Ribeira, km 111, Guaraituba,
Caixa Postal 319
83411-000, Colombo, PR, Brasil
Fone: (41) 3675-5600
www.embrapa.br/florestas
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações da
Embrapa Florestas

Presidente
Patrícia Póvoa de Mattos

Vice-Presidente
José Elidney Pinto Júnior

Secretária-Executiva
Neide Makiko Furukawa

Membros
Annete Bonnet
Cristiane Aparecida Fioravante Reis
Elenice Fritzsons
Krisle da Silva
Marcelo Francia Arco Verde
Marilice Cordeiro Garrastazu
Susete do Rocio Chiarello Penteado
Valderês Aparecida de Sousa

Supervisão editorial e revisão de texto
José Elidney Pinto Júnior

Normalização bibliográfica
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Luciane Cristine Jaques

Foto capa
Maria Augusta Doetzer Rosot

1ª edição

Publicação digital (2022): PDF

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Erva-mate Sombreada: proposta de metodologia para avaliação e monitoramento de
carbono em programas de pagamento por serviços ambientais / Denise Jeton Cardoso
... [et al.] – Colombo : Embrapa Florestas, 2022.
28 p. (Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; n. 380).

1. Mate. 2. *Ilex paraguariensis*. 3. Erva-mate. 4. Carbono. 5. Meio ambiente. I.
Cardoso, Denise Jeton. II. Lacerda, André Eduardo Biscaia de. III. Parron, Lucília
Maria. IV. Rosot, Maria Augusta Doetzer. V. Garrastazú, Marilice Cordeiro. VI. Série.

CDD:633.77 (21. ed.)

Autores

Denise Jeton Cardoso

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

André Eduardo Biscaia de Lacerda

Engenheiro Florestal, doutor em Engenharia Florestal, pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Lucília Maria Parron

Bióloga, doutora em Ecologia de Ecossistemas, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Maria Augusta Doetzer Rosot

Engenheira Florestal, doutora em Engenharia Florestal, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Marilice Cordeiro Garrastazú

Engenheira Florestal, mestre em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Florestas, Colombo, PR

Apresentação

Com o objetivo de suprir parte das demandas para a implantação de programas de pagamento por serviços ambientais, este trabalho apresenta uma metodologia alternativa para a quantificação de carbono de biomassa florestal, que deve facilitar os levantamentos em florestas nativas, nas pequenas propriedades rurais. Tais levantamentos são necessários para se estabelecer a *baseline* (base de referência) de estoque, bem como acompanhar periodicamente a captura de carbono de biomassa com o crescimento das árvores.

O método de área fixa, tradicionalmente utilizado, consiste em instalar unidades amostrais retangulares, quadradas ou circulares nas quais se mede o diâmetro e altura de todas as árvores. Esse procedimento requer tempo considerável de trabalho de campo e um bom conhecimento técnico para as diferentes etapas de instalação, medição e processamento de dados.

O esforço de campo tende a ser reduzido com o uso de sensores para captura de imagens e nuvens de pontos, que representam com precisão a configuração das árvores em uma unidade amostral. Entretanto, o tempo para processamento desses dados é significativamente maior que aquele de processamento de dados em planilhas e aplicativos para inventário. Além disso, o preço de equipamentos e serviços nessa área ainda é inacessível para produtores rurais de pequeno e médio portes.

A metodologia proposta nesse trabalho inclui a adoção de unidades amostrais de área variável, por meio do método de Bitterlich. Esse método requer menor tempo de medição, pois consiste em contar as árvores em um giro de 360° na área florestal, cujos diâmetros à altura do peito são iguais ou maiores que uma determinada abertura angular, previamente definida. Para a medição de altura das árvores propõe-se o uso de aplicativo de celular.

Nesse documento é apresentado o passo a passo para a aplicação da metodologia, bem como o trabalho prévio que envolveu o desenvolvimento de uma equação para quantificar a biomassa por hectare diretamente a partir da área basal e da altura dominante. Além de se abordar aspectos técnicos relacionados ao uso do método de Bitterlich, buscou-se, também, atender aos pequenos produtores e proprietários de áreas florestais, disponibilizando-se informações de ordem prática que possibilitem a quantificação do carbono de forma relativamente rápida e simples em suas florestas.

O tema abordado nesse trabalho está alinhado com metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 12 e 15 da Agenda 2030 proposta pela Organização da Nações Unidas (ONU), por promover meios para uma gestão sustentável dos recursos naturais nas propriedades rurais e também por ser útil na viabilização de políticas públicas que visem a conservação e a recuperação de florestas naturais e a redução da pobreza.

Sumário

Introdução.....	9
Metodologia para a quantificação de biomassa e carbono	11
Desenvolvimento da metodologia	13
Aplicação da metodologia	18
Considerações finais	24
Referências	24

Introdução

O sistema de produção de erva-mate tradicional, em que as plantas são cultivadas sob sombreamento florestal, possui uma produção estimada em 2020 de 425.970 toneladas (Nogueira; Pereira, 2021), sendo o Paraná o maior produtor (87%), seguido por Santa Catarina (7%) e Rio Grande do Sul (6%). Atualmente, a produção de erva-mate dos sistemas tradicionais é conhecida como erva-mate sombreada e ocorre em pequenas propriedades familiares (menores que 20 ha), comunidades tradicionais faxinalenses e indígenas. Tais sistemas de produção integram uma variedade de culturas alimentares e outros produtos florestais madeireiros e não madeireiros, tais como frutas nativas, milho, feijão, arroz e hortaliças, bem como a criação de suínos, bovinos e aves para a produção de carne, leite e ovos, sendo a erva-mate uma das principais fontes de renda de famílias ou de comunidades.

Neste contexto, a erva-mate tem uma importância fundamental nas identidades culturais e ambientais dos agricultores que lutam para a continuidade do sistema de produção e da floresta na qual ela ocorre. As práticas adotadas pelos produtores tradicionais de erva-mate possuem estreita aderência aos princípios de conservação da biodiversidade, da qualidade da água, ar e solos, captura de carbono, dentre outros. Estes benefícios gerados são reconhecidos e passíveis de remuneração por meio de mecanismos de compensação, tais como os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

O PSA é um mecanismo econômico utilizado para conservar ecossistemas (Farley; Costanza, 2010), promover mudanças no uso da terra pela redução do desmatamento (Myers et al., 2018) e, frequentemente, visa à redução da pobreza rural (Blay-Palmer et al., 2020). Os programas de PSA foram planejados como instrumentos de mercado para complementar ou substituir abordagens regulatórias ao manejo de ecossistemas e tem, como princípio, a oferta de recompensas financeiras para proprietários rurais que adotam práticas de conservação dos recursos naturais (Wunder, 2005). Esses mecanismos geram não só benefícios sociais e econômicos para os que vivem nessas terras, mas também contribuem para o bem-estar da sociedade em geral (Seminário..., 2021). Eles têm sido implementados, principalmente, em países em desenvolvimento, como uma alternativa econômica às atividades que resultam em desmatamento, combinando mecanismos de mercado com regulamentação governamental e subsídios aos agricultores (Eloy et al., 2013).

A Lei nº 12.727 de 17 de outubro de 2012 (Brasil, 2012a) - que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa mas, popularmente, é conhecida como “o novo Código Florestal” - no seu artigo 41, atribui ao Poder Executivo Federal o estabelecimento de um programa de apoio e fomento à conservação do meio ambiente, por meio de pagamento por serviços ambientais (PSA), como retribuição às atividades que impactam positivamente os serviços ecossistêmicos, tais como o estoque de carbono, a conservação da beleza cênica, da biodiversidade e dos recursos hídricos, além da regulação do clima. De acordo com a lei, esse programa deve integrar os sistemas em níveis nacional e estadual, criando um mercado de serviços ambientais (Leite; Anguita, 2017). Adicionalmente, a Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021 (Brasil, 2021), instituiu a Política Nacional de Pagamentos por Serviços Ambientais (PNPSA). O pagamento, segundo essa lei, pode ser direto, monetário ou não monetário, por prestação de melhorias sociais às comunidades rurais e urbanas, pela compensação vinculada a certificado de redução de emissões por desmatamento e degradação, por títulos verdes (*green bonds*), comodato ou, ainda, Cota de Reserva Ambiental (CRA), instituída pela Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Brasil, 2012b).

Embora a legislação federal seja recente, iniciativas que visem a manutenção de cobertura vegetal natural ou à recuperação de áreas degradadas que geram serviços ambientais e podem ser passíveis

de pagamento têm sido implantadas no Brasil. Pagiola et al. (2013) e Prado et al. (2019) apresentaram um panorama das iniciativas de PSA no Brasil, focados no carbono, na biodiversidade e na água. Desde 2001, vários instrumentos jurídicos envolvendo PSA no Brasil têm sido criados nos diversos níveis administrativos (Coudel et al., 2015). Em nível federal, o Programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas, criado em 2005, vem sendo adotado por comitês de bacias hidrográficas e órgãos gestores de recursos hídricos em diferentes biomas brasileiros (Fidalgo et al., 2017), como um instrumento econômico envolvendo o PSA com foco na água. O PNPSA representou um reforço no arcabouço jurídico para a proteção de mananciais.

Os programas de PSA que focam no sequestro de carbono são, em parte, resultado dos programas REDD+ (Redução das Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal mais Manejo Florestal) que visam proteger as florestas e melhorar os meios de subsistência das comunidades locais (Pacheco et al., 2012). Em nível estadual, o Programa Bolsa Floresta na Amazônia - criado em 2007 para a conservação da Floresta Amazônica - vincula a redução do desmatamento ao pagamento pelas toneladas de emissões de gases de efeito estufa evitados, e prevê uma compensação financeira para os serviços prestados pelas populações tradicionais do Amazonas (Viana, 2008; Cisneros et al., 2022).

No Acre, a Lei estadual nº 2.308, de 22 de outubro de 2010, instituiu o Sistema de Incentivos aos Serviços Ambientais (Sisa), órgão do governo que coordena as estratégias de consolidação do mercado e fornece subsídios para os seringueiros, por meio de programas de PSA (CIFOR, 2014). As iniciativas que visem a manutenção de cobertura vegetal natural ou à recuperação de áreas degradadas também são apoiadas pelo Sisa. Para o programa de carbono, um projeto de pesquisa na Terra Indígena Poyanawa possibilitou o estabelecimento de índices de referência para uma estratégia de alinhamento das emissões de carbono evitadas, com a manutenção de uma área protegida. Amaral et al. (2021) relataram que a área tem uma média de 6.381 t CO₂ de emissões evitadas por ano, e estimaram que esse valor representaria R\$ 2.450.334,00 no período de 2006 a 2025.

Dentre os programas de PSA, a remuneração pela captura/retenção de carbono tem um formato com potencial de ser aplicado aos sistemas de produção tradicional de erva-mate. Aplicando o conceito de emissões de carbono evitadas à realidade dos agricultores familiares da região centro-sul do Paraná, que adotam o cultivo de erva-mate sob sombreamento de florestas, entende-se que esses sistemas tradicionais de produção contribuem para a redução de emissão de carbono. Dessa forma, os produtores que os adotam poderiam ser remunerados, com a criação de um projeto que viabilizasse essa iniciativa. Adicionalmente, o incentivo à implantação de sistemas de produção baseados na erva-mate sombreada é alternativa de uso da terra com potencial de captura de carbono a partir da formação de uma cobertura florestal permanente, podendo ser, portanto, elegível em programas de pagamento de serviços ambientais.

Ao buscar o pagamento pela captura de carbono pelas florestas mantidas em pé ou implantadas, é necessário que se conheça o potencial de captura de carbono dessa floresta. Essa informação requer a quantificação do estoque atual de carbono da floresta, o que se denomina *baseline* e, além disso, o acompanhamento do seu crescimento em um determinado período. Assim, a partir de medições periódicas das árvores, pode-se determinar a quantidade de carbono absorvida por ano, por exemplo, e ofertar essa quantidade ao mercado de créditos de carbono.

Nesse contexto, o presente documento apresenta um método simples para viabilizar a quantificação de biomassa e carbono em propriedades rurais, a partir de dados coletados em três propriedades rurais no município de Bituruna – PR, que possuem sistemas distintos de produção de erva-mate sombreada. Maiores detalhes sobre a descrição das áreas e da metodologia adotada na coleta de dados podem ser encontrados em Rosot et al. (2022).

Metodologia para a quantificação de biomassa e carbono

A proposição da metodologia de amostragem e quantificação de biomassa por meio de uma equação para povoamento originou-se da análise da matriz de correlação entre as variáveis dendrométricas observadas em três propriedades rurais em Bituruna, PR (Tabela 1). A base de dados é composta por médias das variáveis DAP (diâmetro à altura do peito) e altura de todas as árvores, DAP e altura das árvores dominantes, número de árvores por hectare, área basal e biomassa por hectare obtidas em três parcelas de 2.500 m², nas quais todas as subparcelas de 100 m² que continham árvores (71 dentre 75) foram incluídas nas análises. (Tabela 2).

Tabela 1. Número de subparcelas por parcela e descrição resumida

Propriedade	Descrição	Número de subparcelas
A	Relevo ondulado, cobertura florestal média a densa, colheita de erva-mate a cada dois anos. Enriquecimento com mudas de erva-mate com densidade de 2.000 mudas por hectare, aproximadamente.	25
B	Relevo suave ondulado, cobertura florestal densa e frequência de colheita de erva-mate a cada cinco anos.	25
C	Relevo ondulado, sistema silvopastoril (caíva) em que bovinos para produção de leite pastam sob a cobertura de árvores esparsas (dossel superior) – entre-meadas por plantas de erva-mate adultas que tiveram poda drástica, ocorrentes naturalmente no local (mais de 45 anos). A colheita é feita a cada dois anos.	21
Total		71

Tabela 2. Estatísticas dendrométricas descritivas da base de dados.

Valor	DAP (cm)		Altura (m)		Número árvores ha ⁻¹	Área basal (m ² ha ⁻¹)	Biomassa seca (Mg ha ⁻¹)
	médio	dominante	média	dominante			
mínimo	7,7	13,1	7,2	7,8	100	3,4	18,2
máximo	43,0	76,1	22,4	26,6	2200	52,0	322,3
médio	21,3	33,8	11,9	15,9	551	19,0	110,1

DAP dominante = DAP da árvore de maior diâmetro em 100 m², Altura dominante = altura da árvore de maior diâmetro em 100 m², Número de árvores ha⁻¹ = número de árvores por hectare com DAP > 5 cm, Área basal = soma das áreas transversais por hectare calculadas com o DAP das árvores.

A premissa do trabalho foi priorizar a facilidade na obtenção dos dados e, para isso, considerou-se que a instalação e medição de parcelas de inventário florestal pelo método convencional seriam complicadores para leigos que desejassem quantificar a biomassa em suas florestas. Buscou-se um método em que não fosse necessário medir o DAP e altura de todas as árvores das parcelas, mas que gerasse resultados comprovadamente consistentes. Em conformidade com esses pressupostos, a metodologia de quantificação de biomassa adota a amostragem em pontos, pelo método de Bitterlich, descrita por Péllico Netto e Brena (1997), a ser viabilizada com o uso de um equipamento de fácil manuseio. O uso desse método de amostragem teve resultados validados na literatura, tais como aqueles reportados por Santos et al. (2016), Moscovich et al. (1992) e Retslaff et al. (2014).

A definição dos modelos matemáticos a serem ajustados, para quantificar biomassa por unidade de área, considerou a facilidade da obtenção das variáveis no campo e a busca por publicações

sobre o ajuste de equações de volume ou de biomassa para povoamento, em floresta natural, conforme relatado por Oliveira et al. (2005) e Dong et al. (2019). Os modelos matemáticos testados (Tabela 3) consideraram como variáveis independentes, variáveis do povoamento que possuíam correlação significativa ($p < 0,05$) com a biomassa, como área basal ($r = 0,9925$), DAP dominante ($r = 0,8287$) ou altura dominante ($r = 0,4461$), para os dados considerados na análise; essas variáveis podem ser obtidas de maneira mais rápida se comparadas ao método tradicional, que requer a medição de todas as árvores. Ressalta-se que o DAP médio ($r = 0,4925$), e a altura média ($r = 0,3968$) também tiveram correlações significativas com a biomassa, mas requerem a medição de todas as árvores ou de grande maioria delas, respectivamente, para obtenção da média. O número de árvores por hectare apresentou correlação com a biomassa de 0,1262, não significativa, portanto não foi incluído entre as variáveis para ajuste de equação.

Tabela 3. Modelos matemáticos ajustados para a estimativa de biomassa por hectare.

Modelo
$\ln(BS) = b_0 + b_1 \times \ln(G) + b_2 \times \ln(h_{dom})$
$BS = b_0 + b_1 \times G + b_2 \times h_{dom}$
$\ln(BS) = b_0 + b_1 \times \ln(G)$
$BS = b_0 + b_1 \times G + b_2 \times DAP_{dom}$
$BS = b_0 + b_1 \times G$
$\ln(BS) = b_0 + b_1 \times \ln(G \times h_{dom})$
$BS = b_0 + b_1 \times G \times h_{dom}$
$BS = b_0 + b_1 \times \ln(G)$
$BS = b_0 + b_1 \times \ln(G \times h_{dom})$

BS = biomassa seca em $Mg\ ha^{-1}$; G = área basal em $m^2\ ha^{-1}$; h_{dom} = altura dominante (m); DAP_{dom} = DAP dominante (cm); b_0 , b_1 , b_2 = coeficientes do modelo; \ln = logaritmo neperiano.

As variáveis número de árvores e área basal são indicadores de densidade da floresta, sendo que a primeira é dada pela média, por hectare, do total de número de árvores com DAP maior que 5 cm (ou CAP > 15,7 cm), e a segunda representa a “área ocupada”, em um hectare, pelas seções transversais à altura do DAP (1,30 m) de todas as árvores (Figura 1). A área basal inclui a representação do número de árvores e os seus DAPs; assim, o mesmo valor de área basal pode representar uma floresta com muitas árvores “finas” ou uma floresta com poucas árvores bem desenvolvidas.

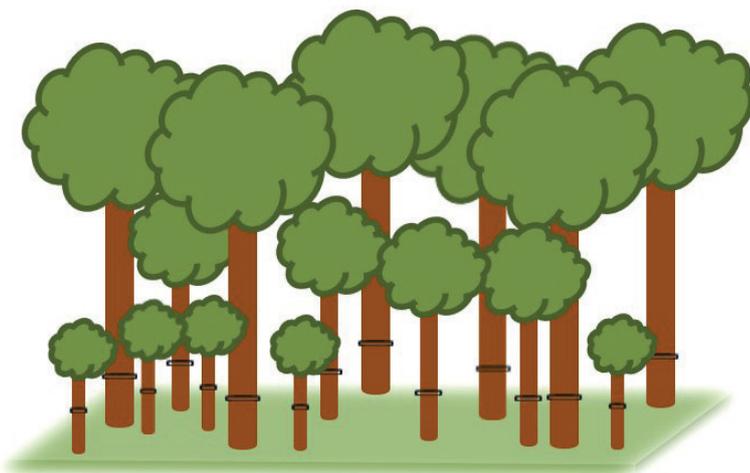


Figura 1. Representação da área basal: área ocupada pela seção transversal à altura de 1,30 m de todas as árvores, em uma unidade de área, no caso, um hectare.

Ilustração: Denise Jeton Cardoso.

As variáveis DAP dominante e altura dominante são indicadores do desenvolvimento da floresta; implicitamente podem indicar a qualidade do solo. No caso de florestas naturais, refletem o estágio da regeneração natural em florestas secundárias. Por definição, a altura dominante é a altura das 100 árvores de maior DAP em um hectare, portanto, nessa análise, refere-se à altura da árvore de maior DAP em cada uma das subparcelas de 100 m². Consequentemente, o DAP dominante é o DAP dessa árvore.

A biomassa por unidade de área foi obtida da soma da biomassa de cada árvore da subparcela, extrapolada para um hectare. A biomassa de cada árvore foi calculada pela equação ajustada por Ratuchne (2010):

$$BS = 0,317 \times DAP + 0,009 \times (DAP \times h_t) \quad (1)$$

Para o jerivá (*Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassman), utilizou-se a equação ajustada por Moreira-Burger; Delliti (2010):

$$BS = \exp(-0,884 + 2,40 \times \ln(h_t)), \quad (2)$$

em que BS = peso seco de biomassa (kg), DAP = diâmetro à altura do peito (cm) e h_t = altura total (m).

A quantidade de carbono (C) foi calculada mediante a aplicação de um fator médio de conversão de biomassa em carbono, conforme reportado por Magnussen e Reed (2015):

$$C = 0,475 \times BS \quad (3)$$

A quantidade de CO₂ equivalente (CO_{2eq}) capturada pela atmosfera foi calculada de acordo com (Balbinot et al., 2008):

$$CO_{2eq} = C \times 3,6667$$

Desenvolvimento da metodologia

Passo 1: Ajuste e avaliação das equações de biomassa para povoamento.

Entre os nove modelos matemáticos submetidos ao ajuste, o que gerou melhores estimadores estatísticos foi o representado pela equação 5 (Tabela 4), que é logarítmica e inclui a área basal e a altura dominante como variáveis independentes. Essa foi também a única que apresentou a distribuição dos resíduos com a maioria dos pontos entre -5% e +5% (Figura 2); as demais tiveram distribuição muito dispersa com valores entre -15% e +20%, atingindo até -60% e +30%.

A recomendação é que seja adotada a equação 5, entre as listadas na Tabela 4:

$$BS = \exp(1,117017 + 1,010929 \times \ln(G) + 0,214807 \ln(h_{dom})) \quad (5)$$

em que:

BS = biomassa seca em Mg ha⁻¹, G = área basal em m² ha⁻¹, h_{dom} = altura dominante (m), exp = antilogaritmo, ln = logaritmo neperiano.

Tabela 4. Coeficientes (b_0 , b_1 , b_2) e estimadores estatísticos para as equações ajustadas para a estimativa da biomassa seca (BS) por hectare.

	Equação	b_0	b_1	b_2	R^2	R^2_{aj}	Syx	F
5	$\ln(BS)=b_0 + b_1 \ln G + b_2 \ln h_{dom}$	1,117017	1,010929	0,214807	0,9972	0,9971	4,73	11936,56
6	$BS = b_0 + b_1 G + b_2 h_{dom}$	-25,450859	5,852315	1,511328	0,9918	0,9915	6,47	4099,47
7	$\ln(BS) = b_0 + b_1 * \ln(G)$	1,596520	1,049963	-	0,9910	0,9909	8,56	7611,70
8	$BS = b_0 + b_1 G + b_2 DAP_{dom}$	-14,514835	5,620663	0,519643	0,9879	0,9875	7,85	2769,23
9	$BS = b_0 + b_1 * G$	-5,172103	6,052426	-	0,9851	0,9849	8,64	4567,85
10	$\ln BS = b_0 + b_1 \ln(G * h_{dom})$	-0,032025	0,823907	-	0,9425	0,9417	17,24	1131,55
11	$BS = b_0 + b_1 G * h_{dom}$	16,816770	0,290656	-	0,9406	0,9398	17,25	1093,24
12	$BS = b_0 + b_1 * \ln(G)$	-167,082417	100,449889	-	0,8459	0,8437	27,79	378,85
13	$BS = b_0 + b_1 \ln(G * h_{dom})$	-320,665900	78,419096	-	0,7963	0,7934	31,96	269,75

BS = biomassa seca em $Mg ha^{-1}$, G = área basal em $m^2 ha^{-1}$, h_{dom} = altura dominante (m), DAP_{dom} = DAP dominante (cm), R^2 = coeficiente de determinação, R^2_{aj} = coeficiente de determinação ajustado, Syx = erro padrão da estimativa, F = relação entre a variação entre a média entre amostras e dentro de amostras.

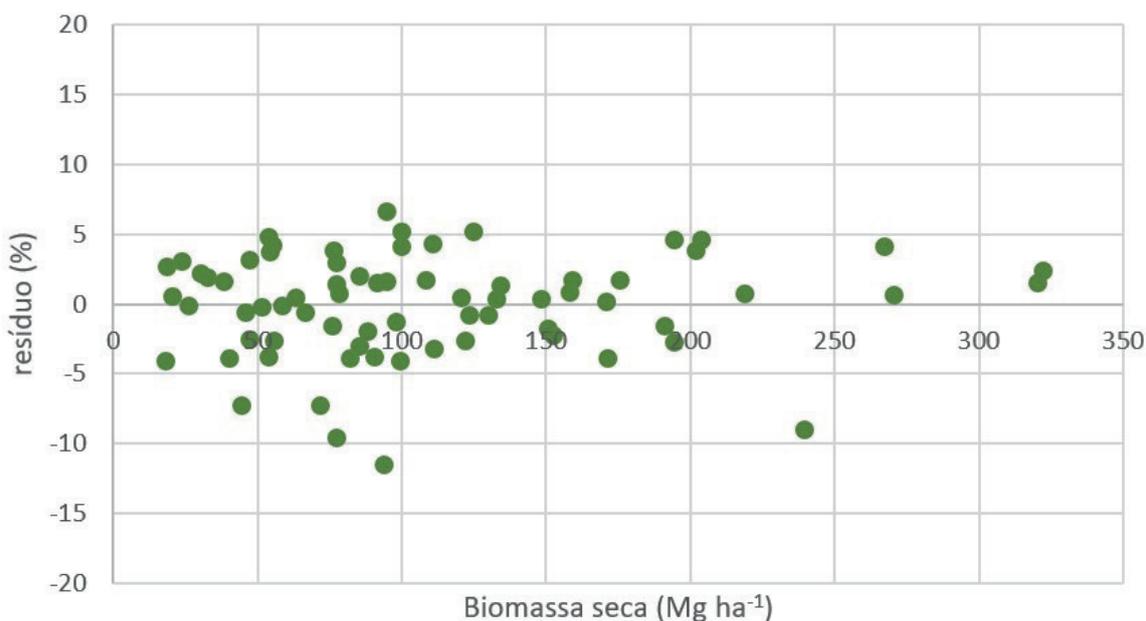


Figura 2. Resíduos em porcentagem plotados em relação à biomassa seca “observada” para o ajuste da equação 5.

Propõe-se o uso dessa equação até que se disponha de uma base de dados maior, com mais parcelas medidas nas áreas de floresta em sistemas tradicionais de erva-mate. Seu uso é restrito para florestas secundárias típicas de sistemas tradicionais de produção de erva-mate que apresentem área basal entre $3,4 m^2 ha^{-1}$ e $52 m^2 ha^{-1}$ e altura dominante entre 7,8 m e 26,6 m, pois essa foi a amplitude dos dados medidos nas subparcelas. Por ser uma equação logarítmica, dados fora dessas amplitudes podem gerar resultados com valores negativos e, portanto, inadequados.

Passo 2: Como obter os valores das variáveis independentes para quantificar a biomassa por unidade de área

O método de Bitterlich requer somente que se defina o ponto central. A inclusão de árvores na parcela é dada pela visualização dos limites de seus diâmetros no pentaprisma, ou equipamento similar, de

mais fácil manuseio, como os medidores de área basal mostrados nas Figuras 3a e 3b. Com o uso desses medidores, pode-se estimar a área basal sem medir cada uma das árvores, que é o que se pretende nessa metodologia. Deve-se visualizar o tronco da árvore no intervalo vazio do medidor (Figura 3a) ou no intervalo preenchido (Figura 3b), que é denominado banda. Na figura 3a, o medidor dispõe das bandas 2, 4 e 6 no sentido horizontal e a banda 10, no sentido vertical, sendo necessário colocar o medidor na horizontal para usar essa última. No dendrômetro de Kramer (Figura 3b), são apresentadas as bandas 1, 2 e 4, que seriam as porções de metal, numeradas.

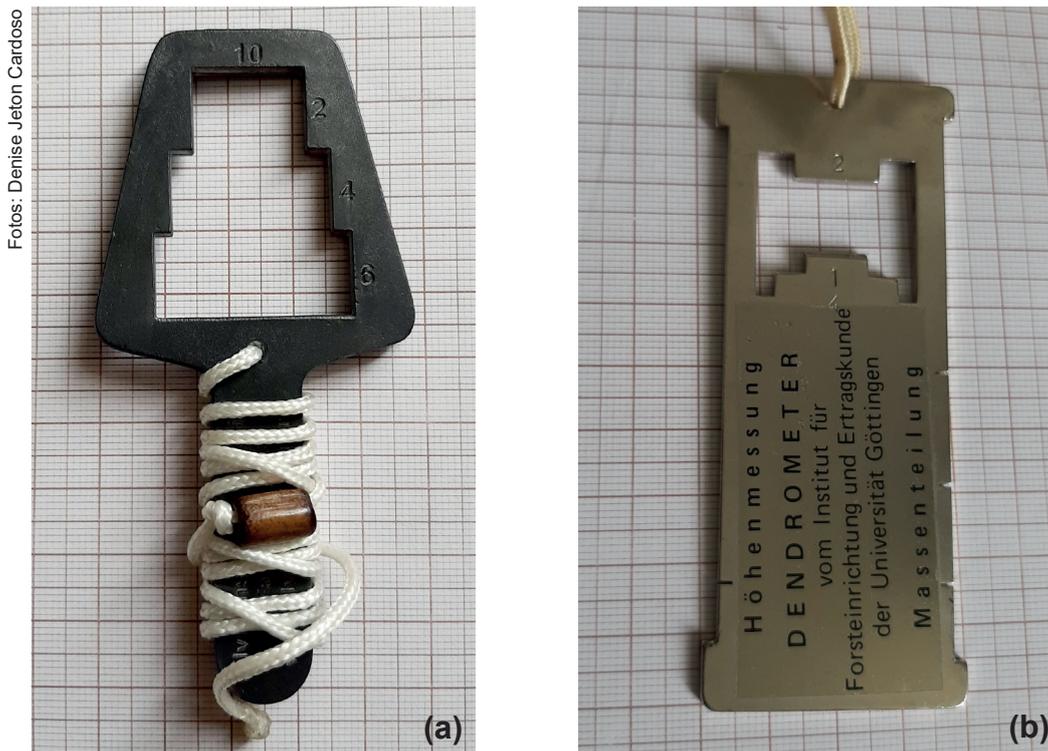


Figura 3. Medidor de área basal com quatro bandas (a) e dendrômetro de Kramer (b). Ambos possibilitam a medição da altura das árvores também, por relação trigonométrica.

A quantificação da área basal pela amostragem em pontos consiste em se posicionar em um ponto da floresta, fazer um giro de 360 graus, com o medidor de área basal posicionado conforme Figura 4, visando a altura de 1,30 m nos fustes. Inicialmente, seleciona-se uma das bandas do equipamento. O ideal é que a banda selecionada possibilite a contagem de 10 a 20 árvores, mas é possível que, no caso de florestas naturais, sejam mais indicadas as bandas 1 ou 2.

Ao final do giro, o total de árvores contadas deve ser multiplicado pelo valor da banda:

$$G = N \times K \quad (14)$$

em que:

G = área basal em $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$

N = número de árvores contadas pela visualização no equipamento

K = fator de área basal selecionado para o levantamento (banda).

Assim, por exemplo, se ao final do giro foram contadas 12 árvores, e a banda selecionada foi a banda 2, a área basal resultante seria $24 \text{ m}^2 \text{ha}^{-1}$.

Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot



Figura 4. Posicionamento para uso do medidor de área basal, mirando o tronco das árvores à altura de 1,30 m (DAP).

Durante a visada, três situações ocorrerão:

Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot



Figura 5. Os limites do DAP da árvore extrapolam o limite da banda selecionada. Nesse caso, conta-se uma árvore.

Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot



Figura 6. Os limites do DAP da árvore são menores ou bem menores que o limite da banda selecionada. Nesse caso a árvore não é contabilizada.

Foto: Maria Augusta Doetzer Rosot



Figura 7. Os limites do DAP coincidem exatamente com o limite da banda selecionada. Nesse caso conta-se 0,5 de uma árvore.

Com esse procedimento, uma das variáveis de entrada (área basal) para quantificar a biomassa com a equação 5, pode ser facilmente obtida, restando ainda a medição da altura dominante, a ser obtida entre as árvores contadas no ponto amostral. Conforme a banda selecionada, o número de árvores a serem medidas, para se obter a altura dominante, pode variar. Por definição, a altura dominante é a média da altura das 100 árvores de maior DAP em um hectare. No método de Bitterlich, a área das parcelas é variável, portanto não há como definir o número de árvores dominantes proporcional à área da parcela. Para efeito de obtenção de um valor médio representativo, adotou-se o critério de medir a altura das três árvores de maior DAP em cada ponto amostral.

A medição da altura das três árvores dominantes (as três árvores de maior DAP) em cada ponto amostral pode ser feita por meio de um aplicativo de celular. Oliveira et al. (2021) avaliaram o desempenho de oito aplicativos em comparação com o hipsômetro Vertex III e observaram maior precisão e exatidão nas medições da altura total das árvores com os apps *Height Calculator*, *Smart Tools* e *Two Point Height*. Uma avaliação específica para medições de árvores em sistema de erva-mate sombreada por floresta natural será objeto de outro estudo. Na medição de alturas, deve-se ter o cuidado de se manter a uma distância da árvore maior ou equivalente à distância da projeção de sua copa, aproximadamente, e de onde seja possível visualizar sua base e seu topo.

Aplicação da metodologia

Uma vez determinados a equação e o procedimento para a obtenção das variáveis que a compõem, deve-se seguir uma sequência de passos para colocar em prática o uso da metodologia.

1) Planejamento do levantamento

Um mapa ou croquis da área de floresta ou mesmo uma imagem do Google Earth facilitará o levantamento. Antes de ir ao campo, é recomendável marcar os pontos amostrais no mapa ou croquis, tendo-se em mente que esses pontos devem representar diferentes situações de estágio de regeneração da floresta.

A distribuição dos pontos deve evitar que a mesma árvore não seja contada simultaneamente em dois ou mais pontos amostrais. A definição da distância mínima entre os pontos está correlacionada com a banda do medidor de área basal (fator de área basal – K) selecionado para o trabalho e com o DAP máximo possível de ser encontrado na floresta (Péllico Netto; Brena, 1997):

$$D = \frac{2 \times \text{DAP}_{\text{max}}}{\sqrt{K}} \quad (15)$$

em que:

D = distância mínima entre pontos amostrais (m), DAP_{max} = DAP máximo possível de ser encontrado na floresta, K = fator de área basal selecionado.

Assim, por exemplo, se o fator K selecionado foi “2” e o DAP máximo é 60 cm, a distância mínima entre pontos amostrais deveria ser de 84,8 m ou arredondando, 85 m.

2) Número de pontos amostrais

Não há uma regra fixa sobre o número de pontos amostrais a se medir no método de Bitterlich. Considerando o erro amostral de 21,8% a 32,3% obtido em quatro áreas com 25 parcelas de 100 m² pelo método convencional (Rosot et al., 2022) sugere-se um número mínimo de pontos amostrais, conforme apresentado na Tabela 5. Para áreas maiores que 10 ha, pode-se manter a mesma quantidade de pontos, pois o coeficiente de variação da variável de interesse, no caso a biomassa,

tende a se manter constante, a partir de uma determinada intensidade amostral. Em qualquer situação, a decisão sobre aumentar ou não a quantidade de pontos dependerá do erro amostral obtido em um primeiro levantamento.

Tabela 5. Número mínimo de pontos amostrais, conforme as dimensões da área da floresta na propriedade.

Área da floresta (ha)	Número de pontos amostrais
1 a 2	15
2 a 3	20
3 a 5	25
5 a 10	30
> 10	35

3) Seleção da banda do medidor de área basal (fator de área basal)

Não há uma regra fixa para definir a banda a ser selecionada para a contagem de árvores no medidor de área basal. Sanquetta et al. (2009) recomendam que a banda selecionada deve possibilitar a contagem de 15 a 20 árvores. Deve-se utilizar a mesma banda para todos os pontos amostrais. Antes de iniciar o trabalho, sugere-se a realização de três giros de 360° contando as árvores abrangidas pelas bandas 1, 2 e 4. A decisão poderá levar em conta características da floresta, como sub-bosque denso e maior quantidade de árvores pequenas, o que pode dificultar a visualização em alguma das bandas.

4) Informações a anotar (formulário de campo)

O formulário de coleta de dados deve ser um documento que poderá ser consultado em anos subsequentes, para o acompanhamento do crescimento das árvores dominantes e do recrutamento e mortalidade de árvores. Sugere-se o modelo de formulário de coleta de dados apresentado na Figura 8, que também poderá ser utilizado como memória de cálculo para se obter os resultados de biomassa.

As coordenadas do ponto central podem ser obtidas por uma foto do celular. O objetivo de anotá-las no formulário é facilitar a chegada no mesmo ponto nas medições seguintes. Nesse sentido, recomenda-se a colocação de uma estaca de madeira de cerca de 1 m de comprimento, com a ponta pintada com tinta azul, que facilita sua visualização mesmo à distância.

Embora não sejam absolutamente necessários, se possível deve-se anotar os nomes das espécies das três árvores dominantes.

5) Cálculos e emissão de resultados

Os cálculos podem ser feitos em planilha Excel ou preenchendo manualmente uma tabela que contenha as informações apresentadas, como no exemplo da Figura 9. Os cálculos são realizados adotando as fórmulas (5) para biomassa seca e (14) para área basal, já mencionadas. A altura dominante é a altura média das três árvores medidas por ponto amostral.

O resultado será a média de biomassa de todos os pontos amostrais. A quantidade de carbono dessa biomassa é obtida pela fórmula (3) e a quantidade de CO₂ equivalente, pela fórmula (4).

Assim, no exemplo da Figura 9, a floresta teria 127,4 Mg ha⁻¹ de biomassa seca arbórea, representando 60,5 Mg C ha⁻¹, ou 221,9 Mg CO₂ eq. ha⁻¹.

Formulário de coleta de dados e processamento para quantificação expedita de biomassa arbórea										
Data:										
Dados coletados por:										
Fator de área basal (K):										
Número do ponto	Coordenada 1 Latitude (graus)	Coordenada 2 Longitude (graus)	Número de árvores (N)	Área basal (N x K)	Árvores dominantes					Biomassa
					Árvore	CAP	DAP	Ht	Espécie	
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										
					1					
					2					
					3					
Média										

Formulário de coleta de dados e processamento para quantificação expedita de biomassa arbórea										
Data: 5/12/22										
Dados coletados por: João da Silva										
Fator de área basal (K): 2										
Número do ponto	Coordenada 1 Latitude (graus)	Coordenada 2 Longitude (graus)	Número de árvores (N)	Área basal (N x K)	Árvores dominantes					Biomassa
					Árvore	CAP	DAP	Ht	Espécie	
	-26.314298	-49.013493	9.5	19.0	1	100.0	31.8	12.0		
2					90.0	28.6	13.5			
3					89.0	28.3	15.0			
Média						93.0	29.6	13.5		104.9
	-26.315633	-49.013432	10	20.0	1	118.0	37.6	10.0		
2					87.0	27.7	10.7			
3					145.0	46.2	13.0			
Média						116.7	37.1	11.2		106.2
	-26.317488	-49.013118	12	24.0	1	112.0	35.7	15.0		
2					114.0	36.3	16.0			
3					125.0	39.8	12.5			
Média						117.0	37.2	14.5		134.9
	-26.3174	-49.011466	11	22.0	1	120.0	38.2	14.5		
2					110.0	35.0	12.5			
3					99.0	31.5	12.7			
Média						109.7	34.9	13.2		121.1
	-26.317439	-49.010399	10.5	21.0	1	123.0	39.2	14.8		
2					100.0	31.8	15.0			
3					116.0	36.9	13.4			
Média						113.0	36.0	14.4		117.7
	-26.319007	-49.010468	8	16.0	1	96.0	30.6	16.0		
2					140.0	44.6	14.5			
3					113.0	36.0	15.6			
Média						116.3	37.0	15.4		90.6
	-26.318297	-49.015174	15	30.0	1	115.0	36.6	14.3		
2					135.0	43.0	15.0			
3					160.0	50.9	17.0			
Média						136.7	43.5	15.4		171.3
	-26.317754	-49.016489	11	22.0	1	110.0	35.0	12.0		
2					124.0	39.5	11.0			
3					115.0	36.6	12.5			
Média						116.3	37.0	11.8		118.2
	-26.317734	-49.01888	15	30.0	1	130.0	41.4	10.3		
2					122.0	38.8	12.0			
3					95.0	30.2	13.0			
Média						115.7	36.8	11.8		161.6
	-26.317949	-49.020366	14	28.0	1	132.0	42.0	9.0		
2					131.0	41.7	11.0			
					114.0	36.3	12.3			
Média						125.7	40.0	10.8		147.8
Média dos pontos amostrais de toda a área				23.2						127.4

CAP = circunferência a 1,30 m do chão, a ser medido com fita métrica (cm).

DAP = diâmetro a 1,30 m do chão (cm), dado por $CAP \div 3,14159$, Área basal ($m^2 ha^{-1}$)

Ht = altura total da árvore (m), a ser medido com aplicativo de celular, Biomassa = peso seco de biomassa ($Mg ha^{-1}$)

Figura 9. Exemplo de preenchimento de formulário de coleta de dados e de cálculo de biomassa. Os valores são meramente ilustrativos, inclusive as coordenadas.

6) Cálculo do erro amostral

O valor médio de biomassa é uma estimativa baseada na amostragem, uma vez que não é possível medir as árvores de toda a floresta. Assim, deve-se calcular o erro amostral, que se refere ao percentual de diferença em relação ao valor médio obtido, para menos ou para mais, por se trabalhar com uma amostragem. As fórmulas, conforme Scolforo e Mello (2006) e um exemplo de cálculos, a partir dos dados da Figura 9, constam na Tabela 6. Na fórmula do erro amostral, o valor de t aplicado é obtido da tabela t (Tabela 7). Nesse exemplo, seria o valor para 9 graus de liberdade ($n-1$) para uma probabilidade de 0,05 (teste bi-caudal) em que n é o número de pontos amostrais medidos.

O cálculo dos estimadores estatísticos indica que, pelo resultado da medição dos dez pontos amostrais, essa floresta teria 127,4 Mg ha⁻¹ de biomassa arbórea, com um erro amostral de 14,61%, ou seja, que a média verdadeira da população está em um intervalo de 95% de confiança entre 108,8 Mg ha⁻¹ e 146,0 Mg ha⁻¹. Em florestas nativas é aceitável um erro amostral de até 15%.

Tabela 6. Fórmulas dos estimadores estatísticos e exemplo de cálculo.

	Estimador estatístico	Fórmula	Cálculo referente ao exemplo da Figura 9
16	Média	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$	$\bar{x} = \frac{104,9 + 106,2 + \dots + 147,8}{10}$ $\bar{x} = 127,4$
17	Variância	$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n - 1}$	$s_x^2 = \frac{(104,9 - 127,4)^2 + \dots + (147,8 - 127,4)^2}{9}$ $s_x^2 = 677,11$
18	Desvio padrão	$s_x = \sqrt{s_x^2}$	$s_x = \sqrt{677,11}$ $s_x = 26,021$
19	Coefficiente de variação	$CV\% = \frac{s_x}{\bar{x}} \times 100$	$CV\% = \frac{26,021}{127,4} \times 100$ $CV\% = 26,4 \%$
20	Erro padrão da média	$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{s_x^2}{n}}$	$s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{677,11}{10}}$ $s_{\bar{x}} = 8,229$
21	Erro amostral absoluto	$E = \frac{t \times s_{\bar{x}}}{\bar{x}}$	$E = \frac{2,262 \times 8,229}{127,4}$ $E = 0,1461$
22	Erro amostral (%)	$E\% = \frac{t \times s_{\bar{x}}}{\bar{x}} \times 100$	$E\% = 0,1461 \times 100$ $E\% = 14,61\%$

Tabela 7. Limites da distribuição t.

Graus de liberdade	Probabilidade									
	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,0001
1	0,158	0,510	1,000	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	0,142	0,445	0,816	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,137	0,424	0,765	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,134	0,414	0,741	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,408	0,727	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,131	0,404	0,718	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,402	0,711	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,130	0,399	0,706	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,398	0,703	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,397	0,700	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,129	0,396	0,697	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,395	0,695	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,394	0,694	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,393	0,692	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	3,140
15	0,128	0,393	0,691	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,392	0,690	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,392	0,689	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,392	0,688	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,391	0,688	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,391	0,687	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,391	0,686	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,390	0,686	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,390	0,685	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,127	0,390	0,685	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,390	0,684	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,390	0,684	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,389	0,684	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,127	0,389	0,683	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,389	0,683	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,127	0,389	0,683	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	0,126	0,388	0,681	1,050	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	0,126	0,387	0,679	1,046	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	0,126	0,386	0,677	1,041	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
∞	0,126	0,385	0,674	1,036	1,282	1,645	1,96	2,326	2,576	3,291

Fonte: Scolforo; Mello (2006).

7) Periodicidade das medições

Depois de estabelecido o estoque de biomassa e carbono na floresta da propriedade, deve-se estabelecer uma periodicidade de medições para se definir a quantidade média de carbono armazenada por ano, gerado pelo crescimento das árvores. Considerando que o método de medição exige pouco tempo e é de fácil processamento, poderia ser feita uma medição a cada ano. Com o passar dos anos, se for observado crescimento lento, pode-se assumir que uma medição a cada dois ou três anos é suficiente.

8) Informações para o PSA - sequestro de carbono

No mercado de carbono, a comercialização de uma tonelada de CO₂ eq representa uma tonelada de CO₂ eq “evitado” ou que deixou de poluir a atmosfera devido a uma determinada atividade. Nesse sentido, em um projeto produtivo que mantém a floresta em pé, uma das informações necessárias para o ingresso no mercado se origina das medições da floresta. O estabelecimento da *baseline* (quantificação do estoque de carbono) é o ponto inicial e, a partir deste, determina-se o balanço anual de CO₂ eq, o que resulta na quantidade de créditos de CO₂ eq que podem ser ofertados.

Considerações finais

A proposta de metodologia apresentada neste trabalho surgiu da constatação da diversidade de configurações de florestas onde os dados foram coletados para o ajuste da equação e da correlação alta observada entre área basal e biomassa. Além disso, o procedimento foi validado para o ajuste de equação para povoamento florestal, para o cálculo de volume por hectare (Oliveira et al., 2005) e biomassa por hectare (Dong et al., 2019). No entanto, requer refinamento para o seu uso em larga escala, a partir do momento que for viabilizado um projeto de PSA para os produtores da erva-mate em sistema tradicional. Esse refinamento se refere à obtenção de uma base de dados maior, com a coleta realizada no método convencional e, ao mesmo tempo, a coleta com o método de Bitterlich.

Considera-se que há boas possibilidades de implementação desse método com sucesso, devido à sua facilidade de utilização. A continuidade do trabalho passará pela adequação e produção do medidor de área basal em material de baixo custo, bem como testes para a avaliação do fator de área basal mais adequado.

Referências

AAMARAL, E. F. do; MELO, A. W. F. de; OLIVEIRA, C. H. A. de; BARDALES, N. G.; OLIVEIRA, T. K. de; MARTORANO, L. G.; FRANKE, I. L.; HAVERROTH, M. **Desmatamento evitado na Terra Indígena Poyanawa, Mâncio Lima, AC, Brasil**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2021. 1 folder.

BALBINOT, R.; VALÉRIO, A. F.; SANQUETTA, C. R.; CALDEIRA, M. V. W.; SILVESTRE, R. Estoque de carbono em plantações de *Pinus* spp em diferentes idades no sul do estado do Paraná. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 317-324, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5380/ufv.v38i2.11626>.

BLAY-PALMER, A.; SPRING, A.; NIMMO, E. R.; LACERDA, A. E. B. de. Traditional food, the right to food, and sustainable food systems. In: DUNCAN, J.; CAROLAN, M.; WISKERKE, J. S. C. (ed.). **Routledge Handbook of Sustainable and Regenerative Food Systems**. London: Routledge, 2020. Cap. 6. 19 p. <https://doi.org/10.4324/9780429466823>.

BRASIL. **Lei n. 12.727**, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12727.htm. 2012a. Acesso: em 30 jun. 2022.

BRASIL. **Lei n. 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. 2012b. Acesso em: 30 jun. 2022.

BRASIL. **Lei n. 14.119**, de 13 de janeiro de 2021, Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>. Acesso em: 6 set. 2021.

CIFOR. In: DUCHELLE, A. E.; GREENLEAF, M.; MELLO, D.; GEBARA, M. F.; MELO, T. (ed.). **Acre's State System of Incentives for Environmental Services (SISA), Brazil**, 2014. Disponível em: <https://www2.cifor.org/redd-case-book/case-reports/brazil/acres-state-system-incentives-environmental-services-sisa-brazil/> Acesso em: 16 maio 2022.

CISNEROS, E.; BÖRNER, J.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Impacts of conservation incentives in protected areas: The case of Bolsa Floresta, Brazil. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 111, article 102572, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102572>.

- COUDEL, E.; FERREIRA, J. N.; AMAZONAS, M. de C.; ELOY, L.; HERCOWITZ, M.; MATTOS, L. M.; MAY, P.; MURADIAN, R.; PIKETTY, M.-G.; TONI, F. The rise of PES in Brazil: from pilot projects to public policies. In: MARTINEZ-ALIER, J.; MURADIAN, R. (ed.). **Handbook of ecological economics**. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing, 2015. cap. 18, p. 450-472. DOI: <https://doi.org/10.4337/9781783471416.00022>.
- DONG, L.; ZHANG, L.; LI, F. Evaluation of stand biomass estimation methods for major forest types in the eastern Da Xing'an Mountains, northeast China. **Forests**, v. 10, n. 715, 2019. 20 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/f10090715>.
- ELOY, L.; COUDEL, E.; TONI, F. Dossiê pagamentos por serviços ambientais no Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 4, n. 1, p. 17-20, jan./jun., 2013. Disponível em: <https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/15540/13839>. Acesso em: 16 maio 2022.
- FARLEY, J.; COSTANZA, R. Payments for ecosystem services: from local to global. **Ecological Economics**, v. 69, n. 11, p. 2060-2068, 2010.
- FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; SCHULER, A. E. (ed.). **Manual para pagamento por serviços ambientais hídricos: seleção de áreas e monitoramento**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 78 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/160960/1/Manual-PSA-hidricos-2017.pdf>. Acesso em: 16 maio 2022.
- LEITE, M. B.; ANGUITA, P. M. La clasificación de las políticas públicas relacionadas con los servicios ecosistémicos en el territorio brasileño. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 106-121, 2017.
- MAGNUSSEN, S.; REED, D. Modelling for estimation and monitoring. In: KNOWLEDGE reference for national forest assessments. Rome: FAO, 2015. p. 111-136. Disponível em: <https://www.fao.org/publications/card/en/c/8fd3b298-e843-4d3f-9ee0-cdb0e41739fd>. Acesso em: 16 maio 2022.
- MOREIRA-BURGER, D.; DELITTI, W. B. C. Modelos preditores da fitomassa aérea da Floresta Baixa de Restinga. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, n. 1, p. 143-153, 2010. DOI: 10.1590/S0100-84042010000100013.
- MOSCOVICH, F. A.; BRENA, D. A.; LONGHI, S. J. Comparação de diferentes métodos de amostragem, de área fixa e variável, em uma floresta de *Araucaria angustifolia*. **Ciência Florestal**, v. 2, n. 1, p. 173-191, 1992.
- MYERS, R.; LARSON, A. M.; RAVIKUMAR, A.; KOWLER, L. F.; YANG, A.; TRENCH, T. Messiness of forest governance: how technical approaches suppress politics in REDD+ and conservation projects. **Global Environmental Change**, v. 50, p. 314-324, 2018.
- NOGUEIRA, R. C.; PEREIRA, L. R. Erva-Mate 2021/2022. **Prognóstico Agropecuário**, v. 13, n. 39, 2021. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-01/erva-mate.pdf. Acesso em: 04 maio 2022.
- OLIVEIRA, M. L. R.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L. de; LEITE, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos florestais naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. **Árvore**, v. 29, n. 2, p. 213-225, 2005.
- OLIVEIRA, J. M. D.; OLIVEIRA, J. P. M. D.; CARDOSO, L. S.; ATAÍDE, D. H. S.; CURTO, R. A.; ARAÚJO, E. J. G. Avaliação de aplicativos de smartphone para mensuração da altura total de árvores. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 2, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/14220211221>.
- PACHECO, P.; PUTZEL, L.; OBIDZINSKI, K.; SCHONEVELD, G. REDD+ and the global economy: Competing forces and policy options. In: ANGELSEN, A.; BROCKHAUS, M.; SUNDERLIN, W. D.; VERCHOT, L. V. (ed.). **Analysing REDD+**: Challenges and choices. Bogor, Indonesia: CIFOR, 2012. p. 51-68.
- PAGIOLA, S.; VON GLEHN, H.; TAFFARELLO, D. IN: PAGIOLA, S., VON GLEHN, H., TAFFARELLO (Eds.). **Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil**. São Paulo: SIMA/SP, 2013.
- PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Ed. dos autores, 1997. 316 p.
- PRADO, R. B.; INÁCIO, M.; LIMA, A. P. M.; SCHULER, A. E.; GUIMARÃES, J.; FIDALGO, E. C. C.; TURETTA, A. P. D.; MONTEIRO, J. M.; MARTINS, A. L.; OLIVEIRA, A. P.; CLEMENTE, E. P.; PEDREIRA, B. C. C. G. Evolução das iniciativas de pagamentos por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 36, n. 2, p. 1-13, 2019. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199783/1/Evolucao-das-iniciativas-de-pagamentos.pdf>. Acesso em: 16 maio 2022.
- RATUCHNE, L. C. Equações alométricas para estimativa de biomassa, carbono e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista. 2010. 111 f. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, PR.
- RETSLAFF, F. A. S.; LANA, M. D.; DOUBRAWA, B.; FIGUEIREDO FIHO, A.; PÉLLICO NETTO, S. Amostragem em conglomerados pelo método de Bitterlich em Floresta Ombrófila Mista. **Nativa**, v. 2, n. 4, p. 194-198, 2014. DOI: <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v02n04a02>.

ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZÚ, M. C.; CARDOSO, D. J.; RIBASKI, J.; ARCE, J. E. **Monitoramento da vegetação arbórea nos sistemas de produção de erva-mate apoiado por geotecnologias**. Série Documentos, XXXX. Colombo: Embrapa Florestas. 2022. Xx p. No prelo.

SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; DALLA CÔRTE, A. P.; FERNANDES, L. de A. V.; SIQUEIRA, J. D. P. **Inventários Florestais: Planejamento e Execução**. 2. ed. Curitiba: Editora Multi-Graphic, 2009. 316 p.

SANTOS, J. S.; MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F. da; FRAGA FILHO, C. V. Método de amostragem de Bitterlich: uma alternativa de inventário florestal para pequenas propriedades rurais fomentadas. **Agrária**, v. 11, n. 1, p. 46-52, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i1a5358>.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 561 p.

SEMINÁRIO SOBRE SISTEMAS DE PRODUÇÃO TRADICIONAIS E AGROECOLÓGICOS DE ERVA-MATE, 5., 2019, União da Vitória. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2021. 65 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 351). Editores técnicos: André Eduardo Biscaia de Lacerda e Evelyn Roberta Nimmo. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1132402>>.

VIANA, V. M. Bolsa Floresta: um instrumento inovador para a promoção da saúde em comunidades tradicionais na Amazônia. **Estudos Avançados** v. 22, n. 64, p. 143-153. 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10352>. Acesso em: 16 maio 2022..

WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. Jakarta: CIFOR, 2005. 24 p. (CIFOR. Occasional Paper, 42).

Embrapa

Florestas

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE: 017863