



TERO.004, V1.0  
METODOLOGIA, AFOLU, ESTOQUE DE CARBONO  
TERO CARBON AVALIAÇÕES E CERTIFICAÇÕES S.A.



**TERO.004 - ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMA AGROSSILVIPASTORIL**

**VERSÃO 1.0**

**METODOLOGIA, AFOLU, ESTOQUE DE CARBONO**

---

**TERO CARBON AVALIAÇÕES E CERTIFICAÇÕES S.A.**

**IDENTIFICAÇÃO**

<b>METODOLOGIA</b>	TERO.004 - ESTOQUE DE CARBONO EM SISTEMAS AGROSSILVIPASTORIL
<b>VERSÃO</b>	1.0
<b>STATUS</b>	Aprovada
<b>DATA DA PUBLICAÇÃO</b>	30 de janeiro de 2024 (30/01/2024)
<b>AUTORES</b>	Israel de Jesus Sampaio Filho Cacilda Adélia Sampaio de Souza Valdiek da Silva Menezes Diego César Veloso Rezende Francisco Gasparetto Higuchi
<b>Colaboradores</b>	Juliana Rezende Mello Rafael Ramos Tomás Niro Higuchi
<b>TIPO</b>	AFOLU (Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra)
<b>CATEGORIA</b>	Crédito de Carbono de Remoção
<b>BIOMA</b>	Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado, Caatinga, Pampa e Pantanal
<b>ATIVO GERADO</b>	Crédito de Carbono Verificado (tCO <sub>2</sub> e)
<b>ATIVIDADES DO PROJETO</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Manutenção dos Estoques da Cultura Agrícola</li><li>• Silvicultura</li></ul>
<b>CULTURA AGRÍCOLA</b>	Café

**ACRÔNIMOS**

<b>AFOLU</b>	Agricultura, Silvicultura e Outros Usos da Terra, em Inglês, <i>Agriculture, Forestry, and Other Land Use</i>
<b>AGB</b>	Biomassa da cultura acima do solo, em Inglês, <i>Above Ground Biomass</i>
<b>AP</b>	Área do Projeto
<b>APP</b>	Área de Preservação Permanente
<b>ARL</b>	Área de Reserva Legal
<b>AUM</b>	Área de Uso Múltiplo
<b>BAU</b>	Negócios, como sempre, em Inglês, <i>Business as Usual</i>
<b>BGB</b>	Biomassa da cultura abaixo do solo, em Inglês, <i>Below Ground Biomass</i>
<b>Btot</b>	Biomassa da cultura total (AGB + BGB)
<b>CAB</b>	Circunferência da Base à uma altura de até 10,0 cm do solo
<b>CAR</b>	Cadastro Ambiental Rural
<b>CND</b>	Certidões Negativas de Débito
<b>COP</b>	Conferência das Partes, em Inglês, <i>Conference of the Parties</i>
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Dióxido de Carbono equivalente
<b>DAB</b>	Diâmetro da Base à uma altura de até 10,0 cm do solo
<b>DCP</b>	Documento de Concepção de Projeto, em Inglês, <i>Project Design Document</i>
<b>Di</b>	Diâmetro da copa inferior, dada em metros
<b>Dm</b>	Diâmetro da seção média da copa, dado em metros
<b>Ds</b>	Diâmetro da seção superior da copa, dado em metros
<b>DAS</b>	Diâmetro à altura do solo, dado em metros

<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
<b>FAO</b>	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, em Inglês, <i>Food and Agriculture Organization of United Nations</i>
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>ht</b>	Altura da planta, dada em metros.
<b>Hd</b>	Altura da copa, dada em metros.
<b>hi</b>	Altura de inserção do primeiro par de ramos plagiotrópicos, dada em metros.
<b>GPS</b>	Sistema de Posicionamento Global, em Inglês, <i>Global Positioning System</i>
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IC</b>	Intervalo de Confiança
<b>IDAM</b>	Instituto de Desenvolvimento Agropecuário e Florestal Sustentável do Estado do Amazonas
<b>IFC</b>	Inventário Florestal Contínuo
<b>INCRA</b>	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
<b>INPA</b>	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
<b>IPCC</b>	Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática, em Inglês, <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
<b>LMF</b>	Laboratório de Manejo Florestal
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
<b>MMA</b>	Ministério do Meio Ambiente
<b>MRV</b>	Mensurar, Reportar e Verificar
<b>SLB</b>	Título Vinculado à Sustentabilidade (SLB), em Inglês, <i>Sustainability-Linked Bond</i>
<b>SNIF</b>	Sistema Nacional de Informações Florestais
<b>OMM</b>	Organização Meteorológica Mundial

<b>ONU</b>	Organização das Nações Unidas
<b>PF</b>	Pessoa Física
<b>PJ</b>	Pessoa Jurídica
<b>REDD</b>	Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal, em Inglês, <i>Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i>
<b>REDD+</b>	Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal, incluindo a conservação e aumento dos estoques de carbono, em Inglês, <i>Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation, plus the sustainable management of forests, and the conservation and enhancement of forest carbon stocks</i>
<b>RPPN</b>	Reserva Particular de Patrimônio Natural
<b>TCPLI</b>	Termo Consentimento Prévio Livre e Informado
<b>UC</b>	Unidade de Conservação
<b>UNFCCC</b>	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática, em Inglês, <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

## DEFINIÇÕES

<b>Adicionalidade (IPCC)</b>	<p>Segundo o IPCC, a Adicionalidade de projetos de carbono é definida sob o escopo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) como:</p> <p>Para as florestas: “A adicionalidade é definida como: a redução ou remoção das emissões que não ocorreriam na ausência do projeto. Esta definição de adicionalidade pode ser abrangida para incluir abordagens relacionadas à ‘adicionalidade financeira’, ‘adicionalidade de investimento’ e ‘adicionalidade de tecnologia’.”</p> <p>Para as culturas: “A adicionalidade é definida como: a manutenção das atividades produtivas sustentáveis, empregos e a geração de riqueza local que não ocorreriam na ausência do projeto”.</p> <p>Estas definições adicionais se aplicam principalmente ao conceito de mercado estabelecido no MDL.</p>
<b>Adicionalidade financeira</b>	<p>O financiamento do projeto é adicional ao orçamento disponível para a atividade padrão.</p>
<b>Adicionalidade de investimento</b>	<p>O valor da Unidade de Emissão Reduzida / Emissão Reduzida Certificada deve, significativamente, melhorar o aspecto financeiro e/ou a viabilidade comercial da atividade do projeto.</p>
<b>Adicionalidade de tecnologia</b>	<p>A tecnologia aplicada na atividade do projeto deve ser a melhor disponível para as circunstâncias do local/região do projeto.</p>
<b>Alometria</b>	<p>Estudo das variações das formas e dos processos dos organismos. Do “todo” (carbono) em função de “partes do todo” (DAP ou CAP, por exemplo), ou seja, ajuste de equações (funções ou modelos) matemáticas.</p>
<b>Amazônia Brasileira</b>	<p>Compreende a totalidade dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia e partes dos Estados do Maranhão, Mato Grosso e Tocantins.</p>

<b>Bioma Amazônia</b>	O bioma Amazônia é caracterizado pelas florestas pluviais tropicais e rica biodiversidade, abrangendo um mosaico de fitofisionomias, ecossistemas, fauna e microorganismos, incluindo a bacia amazônica que exerce grande influência hídrica tornando o bioma um dos mais diversos e de grande interesse econômico do planeta.
<b>Bioma Mata Atlântica</b>	O Bioma Mata Atlântica de acordo com IBGE ocupa aproximadamente 13% do território brasileiro. Por se localizar na região litorânea, onde vivem mais de 50% da população brasileira, é o mais ameaçado entre os biomas que ocorrem no Brasil, restando cerca de 27% de sua cobertura florestal original. Foi identificado como a quinta área mais ameaçada e rica em espécies endêmicas do Mundo.
<b>Bioma Cerrado</b>	O Bioma Cerrado ocorre principalmente no Planalto Central Brasileiro, estando presente em Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Distrito Federal, Maranhão, Piauí, Rondônia, São Paulo e Paraná, abrangendo aproximadamente 24% do território brasileiro. O Cerrado é reconhecido como a Savana mais rica do mundo em biodiversidade com a presença de diversas tipologias vegetais de riquíssima flora com mais de 10.000 espécies de plantas.
<b>Bioma Caatinga</b>	O Bioma Caatinga abrange várias tipologias vegetais na Região Nordeste, ocupando uma área aproximada de 10% do território nacional, se estendendo pelos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais. Embora esteja localizado em área de clima semi-árido, apresenta grande variedade de paisagens, relativa riqueza biológica e espécies endêmicas.

<p><b>Bioma Pampa</b></p>	<p>O Bioma Pampa com uma área aproximada de 2% do território nacional, abrange a metade sul do Estado do Rio Grande do Sul e constitui a porção brasileira dos Pampas sul-americanos que se estendem pelos territórios do Uruguai e da Argentina. Ele faz limite apenas com o Bioma Mata Atlântica é formado por quatro conjuntos principais de vegetação de campos, compostas por ervas e arbustos, situadas nas áreas geográficas conhecidas como Planalto da Campanha, Depressão Central, Planalto Sul-Rio-Grandense e Planície Costeira. Em toda a área de abrangência do Bioma Pampa, a atividade humana propiciou uma uniformização da cobertura vegetal que de um modo geral é usada como pastagem natural ou ocupada com atividades agrícolas principalmente o cultivo de arroz.</p>
<p><b>Bioma Pantanal</b></p>	<p>O Bioma Pantanal ocupa aproximadamente 2% do território nacional e abrange parte dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. As tipologias de vegetação do cerrado são predominantes neste bioma, ocorrendo também vegetação semelhante à caatinga e pequenas áreas com florestas. Entretanto, o Bioma Pantanal é reconhecido como a maior planície de inundação contínua do Planeta Terra, o que constitui o principal fator para a sua formação e diferenciação em relação aos demais biomas.</p>
<p><b>Biomassa da cultura (IPCC, 2006)</b></p>	<p>A biomassa é subdividida em três compartimentos: Biomassa Total (Btot), Acima do solo (AGB) e Abaixo do solo (BGB).</p> <p>A biomassa é definida pelo peso da planta, em quilos (Kg) ou toneladas (t), sendo que a primeira é utilizada para o peso individual e a segunda quando se refere a estoques.</p> <p>Pode ser dada como biomassa “fresca” ou “seca”, onde a primeira considera a presença da água na matéria e a segunda é considerando a massa secada em estufa até peso constante.</p>
<p><b>Clima (IPCC, 2021)</b></p>	<p>Definido com a média de estatísticas descritivas do tempo de um período mínimo de 30 anos, segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM).</p>

<b>Crédito de Carbono (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<p>Ativo financeiro, ambiental, transferível e representativo de redução, remoção e evitação de emissões de gases de efeito estufa, representado por uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e), que tenha sido reconhecido e gerado como crédito no mercado voluntário ou regulado.</p>
<b>Enriquecimento com árvores</b>	<p>Segundo a <u>Embrapa</u>:          Consiste na introdução de espécies, principalmente dos estádios finais da sucessão ecológica, em áreas com melhores condições do solo já com presença de vegetação nativa, porém com baixa diversidade de espécies. É uma técnica que deve ser proposta para preencher espaços com falhas da regeneração natural.</p>
<b>Estoque de Carbono (tCO<sub>2</sub>e)</b>	<p>Ativo financeiro, ambiental, transferível e representativo da manutenção ou estocagem de uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO<sub>2</sub>e), assim compreendidos todos os meios de depósito de carbono, exceto em gases de efeito estufa, presentes na atmosfera.</p>
<b>Estoque de carbono ou Reservatório de carbono na cultura</b>	<p>É a quantidade estimada de carbono presente na cultura que compõem o sistema em questão. Pode ser apresentado por meio de uma média estimada, seguida de sua margem de incerteza ou em termos absolutos, quando refere-se à área total.</p> <p>Podem constar na quantificação do estoque o carbono de culturas, plantas vivas e mortas, arbustos e outros organismos vegetais, além do carbono nos solos.</p> <p><u>Estoque de carbono líquido</u> é a quantidade de carbono estocada na cultura correspondente ao estoque dos organismos vivos subtraído da biomassa morta (plantas mortas e serrapilheira).</p> <p>O estoque é dado em unidade de área, abreviadas por gramas ou toneladas: (i) milhões em mega (Mg ou Mt); bilhões em giga (Gg ou Gt); (iii) trilhões em tera (Tg ou Tt); e (iv) quatrilhões em peta (Pg ou Pt).</p>

<p><b>Floresta</b></p>	<p>A definição de florestas pode variar de acordo com a fonte.</p> <p>Segundo a <u>FAO</u> e <u>SNIF</u>:  <i>Floresta é todo conjunto vegetacional que se estende por mais de 0,5 hectare (0,005 km<sup>2</sup>) e é formado por árvores com estatura superior a cinco metros, além de uma cobertura de copa maior do que 10%. Não estão incluídas nessa definição as áreas com diferentes usos do solo, como superfícies agrícolas ou urbanizadas.</i></p> <p>Segundo o <u>IBGE</u>:  <i>As florestas caracterizam-se pelo adensamento de árvores altas, com redução da quantidade de luz que chega ao solo, o que limita o desenvolvimento das sinúsias herbácea e arbustiva.</i></p> <p>Segundo <u>Higuchi et al. (2012)</u>:      A floresta é um ecossistema formado por organismos vivos, como seres humanos, plantas arbóreas, animais e microorganismos, que fornecem uma rede permanente de co-benefícios e serviços; que suporta, fortalece e protege o desenvolvimento e a qualidade da vida; que interage entre si e com o meio (fatores abióticos como: clima, solos, luz etc.) em que se encontra.</p>
<p><b>Sistemas de cultivo e produção</b></p>	<p>Segundo a Embrapa:</p> <p>O Sistema de cultivo refere-se às práticas comuns de manejo associadas a uma determinada espécie vegetal, visando sua produção a partir da combinação lógica e ordenada de um conjunto de atividades e operações.</p> <p>O sistema de produção é composto pelo conjunto de sistemas de cultivo e/ou de criação no âmbito de uma propriedade rural, definidos a partir dos fatores de produção (terra, capital e mão-de-obra) e interligados por um processo de gestão.</p>

<p><b>Governança</b></p>	<p>É a ação ou forma de governar (definição de 'governance', do Dicionário Oxford).</p> <p>A Governança compreende todos os processos de "governar" sobre um sistema social ou através de regras, normas e ações são estruturadas, sustentadas, reguladas e responsabilizadas.</p> <p>Para fins de Projetos de crédito de carbono, a Governança de um imóvel rural é estabelecida pelo responsável pelo imóvel e/ou quem irá implementar as ações e atividades necessárias para assegurar a manutenção da produtividade agrícola, com os investimentos em projetos de desenvolvimento sustentável.</p>
<p><b>IC (x %)</b></p>	<p>Intervalo de confiança, à uma probabilidade de x%.        Níveis de probabilidade padrões: 90%, 95% e 99%.</p>
<p><b>Imóvel Regular</b></p>	<p>O imóvel precisa estar <u>devidamente documentado</u> e com macrozoneamento realizado no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e <u>sem sobreposições com outras áreas</u>, públicas ou privadas.</p>
<p><b>Incerteza (IPCC, 2006)</b></p>	<p>A incerteza é caracterizada pela falta de conhecimento do valor verdadeiro de uma variável de uma medida descritiva (tendência central, mais utilizada, dispersão ou de relacionamento).</p> <p>É o próprio Intervalo de Confiança (IC) sob um certo nível de confiança.</p> <p>Mais precisamente, é a parte do IC que é subtraído ou somado à média. A incerteza depende da quantidade de dados utilizados, assim como dos métodos de amostragem.</p>

<p><b>Linha de Base</b></p>	<p>A definição de linha de base é definida de acordo com os princípios do REDD como um cenário de 'não intervenção', em que na ausência de implantação do projeto, qual seria o destino mais provável da floresta.</p> <p>No entanto, para sistemas agrossilvipastoris já estabelecidos, o cenário contrafactual, ou seja, situação ou evento que não aconteceu, mas poderia ter acontecido é definido como: a ausência de projeto é igual à realidade de fatores/índices socioeconômicos de municípios sem atividade agrossilvipastoril.</p>
<p><b>Plantio florestal</b></p>	<p>Área de cultivo de espécies arbóreas, seja para a produção de madeira ou produtos não madeireiros. Pode ser constituído por espécies nativas ou exóticas. Monocultivos ou sistemas mistos e/ou híbridos.</p>
<p><b>REDD</b></p>	<p>Modalidade de mecanismo de geração de créditos de carbono, por meio da emissão evitada de Gases de Efeito Estufa (GEE), provenientes de desmatamento florestal.</p> <p>Introduzido nas discussões da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC) na COP 11, em Montreal (2005).</p> <p>Assume quatro condições/premissas básicas:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Linha de Base - Cenário de ausência de 'projeto' que iria inevitavelmente resultar em emissões de GEE;</li> <li>II. Co-benefícios - Além da emissão evitada, qual impacto positivo adicional o 'projeto' traz;</li> <li>III. Quantificações MRV - Reportar de forma clara e com níveis de incerteza conhecidos as estimativas de carbono;</li> <li>IV. Monitoramento - Acompanhamento do 'projeto'; compromisso de desmatamento zero.</li> </ol>
<p><b>REDD+</b></p>	<p>Além dos pontos descritos em REDD, o '+' representa atividades adicionais relacionadas com a floresta que protegem o clima, nomeadamente a gestão sustentável das florestas e a conservação e melhoria dos estoques de carbono florestal.</p>

<p><b>Serapilheira, Serrapilheira ou Liteira</b></p>	<p>É a camada formada pela deposição dos restos de plantas (folhas, ramos) e acúmulo de material orgânico vivo em diferentes estágios de decomposição que reveste superficialmente o solo ou o sedimento aquático.</p>
<p><b>Serviços ambientais ou ecossistêmicos</b></p>	<p>Segundo a <u>Embrapa</u>: São os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, ou seja, são serviços que o meio ambiente desempenha naturalmente e que resultam em benefícios para os seres humanos.</p> <p>Segundo <u>IPAM</u>: São processos gerados pela própria natureza através dos ecossistemas, com a finalidade de sustentar a vida na Terra. Os serviços ambientais são responsáveis pela manutenção da biodiversidade, o que permite a geração de produtos como a madeira, fibra, peixes, remédios, sementes, combustíveis naturais etc, que são consumidos pelo homem.</p> <p>Segundo o Ministério do Meio Ambiente (<u>MMA</u>): Já os serviços ambientais são atividades humanas individuais ou coletivas que favorecem a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos. Por exemplo, a restauração de uma área de preservação permanente com o plantio de mudas vai melhorar o ecossistema de vegetação nativa na beira do rio e assim favorecer o serviço de regulação do fluxo de água e de controle da erosão.</p> <p>Segundo a <u>Lei nº 14.119/2021</u>: <b>Serviços ecossistêmicos</b> são benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais</p> <p><b>Serviços ambientais</b> são atividades individuais ou coletivas que favorecem a manutenção, a recuperação ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos.</p>
<p><b>Silvicultura (Embrapa, 2023)</b></p>	<p>É o cultivo de florestas, naturais e artificiais, com objetivos de restaurar e/ou melhorar o povoamento de florestas, para atender a exigências específicas do mercado.</p>

<b>Plataforma Tero</b>	<p><u>Plataforma tecnológica</u> desenvolvida pela Tero Carbon para apoiar os processos de registro, certificação e verificação de projetos geradores de ativos ambientais.</p>
<b>Período de Creditação</b>	<p>É o período temporal onde os ativos ambientais são gerados, oriundos das atividades previstas por esta metodologia.</p>
<b>Uso e Mudança do Uso da Terra e Florestas</b>	<p>Atividade antrópica em áreas de florestas. Implantar uma atividade econômica na terra que envolve o uso racional dos recursos naturais ou a transformação da paisagem em áreas de usos alternativos, como cultivos agropecuários ou remoção da vegetação natural para outros fins.</p>
<b>Vazamento (Leakage)</b>	<p>Segundo IUFRO e <u>UN-REDD Programme</u>:        A perda inesperada de benefícios antecipados de carbono devido ao deslocamento de atividades na área do projeto para áreas fora do projeto, resultando em emissões de carbono.</p> <p>Segundo <u>Atmadja &amp; Verchot (2012)</u>; <u>Streck (2021)</u>:        É a diminuição ou aumento das reduções e remoções de GEE fora de um projeto ou dos limites de um programa que é direta ou indiretamente atribuível à intervenção implementada dentro desses limites, ou seja, do projeto/programa em si.</p> <p>Segundo <u>UNFCCC</u>:        Atende à mesma definição de “displacement” no MDL. O vazamento ocorre quando a contenção do desmatamento e degradação florestal em áreas de implementação de REDD+ leva ao aumento do desmatamento ou degradação florestal em outras áreas.</p>

## I - SALVAGUARDAS SOCIOAMBIENTAIS ADOTADAS

A base conceitual das “Salvaguardas” vem dos debates envolvendo Projetos do tipo Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal, incluindo a conservação e aumento dos estoques de carbono (REDD+) e tem como referência a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança Climática (UNFCCC) e o Ministério do Meio Ambiente (MMA).

As “Salvaguardas” devem ser entendidas como diretrizes que visam potencializar os impactos positivos e evitar ou reduzir os impactos negativos relacionados ao projeto. Assim, as ações do projeto devem antecipar riscos e estabelecer medidas para prever, minimizar, mitigar ou lidar com impactos adversos associados à determinada atividade.

Assim, foram definidas, na 16ª Conferência das Partes (COP), em Cancun, um conjunto de sete salvaguardas socioambientais endereçadas aos Programas Nacionais. Como apoio a estes programas, sempre que o projeto de carbono ocorrer em áreas públicas, onde houver comunidades tradicionais, é necessário comprovar, dentro dos processos de certificação e verificação, as seguintes salvaguardas:

- I. Direito de proteção ao território;
- II. Consulta Livre, Prévia e Informada;
- III. Repartição de benefícios;
- IV. Avaliação de impactos sociais e ambientais;
- V. Incidência de um regime de direito administrativo com o acompanhamento estatal obrigatório, a depender do regime fundiário vigente, sempre resguardados os modos de vida tradicionais.

## **II - MACROZONEAMENTO DO IMÓVEL**

O macrozoneamento do imóvel deve estar dividido em: Área de Reserva Legal (ARL), Área de Preservação Permanente (APP) e Área de Uso Múltiplo (AUM). Áreas consolidadas (desmatamento até 22 de julho de 2008, devidamente credenciados pelo órgão ambiental estadual vigente) serão consideradas AUM.

### **II.1 Área de Preservação Permanente (APP)**

Com base na Lei nº 12.651 de 2012 (Novo Código Florestal Brasileiro), a Área de Preservação Permanente (APP) é uma área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

Considera-se APP margens de corpos d'água, topos de morros, encostas íngremes, entre outros. A definição precisa e específica de APP está estabelecida no Capítulo II, Seção I, Art. 4 da Lei nº 12.651/2012.

### **II.2. Área de Reserva Legal (ARL)**

Com base na Lei No. 12.651 de 2012 (Novo Código Florestal Brasileiro), a Área de Reserva Legal (ARL) é a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

De acordo com o Capítulo IV, Seção I, art. 12 da Lei nº 12.651/2012, todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de

Preservação Permanente, observados os percentuais mínimos em relação à área do imóvel. A definição precisa e específica de ARL e suas proporções por bioma/região estão estabelecidas na Lei nº 12.561/2012.

### **II.3. Área de Uso Múltiplo (AUM) e Áreas Consolidadas**

Com base na Lei No. 12.651 de 2012 (Novo Código Florestal Brasileiro), o “uso alternativo do solo” é a substituição de vegetação nativa e formações sucessoras (supressão) por outras coberturas do solo, como atividades agropecuárias, industriais, de geração e transmissão de energia, de mineração e de transporte, assentamentos urbanos ou outras formas de ocupação humana.

A substituição da vegetação nativa é vedada nas áreas de APP e ARL. A área passível de supressão se limita a uma porcentagem do imóvel rural. O valor da porcentagem depende do bioma e do tipo de vegetação.

Toda supressão que ultrapassa os limites definidos em lei, está sujeita às sanções impostas e previstas em lei. No entanto, no passado, devido à ausência de controle sobre o território e as constantes mudanças nas legislações, muitas propriedades rurais excederam os limites permitidos para uso alternativo.

Para mitigar essa questão, foi criado o termo “Área consolidada”. Com base na Lei No. 12.651 de 2012 (Novo Código Florestal Brasileiro), a Área Consolidada é a área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio.

### **II.4. Área de Não Florestas**

Toda e qualquer extensão territorial que não seja caracterizada como floresta deve ser devidamente identificada. As principais classificações de “não floresta” são:

- Água;
- Solos expostos;

- Formações rochosas;
- Infraestrutura (rodovias, estradas rurais, construções civis e afins);
- Outras formações vegetais que não se classificam como florestas, como:
  - Cultivos agrícolas;
  - Campos naturais; e
  - Formações vegetacionais distintas, arbustivas e/ou herbáceas (por exemplo: mangue, caatinga e cerrado).

### III - CLASSES DOS IMÓVEIS

Esta metodologia divide o tamanho dos imóveis rurais em “classes”. As três “classes” de imóveis se baseiam nos “superlativos Amazônicos”<sup>1</sup> e a classificação de tamanho de imóveis rurais do INCRA<sup>2</sup>.

Para região amazônica:

- Pequena Propriedade: será considerada aquele imóvel com até três mil hectares (3.000 ha);
- Média Propriedade: será considerada aquele imóvel acima de três mil hectares (3.000 ha) até vinte mil hectares (20.000 ha); e
- Grande Propriedade: acima de vinte mil hectares (20.000 ha).

Para demais regiões do Brasil, serão considerados os padrões do INCRA, em função de “módulos fiscais”.

- Minifúndio: imóvel rural com área inferior à Fração Mínima de Parcelamento;
- Pequena Propriedade: imóvel com área entre a Fração Mínima de Parcelamento e 4 módulos fiscais;

---

<sup>1</sup> A Amazônia Legal soma um território de aproximadamente 5,4 milhões de km<sup>2</sup>. Isso representa pouco mais de 50% do território brasileiro. Segundo o INCRA, “pequenas propriedades” podem somar até 400 ha. Esses superlativos precisam ser considerados para adequar à realidade local.

<sup>2</sup> <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal>

- Média Propriedade: imóvel rural de área superior a 4 e até 15 módulos fiscais;
- Grande Propriedade: imóvel rural de área superior a 15 módulos fiscais.

**Nota:** Pode-se considerar o Módulo fiscal do município, que é uma unidade de medida, em hectares, cujo valor é fixado pelo INCRA para cada município levando-se em conta: (a) o tipo de exploração predominante no município (hortifrutigranjeira, cultura permanente, cultura temporária, pecuária ou florestal); (b) a renda obtida no tipo de exploração predominante; (c) outras explorações existentes no município que, embora não predominantes, sejam expressivas em função da renda ou da área utilizada; (d) o conceito de "propriedade familiar". A dimensão de um módulo fiscal varia de acordo com o município onde está localizada a propriedade. O valor do módulo fiscal no Brasil pode variar de 5 a 110 hectares<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> <https://www.embrapa.br/pt/web/portal/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl>.

## SUMÁRIO

<b>1. OBJETIVO</b>	<b>22</b>
<b>2. ATIVOS GERADOS</b>	<b>22</b>
2.1. Crédito de Carbono Verificado	22
<b>3. ATIVIDADES PREVISTAS</b>	<b>22</b>
3.1. Manutenção dos Estoques da Cultura Agrícola	22
3.2. Silvicultura	24
<b>4. CRITÉRIOS MÍNIMOS</b>	<b>25</b>
<b>5. ELEGIBILIDADE</b>	<b>25</b>
<b>6. ADICIONALIDADE</b>	<b>26</b>
<b>7. PERMANÊNCIA</b>	<b>29</b>
<b>8. SALVAGUARDAS</b>	<b>30</b>
<b>9. LIMITES TEMPORAIS</b>	<b>30</b>
9.1. Período de Duração do Projeto	30
9.2. Início do Projeto	30
9.3. Encerramento do Projeto	30
9.4. Retroatividade	31
9.5. Data de Emissão do Estoque de Carbono	31
9.6. Período de Creditação para Geração de Créditos de Carbono	31
<b>10. PARTICIPANTES DO PROJETO</b>	<b>32</b>
<b>11. IMÓVEL RURAL</b>	<b>33</b>
11.1. Tipo	33
11.2. Limites geográficos	33
11.3. Limites de extensão territorial	33
11.4. Diligência Fundiária	34
11.5. Anuência dos Proprietários ou Consentimento Prévio Livre e Informado	34
11.6. Macrozoneamento do Imóvel Rural	34
11.7. Área do Projeto (AP)	35
11.8. Compromisso de Desmatamento Zero	36
11.9. Inventário Florestal Amostral para Estimativa do Estoque de Carbono na Área do Projeto	36
<b>12. LINHA DE BASE</b>	<b>36</b>
<b>13. QUANTIFICAÇÃO</b>	<b>37</b>
13.1. Orientações para Coleta de Dados Primários e Estimativa de Estoque de Carbono na cultura do café e suas variedades	37

13.2. Inventário Amostral Quantitativo	39
13.3. Cálculo dos Estoque de Carbono de árvores de café e suas variedades Sem Estratos Definidos Estatisticamente	40
13.4. Cálculo dos Estoque de Carbono da cultura do café e suas variedades Com Estratos Definidos Estatisticamente	41
13.5. Cálculo da Incerteza do Estoque de Carbono	42
13.6. Cálculo do Crédito de Carbono Gerado Entre Períodos de Verificação	43
<b>14. BENEFÍCIOS ADICIONAIS (CO-BENEFÍCIOS)</b>	<b>45</b>
14.1. Conservação e preservação da biodiversidade dos biomas	45
14.2. Desenvolvimento Sustentável	46
<b>15. GOVERNANÇA</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO I - A BASE METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NA CULTURA DO CAFÉ E SUAS VARIEDADES</b>	<b>51</b>
1. Estimativa do estoque de carbono acima e abaixo do solo	54
2. Método direto	55
3. Indireto	57
4. Equações Alométricas	57
5. Alometria de Biomassa e Carbono na Árvore de café	58
6. Determinação de teores de C	60
7. Sistema de Amostragem	61
8. Variável de Interesse	62
9. Estatística	66
10. Estratificação	67
11. Análise de Variância (ANOVA)	68
12. Estatística Estratificada	70
13. Extrapolação (Scale up)	71
14. Inventário Florestal Contínuo	79
<b>ANEXO II - MONITORAMENTO REMOTO E A ANÁLISE DE PERMANÊNCIA</b>	<b>83</b>
<b>LITERATURAS CONSULTADAS E BASE TEÓRICA</b>	<b>84</b>

## 1. OBJETIVO

O objetivo desta metodologia é a geração de ativos ambientais em projetos que promovam a remoção, manutenção e conservação dos estoques de carbono em sistemas de cultivos agrossilvipastoril em todo território Brasileiro.

## 2. ATIVOS GERADOS

Esta metodologia prevê a geração do ativo crédito de carbono verificado definido como:

### **2.1. Crédito de Carbono Verificado**

A primeira acreditação é dada na estimativa do “estoque de carbono atual” da cultura. As acreditações subsequentes serão quantificadas com base na diferença do estoque atual e do estoque da acreditação anterior.

O Estoque de Carbono Verificado (em toneladas de dióxido de carbono equivalente - tCO<sub>2</sub>e) é referente a quantidade de toneladas de dióxido de carbono equivalente removida da atmosfera e incorporada na biomassa da cultura (ex.: café) no presente momento da aferição. Assim, considera-se que o estoque do primeiro momento gera crédito de carbono de remoção de emissões.

## 3. ATIVIDADES PREVISTAS

As atividades previstas para esta metodologia são:

### **3.1. Manutenção dos Estoques da Cultura Agrícola**

O proponente deverá planejar e implementar atividades que viabilizem e assegurem a manutenção dos estoques de carbono do cultivo e/ou dos

plantios florestais, durante toda a vigência do projeto e do compromisso de “manutenção da geração de pelo menos um emprego<sup>4</sup>”.

Toda ação que resulte em perda por retirada e abandono da produção da cultura do café será subtraída do estoque. O limite para extinção do projeto e de seu respectivo registro e certificação na plataforma Tero é de 50% (cinquenta por cento) de retirada da área do cultivo. A perda de efetivos de empregos na propriedade que estava estabelecido no início do projeto. Bem como, toda e qualquer atividade ou ação que resulte em emissão de GEE, seja por meio de desmatamento e/ou degradação florestal será contabilizada e debitada do estoque.

Atividades e ações elegíveis e aplicáveis para garantir e assegurar a manutenção dos estoques de carbono na cultura do café por meio da preservação e conservação das atividades produtivas, podem incluir, mas não somente:

- Implantação de Governança no imóvel, como por exemplo:
  - Identificação e demarcação física da área do projeto com placas sinalizadoras e cercas nos limites do imóvel/área do projeto;
  - Implantação de atividade econômica focada em outros produtos:
    - Estímulo à biodiversidade com a proteção e criação de abelhas;
    - Uso de sistemas de captação e armazenamento de água da chuva etc.;
    - Estímulo ao uso de bio defensivos agrícolas;
    - Estímulo ao uso da agricultura regenerativa; e
    - Espaços destinados à visita de escolas técnicas e universidades, ONGs, etc.
- Projeto de recuperação de nascentes.

---

<sup>4</sup> Proponentes registrados como “agricultor(a) familiar”, em conformidade com Lei da Agricultura Familiar ([11.326/06](#)), estão isentos dessa obrigatoriedade.

### **3.2. Silvicultura**

O proponente pode considerar plantios florestais para aumentar a taxa de sequestro de carbono na Área do Projeto (AP). Os plantios florestais não precisam ser, necessariamente, comerciais ou representarem uma atividade econômica.

No entanto, os plantios florestais devem obedecer às salvaguardas descritas nesta metodologia e, por exemplo, não serem fruto de ordens judiciais para recuperação de áreas degradadas. Estas, não serão consideradas para a quantificação dos Estoques e Créditos de Carbono.

As atividades e ações elegíveis e aplicáveis para garantir e assegurar a manutenção dos estoques de carbono nas florestas, por meio da silvicultura podem incluir, mas não somente:

- Florestamento de áreas que nunca foram ou que não são florestas por um período mínimo de 10 (dez) anos, contados a partir da data de registro do projeto;
- Reflorestamento de áreas degradadas e/ou desmatadas; e
- Enriquecimento florestal de áreas de florestas naturais, por meio do plantio de mudas de espécies específicas na floresta.

**NOTA #1:** Projetos que contemplem “enriquecimento florestal” são elegíveis e podem ser considerados como “plantios florestais”.

**NOTA #2:** Serão admitidos plantios florestais de espécies nativas e/ou exóticas, este último somente no caso de se tratar de um plantio destinado para uso não madeireiro (produção de frutos ou resinagem, por exemplo).

#### 4. CRITÉRIOS MÍNIMOS

Os projetos de carbono em Agricultura, Florestas e Uso do Solo (AFOLU) certificados, precisam atender, necessariamente, a critérios mínimos, como:

1. Pleno cumprimento do Novo Código Florestal (Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012);
2. Imóvel rural devidamente registrado no Cadastro Ambiental Rural (CAR) com macrozoneamento e ausência de sobreposição com outras áreas (públicas ou privadas);
3. Plena titularidade do imóvel rural;
4. Ausência de menção na Lista Suja do Trabalho Escravo do Ministério do Trabalho dos proponentes do projeto e titulares do imóvel rural;
5. Ausência de embargos ao imóvel rural a ser financiado por parte dos órgãos ambientais;
6. Atender acordos setoriais e regionais estabelecidos para a cultura (Moratória da Soja e o Protocolo Verde dos Grãos do Pará);
7. No bioma Cerrado, nenhuma conversão de áreas naturais ocorrida após junho de 2017.

#### 5. ELEGIBILIDADE

São elegíveis para esta metodologia os Projetos que atendam todos os seguintes critérios.

<b>LIMITES GEOGRÁFICOS</b>	Os limites das Áreas do Projeto (APs) precisam estar <u>totalmente</u> inseridos no <u>Brasil</u> .
<b>IMÓVEL RURAL ÚNICO</b>	É permitida a utilização de <u>imóvel rural único</u> , ou em agrupamento, ou seja, <u>mosaico</u> .

<b>TIPO DE IMÓVEL RURAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Imóvel rural privado;</li> <li>● Unidades de Conservação (UC) governamental e/ou privada de Uso Sustentável que tenha prerrogativa de geração de ativos ambientais.</li> </ul>
<b>TIPO DE CULTURA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Café (Coffea sp.) e suas variedades;</li> <li>● Florestas plantadas (plantio florestal), de espécies nativas e/ou exóticas.</li> </ul>
<b>TAMANHO MÍNIMO DO IMÓVEL</b>	Pelo menos 5 ha (cinco hectares ou 50.000 m <sup>2</sup> ), ou um módulo fiscal.
<b>TAMANHO MÍNIMO DA ÁREA DO PROJETO</b>	Pelo menos 1 ha (um hectare ou 10.000 m <sup>2</sup> ) do cultivo do café.
<b>GARANTIA DE NÃO DUPLA CONTAGEM</b>	A área do projeto <b>não pode</b> ter um projeto de Estoque ou Créditos de Carbono ou qualquer outro ativo ligado ao ativo ambiental Carbono, registrado e/ou certificado por outro “padrão/ metodologia” no mesmo período de acreditação.
<b>ATIVIDADE DO PROJETO</b>	É necessário a execução de, ao menos, uma das atividades previstas nesta metodologia.

## 6. ADICIONALIDADE

De acordo com a FAO (2023), a agricultura é a principal provedora de alimentos para a população global. Ela fornece uma ampla variedade de produtos, como: grãos, vegetais e frutas. Ainda, possibilita a produção de uma variedade de culturas e produtos que atendem às necessidades nutricionais da população com alimentos de qualidade. Ela cria oportunidades de emprego e geração de renda, contribuindo para a redução da pobreza e o aumento da segurança alimentar em áreas rurais e urbanas. Além disso, ela tem a capacidade de contribuir

significativamente para a mitigação da mudança climática (Souza et al., 2022).

A mitigação ocorre, principalmente, por meio da remoção de GEEs da atmosfera. Por exemplo, o cultivo do café, a agrofloresta e a integração de sistemas agropecuários com florestas podem contribuir para a remoção de carbono, ajudando a mitigar o aumento das concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Estas, além de remover o CO<sub>2</sub> e estocar o carbono, armazenam e emitem vapor de H<sub>2</sub>O para atmosfera (Pereira Neto, 2012). Isso leva a manutenção da ciclagem do carbono e da água no ecossistema da paisagem rural e mantém o equilíbrio do microclima.

Aqui é fundamental ressaltar que a agricultura assegura a preservação das florestas. Dentro desse escopo, a obrigação por lei, no qual os produtores rurais mantêm em suas propriedades a área de reserva legal e as áreas de preservação permanente. Isso implica que eles precisam investir em sistemas de produção agrícola sustentável, fortalecendo a preservação de áreas naturais e a biodiversidade dos ecossistemas. Isso não apenas protege a fauna e flora, mas também mantém a estabilidade dos sistemas naturais que são essenciais para a agricultura. Além disso, o produtor rural pode também substituir áreas desmatadas por atividade produtiva de culturas agrícolas rentáveis, gerando emprego e renda.

É nesse contexto, por exemplo, que se apresenta a cultura do café no Cerrado mineiro com grande impacto nos benefícios socioeconômicos e ambientais. O Cerrado é um bioma brasileiro de formação savânica mais biodiversa do mundo. Ele ocupa cerca de 2 milhões de km<sup>2</sup>, o que representa 25% do território nacional (INPE, 2018).

A partir da década de 1970 o Cerrado se transformou em uma nova e importante fronteira agrícola brasileira. Essa transformação modificou os aspectos socioeconômicos e ambientais regionais e impulsionou a produtividade agropecuária, tornando o Brasil um dos principais produtores mundiais de commodities agrícolas (IBGE, 2018). Segundo o IBGE (2022), dos 100 maiores municípios produtores de café no Brasil, 79 se encontram no Estado de Minas Gerais. Estes, predominantemente, no bioma Cerrado.

Observa-se nesse cenário um evidente contraste ao se comparar indicadores socioeconômicos e ambientais entre um município onde se tem forte atividade de produção agro, como o de café, e um município que não tem essa atividade.

Por exemplo, de acordo com o último censo do IBGE (2022), o município de Altamira no Estado do Pará, apresenta Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) igual a 0,665. Altamira ainda apresenta 41.5% da sua população com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa. Em contraste, o município de Patrocínio no Estado de Minas Gerais, apresenta IDHM igual a 0,729, onde cerca de 32.1% da sua população tem rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa.

Ao mesmo tempo, observa-se que a presença da atividade da cultura do café pode influenciar uma diminuição relativa do desmatamento do Cerrado. De acordo com dados de desmatamento disponibilizados pelo PRODES (2023), houve redução da área de desmatamento no município de Patrocínio<sup>5</sup> desde 2001, onde ocupa a

---

<sup>5</sup> PRODES (2023): Patrocínio, MG  
<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>

379ª posição no ranking de desmatamento no bioma. Em contraste, o município de Altamira<sup>6</sup> ocupa a 1ª posição do ranking de desmatamento no bioma Amazônia.

Dentro desse contexto, para efeitos de aplicabilidade desta metodologia, entende-se que para o cultivo do café no Brasil, a adicionalidade é definida como: manutenção das atividades produtivas sustentáveis, empregos e a geração de riqueza local que não ocorreriam na ausência do projeto. Além disso, o cultivo do café promove a remoção das emissões de GEE´s, que não ocorreriam na ausência do mesmo.

Dessa forma, na ausência de um projeto sustentável de cultivo agrícola, como o café, co-benefícios socioeconômicos, ambientais e da segurança alimentar não ocorreriam e ainda, colocaria a vegetação em risco de desmatamentos ilegais e/ou para implantação de atividades não sustentáveis.

## 7. PERMANÊNCIA

Esta metodologia entende que o risco de permanência é inerente e consequente de Políticas Públicas e Mercadológicas. O risco de permanência durante a implementação do projeto é reduzido por conta da ação de mercado e, conseqüentemente, do monitoramento da área (Anexo II).

A Tero Carbon apenas emite os certificados de “créditos e estoque de carbono verificados” após a verificação do cumprimento do objetivo do projeto, ou seja, manutenção do estoque da cultura, bem como da manutenção de pelo menos um emprego direto.

---

<sup>6</sup> PRODES (2023): Altamira, PA  
<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/amazon/increments>

Dessa forma, todo crédito de carbono emitido pela presente metodologia tem a garantia de que o carbono permanece na biomassa da cultura durante o período de comprometimento.

## **8. SALVAGUARDAS**

Todos os projetos certificados e verificados por esta metodologia devem atender as Salvaguardas internacionalmente reconhecidas e descritas neste documento.

## **9. LIMITES TEMPORAIS**

### **9.1. Período de Duração do Projeto**

O período de duração do projeto é ilimitado:

### **9.2. Início do Projeto**

A data de início do projeto é dada pela data da Primeira estimativa de Estoque de Carbono verificada para a Área do Projeto.

**NOTA:** Entende-se como estimativa de carbono verificada aquela que atender as premissas técnicas desta metodologia, bem como haja a possibilidade de análise do histórico de uso e mudança do solo por sensoriamento remoto ao longo do tempo do projeto.

### **9.3. Encerramento do Projeto**

A data de encerramento do projeto pode ser dada a qualquer momento mediante comunicação formal à Tero Carbon.

#### **9.4. Retroatividade**

A presente metodologia considera que o estoque “atual” é a contabilização das emissões removidas da atmosfera e incorporadas na biomassa da cultura.

#### **9.5. Data de Emissão do Estoque de Carbono**

A data de emissão do Estoque de Carbono Verificado corresponde a data de verificação ( $Data_{T_n}$ ) do estoque de biomassa da cultura do café e só poderá ocorrer em projetos ativos.

#### **9.6. Período de Creditação para Geração de Créditos de Carbono**

O Período da Enésima (n) Creditação, ou seja, o período de aquisição do ativo ambiental Crédito de Carbono Verificado corresponde ao período entre a data da última verificação do estoque de carbono ( $Data_{T_{n-1}}$ ) e a data da verificação do estoque de carbono atual ( $Data_{T_n}$ ):

$$\text{Período da Enésima Creditação} = Data_{T_{n-1}} \text{ à } Data_{T_n}$$

onde:

$Data_{T_0}$  = Data da primeira verificação do estoque de carbono;

$Data_{T_{n-1}}$  = Data da última verificação do estoque de carbono;

$Data_{T_n}$  = Data da verificação do estoque de carbono atual;

$n = 1, 2, 3... T$  (número da verificação, que varia de 1 a T, conforme o período de duração do projeto); e

Enésima = Primeira, Segunda, Terceira... Décima.

**NOTA:** Os resultados, em termos de remoções de GEE sequestradas (tCO<sub>2</sub>e), observados durante o período de creditação irão determinar a quantidade de créditos de carbono verificados que o projeto irá gerar.

## 10. PARTICIPANTES DO PROJETO

Os participantes do projeto devem ser reportados na Plataforma Tero e serão publicamente citados no Documento de Concepção de Projeto (DCP), entre eles:

<p><b>PROPONENTE (OPERADOR)</b></p>	<p>É a entidade responsável pelos ativos ambientais gerados no imóvel rural:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pode ser Pessoa Física (PF) ou Pessoa Jurídica (PJ);</li> <li>● Deve ser o representante legal (proprietário) do imóvel rural;</li> <li>● No caso de o imóvel rural ter mais de um proprietário ou do projeto ser um “mosaico de múltiplos proprietários”:             <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Apresentar o Termo Consentimento Prévio Livre e Informado (TCPLI) de todos os responsáveis pelo(s) imóvel(is);</li> <li>▪ O representante legal deve ser devidamente documentado e reconhecido em cartório.</li> </ul> </li> <li>● Precisa estar residido/instalado no Brasil.</li> </ul>
<p><b>DESENVOLVEDOR</b></p>	<p>É a entidade responsável pelo desenvolvimento do projeto, registro do projeto na Plataforma Tero, coordenação da(s) Equipe(s) Técnica(s) etc., sendo que:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Pode ser Pessoa Física (PF) ou Pessoa Jurídica (PJ); e</li> <li>● Deve existir somente 1 (um) Desenvolvedor para cada Projeto.</li> </ul>
<p><b>IMPLEMENTADOR</b></p>	<p>É a entidade responsável pela governança do projeto durante o período de execução. Cabe ao implementador executar e/ou coordenar as atividades previstas nas metodologias.</p>

<b>EQUIPE TÉCNICA</b>	<p>É a entidade responsável pela coleta de dados primários (Estimativa do Estoque de Carbono) na área do projeto e/ou atividades ligadas ao socioambiental, responsável pela elaboração do Consentimento Prévio Informado ou quaisquer outras atividades técnicas relativas ao projeto, sendo que:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Pode ser Pessoa Física (PF) ou Pessoa Jurídica (PJ);</li><li>• Pode existir mais de uma entidade em cada projeto; e</li><li>• Pode existir uma Equipe Técnica em cada coleta de dados primários.</li></ul>
-----------------------	---

## **11. IMÓVEL RURAL**

Esta metodologia prevê projeto de carbono em um (1) ou mais (mosaico) de imóveis rurais.

### **11.1. Tipo**

O imóvel rural aceito por esta metodologia pode ser do tipo:

1. Imóvel rural privado, conglomerado, associado; ou
2. Unidade de Conservação (UC) governamental e/ou privada de Uso Sustentável que tenha prerrogativa de uso alternativo da terra.

### **11.2. Limites geográficos**

O imóvel rural deve estar totalmente inserido no território nacional brasileiro.

### **11.3. Limites de extensão territorial**

O imóvel rural deve ter um tamanho mínimo de 5 ha (cinco hectares ou 50.000 m<sup>2</sup>) e uma área de projeto com tamanho mínimo de 1 ha (um hectare ou 10.000 m<sup>2</sup>) com a cultura do café e suas variedades.

#### **11.4. Diligência Fundiária**

O imóvel rural precisa estar regular, tanto no momento da Certificação, quanto nas posteriores verificações. Para diminuir os riscos de fraudes, para o Processo de Certificação, além das documentações que comprovam a titularidade e regularização do imóvel, perante as Leis vigentes, será solicitado a apresentação de uma peça jurídica com o parecer de Diligência Fundiária realizado no imóvel.

#### **11.5. Anuência dos Proprietários ou Consentimento Prévio Livre e Informado**

No caso de imóvel rural privado, é necessária apresentação de um Termo de Anuência dos proprietários do imóvel rural, declarando a intenção de utilizar o imóvel, por livre e espontânea vontade, para a realização do projeto de carbono.

Em caso de Unidade de Conservação (UC) será necessária a comprovação da realização de oficinas com as comunidades locais (caso existam), adicionalmente a apresentação de documento que ateste o consentimento prévio livre e informado da realização do projeto de carbono na área do projeto.

#### **11.6. Macrozoneamento do Imóvel Rural**

O imóvel rural precisa ter seu macrozoneamento definido e devidamente registrado no Cadastro Ambiental Rural (CAR). Para Unidades de Conservação (UC) os limites do imóvel já foram definidos e registrados nos órgãos competentes. O imóvel precisa ter seus limites espaciais definidos como segue:

- Limites do Imóvel (LI);
- Área de Preservação Permanente (APP);
- Área de Reserva Legal (ARL);
- Área de Uso Múltiplo (AUM);

- Área do Projeto (AP):
  - Deve estar localizada dentro dos Limites do imóvel;
  - Pode ser uma fração ou a totalidade do imóvel;
  - Deve possuir a cultura do café;
  - A área mínima do AP deve ser de 1 ha (um hectare).

O mapa da **Figura 1** mostra um exemplo de macrozoneamento de um imóvel rural.



**Figura 1.** Exemplo de macrozoneamento de um imóvel rural. Fonte da imagem: google Earth.

### **11.7. Área do Projeto (AP)**

Os limites da Área do Projeto (AP) serão definidos pelo Desenvolvedor do Projeto e registradas na Plataforma Tero e podem englobar todas as áreas da cultura do café incluindo: APP; ARL e AUM.

**NOTA:** Caso o proponente opte em utilizar a parte ou totalidade da AUM na AP, atentar para o “Compromisso de Desmatamento Zero” assumido.

### **11.8. Compromisso de Desmatamento Zero**

Durante o período do projeto, o proponente deverá assinar um termo de compromisso de “Desmatamento Zero”. Assim, todo e qualquer desmatamento dentro da área do projeto (AP) irá “debitar” dos créditos a serem gerados em creditações futuras.

### **11.9. Inventário Florestal Amostral para Estimativa do Estoque de Carbono na Área do Projeto**

Para o processo de Certificação será necessário apresentar as planilhas do Inventário Florestal Amostral (IFA) para estimativa do Estoque de Carbono na Área do Projeto (AP) no padrão estabelecido pela Tero. O IFA tem validade de 5 (cinco) anos, necessitando ser renovado após este período. Isto implica na necessidade de apresentar novos dados coletados em eventuais Processos de Verificação.

**NOTA:** Os dados secundários serão aceitos somente como complemento, não sendo utilizados para o cálculo do estoque de carbono.

## **12. LINHA DE BASE**

O Cenário da linha de base desta metodologia assume que na ausência da cultura do café, a produção de alimentos, oferta e manutenção de empregos, o recolhimento de impostos, a manutenção de indicadores socioeconômicos e ambientais, bem como a prestação de serviços ecossistêmicos serão reduzidos. Isso inevitavelmente acarretará a ausência de governança sobre a área do Cerrado e outros biomas, aumentando o risco de desmatamentos e invasões ilegais.

### 13. QUANTIFICAÇÃO

Esta seção apresenta a forma de quantificação dos estoques e créditos de carbono da cultura do café e suas variedades aceitos por esta metodologia de forma a atender os padrões internacionais de Mensurar, Reportar e Verificar (MRV).

#### **13.1. Orientações para Coleta de Dados Primários e Estimativa de Estoque de Carbono na cultura do café e suas variedades**

A estimativa da média do estoque ( $x$ ), com seu respectivo nível de incerteza (I. C.), deve ser calculada com base em um sistema de amostragem da cultura do café, aplicação de equações alométricas e extrapolação da média para a Área do Projeto (AP). Para tanto, os seguintes pontos precisam ser observados para a coleta de dados primários:

##### **Para a cultura do café dentro do limite da AP:**

- Considerar um sistema de amostragem onde a árvore do café é uma unidade amostral (entre 15 e 30);
- Todas as árvores devem ter suas coordenadas geográficas registradas por meio de aparelhos receptores de sinais de GPS:
  - Ao usar um aparelho de GPS de navegação, o método de registro da coordenada recomendado é:
    - Manter o aparelho receptor de sinais de GPS estacionado no ponto específico por um período de aproximadamente 1 (um) minuto; e
    - Utilizar a ferramenta “média de pontos” por um período entre 2 (dois) e 5 (cinco) minutos.
- Distribuição amostral aleatória ou sistemática;
- Mensuração dos diâmetros ou circunferências à altura da base (DAB ou CAB) das árvores da cultura do café;
- Aplicação de equação de biomassa/carbono para estimar o estoque

individual (de cada árvore) e por unidade de área (hectare):

- A biomassa/carbono individual das árvores de café deve ser estimada, preferencialmente, por meio de equações sítio específicas;
- Caso a biomassa/carbono individual das árvores seja estimado com base na equação referencial (como exemplo a do Cerrado mineiro (Rezende et al., 2023), a estimativa deverá ser corrigida pelo fator de correção que é a altura total.
- Estimar a média ( $\bar{x}$ ) e o nível de incerteza da estimativa (I. C.), com base nos parâmetros estatísticas descritos no Anexo I;
- Caso a Área do Projeto demande ser estratificada, seguir o rito de estratificação disponível no Anexo I.

**Para as florestas e plantios florestais dentro do limite da AP:**

- Considerar um sistema de amostragem de instalação de unidades amostrais de área fixa (parcelas);
- Todas as parcelas devem ter suas coordenadas geográficas registradas por meio de aparelhos receptores de sinais de GPS:
  - Os pontos a serem registrados podem ser o inicial, central ou final de cada amostra;
  - Porém, para a submissão destes dados, recomenda-se gerar polígonos das parcelas;
  - Ao usar um aparelho de GPS de navegação, o método de registro da coordenada recomendado é:
    - Manter o aparelho receptor de sinais de GPS estacionado no ponto específico por um período de aproximadamente 1 (um) minuto; e
    - Utilizar a ferramenta “média de pontos” por um período entre 2 (dois) e 5 (cinco) minutos.
- Distribuição amostral aleatória, sistemática ou a combinação por meio de conglomerados (transectos ou tipo cruz);

- Mensuração dos diâmetros à 1,3 m do chão (DAP) de todas as árvores vivas e mortas encontradas dentro da parcela:
  - O DAP mínimo de mensuração é de 10 cm;
  - As palmeiras não são uma classe obrigatória:
    - Podem ser incluídas, mas a equação alométrica deve ser específica.
- Aplicação de equação de biomassa/carbono para estimar o estoque individual (de cada árvore) e por unidade de área (hectare):
  - A biomassa/carbono individual das árvores deve ser estimada, preferencialmente, por meio de equações sítio específicas;
  - Caso a biomassa/carbono individual das árvores seja estimado com base na equação referencial, a estimativa deverá ser corrigida pelo fator de correção.
- Estimar a média ( $\bar{x}$ ) e o nível de incerteza da estimativa (I. C.), com base nos parâmetros estatísticas descritos no Anexo I;
- Caso a Área do Projeto demande ser estratificada, seguir o rito de estratificação disponível no Anexo I.

### **13.2. Inventário Amostral Quantitativo**

As orientações para o Inventário Florestal Amostral (IFA) quantitativo para coleta dos dados além da cultura do café utilizados na quantificação dos estoques de carbono são:

- Dados mínimos a serem contemplados: árvores vivas, com DAP > 10 cm;
- Dados secundários serão aceitos apenas como complemento;
- Implantação de sistema de amostragem, por meio de unidades de amostras de área fixa (ver Anexo I);
- Mensuração de variáveis dendrométricas, como: diâmetro ou circunferência à 1,3 m do chão (DAP ou CAP);
- Alturas (total e/ou de fuste) são opcionais.

- Estimativa de estoques de biomassa e carbono:
  - AGB = obrigatório;
  - BGB = opcional;
  - Btot = opcional.

AGB = Biomassa das árvores acima do solo, em Inglês, Above Ground Biomass
BGB = Biomassa das árvores abaixo do solo, em Inglês, Below Ground Biomass
(AGB + BGB) = Biomassa da árvore total (Btot)

### **13.3. Cálculo dos Estoque de Carbono de árvores de café e suas variedades Sem Estratos Definidos Estatisticamente**

É necessário, para cada imóvel rural do projeto, realizar o cálculo do Estoque de Carbono da Cultura do café. Para os casos sem estratos definidos estatisticamente, as orientações são as seguintes:

- Estabelecer os componentes da biomassa da cultura do projeto:
  - Acima do solo (AGB);
  - Abaixo do solo ou raízes (BGB);
  - Total (AGB + BGB).
- Estimar o estoque “líquido”, ou seja, subtrair os ‘indivíduos com cepa, decote ou esqueleto’ (indivíduos que receberam tratamentos silviculturais):

$$Estoque\ líquido_{AGB} = \sum AGB_{vivas} - \sum AGB_{com\ tratamento}$$

- Com base em ferramentas estatísticas, calcular a média do estoque por unidade de área (hectare) com seu respectivo nível de incerteza (intervalo de confiança - I.C.);

- Multiplicar a estimativa mínima (média - intervalo de confiança) do estoque e a Área do Projeto (AP):

$$\text{Crédito de Carbono} = (\bar{x}_{CO_2} - I.C.) \times AP$$

onde:

$\bar{x}_{CO_2}$  = Média estimada do estoque de dióxido de carbono equivalente, por hectare, em toneladas;

I.C. = Intervalo de confiança, calculado à um nível de probabilidade de 95%;

AP = Área do Projeto, em hectares.

**Nota:** O mesmo deve ocorrer para as florestas dentro da propriedade, sendo necessário substituir AGB com tratamento por AGB de indivíduos mortos.

#### **13.4. Cálculo dos Estoque de Carbono da cultura do café e suas variedades Com Estratos Definidos Estatisticamente**

De modo análogo ao item anterior, para o caso com estratos definidos estatisticamente, as orientações são as seguintes:

- Estabelecer os componentes da biomassa dos indivíduos de café do projeto:
  - Acima do solo (AGB);
  - Abaixo do solo ou raízes (BGB);
  - Total (AGB + BGB).
- Estimar o estoque “líquido”, ou seja, subtrair a ‘indivíduos com cepa, decote ou esqueleto’ (indivíduos que receberam tratamentos silviculturais):

$$\text{Estoque líquido}_{AGB} = \sum AGB_{vivas} - \sum AGB_{com\ tratamento}$$

- Com base em ferramentas estatísticas, calcular a média do estoque, por estrato, por unidade de área (hectare) com seu respectivo nível de incerteza (intervalo de confiança - I.C.);
- Multiplicar a estimativa mínima (média - intervalo de confiança) do estoque de cada estrato pela Área de cada estrato do Projeto (AP):

$$\text{Crédito de Carbono} = (\bar{x}_{CO2i} - I.C.) \times AP_i + (\bar{x}_{CO2i+1} - I.C.) \times AP_{i+1}$$

onde:

$\bar{x}_{CO2i}$  = Média estimada do estoque de dióxido de carbono equivalente do estrato "i", por hectare, em toneladas;

I.C. = Intervalo de confiança, calculado à um nível de probabilidade de 95%;

AP<sub>i</sub> = Área do Projeto referente ao estrato "i", em hectares.

### **13.5. Cálculo da Incerteza do Estoque de Carbono**

A incerteza da média estimada é dada pela variação do Intervalo de Confiança a um nível de probabilidade específico, no caso desta metodologia, consideramos um nível de probabilidade válido de 95% (noventa e cinco por cento). O método de cálculo está disponível na Tabela 2, do ANEXO I desta metodologia.

Da estatística básica (WEISS & HASSETT, 1982), os dados distribuídos normalmente estão:

- I. 68,27% entre mais ou menos 1 desvio padrão da média;
- II. 95,45% entre mais ou menos 2 desvios; e
- III. 99,73% entre mais ou menos 3 desvios.

O multiplicador exato do desvio padrão da média para os níveis arredondados de 95 ou 99% pode ser encontrado ao integrar a função de densidade probabilística até estes pontos sob a curva normal padrão.

Dependendo da intensidade de amostragem, o valor é “t” (pequenas amostras,  $n < 30$ ) ou z (grandes amostras,  $n > 30$ ). No guia do IPCC, o multiplicador é 2 para o nível de 95% ou 3 para o nível de 99%, independentemente da intensidade de amostragem.

Para fins de reportagem das estimativas dos estoques de carbono da cultura do café, das florestas e/ou plantios florestais, a incerteza pode ser objetivamente caracterizada pelo Intervalo de Confiança, estimado com uma probabilidade de 95%, calculado com base na amostragem realizada.<sup>7</sup>

**NOTA:** A utilização de apenas dados de sensoriamento remoto não produz estimativas de incerteza. Logo, o Sensoriamento Remoto deve ser combinado com dados de inventários amostrais (ou censitários). O uso de informações espectrais (dados de imagens de satélite) pode ser utilizado para melhorar a extrapolação da média estimada, melhorando (reduzindo nível de incerteza) a estimativa dos estoques.

### **13.6. Cálculo do Crédito de Carbono Gerado Entre Períodos de Verificação**

A geração de créditos de carbono<sup>3</sup> é calculada pelo incremento de estoque de carbono na Área do Projeto (AP) entre períodos de verificação:

$$\text{Créditos de Carbono da Enésima Verificação} = \text{Estoque líquido}_{AGB}(tn) - \text{Estoque líquido}_{AGB}(tn-1)$$

onde:

---

<sup>7</sup> Idealmente, o nível de incerteza da média fica abaixo de 10%. Quanto melhor for a amostragem, menor será o erro e maior será a quantidade de créditos de carbono a ser certificada.

*Estoque líquido<sub>ACB</sub>(T0)* = Estoque de carbono da primeira verificação;

*Estoque líquido<sub>ACB</sub>(Tn-1)* = Estoque de carbono da última verificação;

*Estoque líquido<sub>ACB</sub>(Tn)* = Estoque de carbono verificado atual;

*n* = 1, 2, 3... T (número da verificação, que varia de 1 a T, conforme o período de duração do projeto); e

Enésima = Primeira, Segunda, Terceira... Décima.

OBS. 1: O estoque de carbono da cultura do café pode oscilar ao longo do tempo, o incremento não é linear.

OBS. 2: A dinâmica pode ocorrer com tratos silviculturais com objetivo de aumentar a produtividade da cultura do café, como por exemplo: recepa, decote e esqueletamento ”.

OBS. 3: A dinâmica natural de mortalidade de árvores pode impactar os estoques, dada a relação desta dinâmica, em que árvores grandes saem do sistema de mensuração para a entrada de outras (Higuchi, 2015).

**NOTA:** Os resultados, em termos de remoções de GEE sequestradas (tCO<sub>2</sub>e), observados durante o período de creditação irão determinar a quantidade de créditos de carbono verificados que o projeto irá gerar.

### **Premissas Direto à Geração de Créditos de Carbono Verificados**

Para que haja a geração de créditos de carbono verificados, oriundos do sequestro (aumento) do estoque de carbono na Área do Projeto (AP), será necessário o cumprimento das seguintes premissas:

- I. É necessário haver dois, ou mais, estoques de carbono verificados, em tempos distintos, seguindo os critérios desta metodologia;
- II. O estoque de carbono mais recente deve ser maior que o máximo de estoque de carbono já verificado na Área do Projeto (AP), ou seja, no caso de flutuações naturais do estoque de carbono, será sempre considerado o maior estoque de carbono anterior a *Tn*.

## **14. BENEFÍCIOS ADICIONAIS (CO-BENEFÍCIOS)**

Os benefícios adicionais ao carbono, ou co-benefícios, para projetos desta metodologia são:

### **14.1. Conservação e preservação da biodiversidade dos biomas**

Um benefício adicional inerente ao projeto de carbono desta metodologia é a garantia de manutenção dos ciclos evolutivos da biodiversidade.

**NOTA:** permitido ao proponente do projeto demonstrar detalhadamente os benefícios adicionais específicos de sua área por meio de dados coletados em Diagnósticos de Fauna e Flora, porém estes não são obrigatórios. Em caso de não apresentação do detalhamento, a biodiversidade considerada como benefício adicional é aquela presente na literatura.

### **Inventário Florestal Qualitativo na Propriedade ou UC (Opcional)**

As orientações para o Inventário Florestal Qualitativo para coleta dos dados primários utilizados na apresentação dos co-benefícios são:

- Dados mínimos a serem contemplados: árvores e palmeiras vivas, com DAP > 10 cm;
- Dados secundários serão aceitos apenas como complemento;
- Implantação de sistema de amostragem, por meio de unidades de amostras de área fixa (ver Anexo I);
- Amostragem botânica, com a coleta de exsicatas das espécies de árvores amostradas (amostras podem ser depositadas em herbários).

## **14.2. Desenvolvimento Sustentável**

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), o desenvolvimento sustentável<sup>8</sup> é definido como “desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades.”

O desenvolvimento sustentável exige esforços conjuntos para a construção de um futuro inclusivo, sustentável e resiliente para as pessoas e o planeta. Para que o desenvolvimento sustentável seja alcançado, é crucial harmonizar três elementos centrais: crescimento econômico, inclusão social e proteção ambiental. Esses elementos estão interconectados e todos são cruciais para o bem-estar dos indivíduos e das sociedades.

A erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões é um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável. Para tanto, deve haver a promoção do crescimento econômico sustentável, inclusivo e equitativo, criando maiores oportunidades para todos, reduzindo as desigualdades, elevando os padrões básicos de vida. Além de promover o desenvolvimento social e o manejo integrado e sustentável da cultura do café e dos recursos naturais e ecossistemas.

Dos 17 (dezessete) Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a presente metodologia destaca:

1. Erradicação da pobreza (#01):
  - a. Descrição: acabar com a pobreza em todas suas formas;
  - b. Critério: que o(s) proponente(s) possam viver com mais de R\$ 5,93 (US\$ 1,25) por dia;

---

8

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda-retired/#:~:text=%E2%97%8F,future%20for%20people%20and%20planet.>

- c. Indicador: geração de emprego e/ou aumento de receita comprovada, por meio da comercialização dos ativos ambientais gerados (estoque e crédito de carbono).
- 2. Fome zero e agricultura sustentável (#02):
  - a. Descrição: alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
  - b. Critério: que o(s) proponente(s) possam, por meio das atividades do projeto, ter acesso às melhores práticas de sistemas de cultivos agrícolas (de baixo impacto e carbono), caso assim desejarem;
  - c. Indicador #01: registro e licenciamento da atividade junto ao órgão ambiental vigente;
  - d. Indicador #02: aumento na produtividade por unidade de área.
- 3. Educação de qualidade (#04)
  - a. Descrição: proporcionar igualdade de acesso à formação básica e profissional, eliminar as disparidades de gênero e riqueza e alcançar o acesso universal ao ensino superior de qualidade.
  - b. Critério: que o(s) proponente(s) possam, por meio das atividades do projeto, incentivar a formação de seus colaboradores/empregados;
  - c. Indicador #01: oferta de cursos, palestras, formação em parcerias com instituições públicas e privadas de ensino;
- 4. Igualdade de gênero (#05)
  - a. Descrição: é um direito humano fundamental, mas um alicerce necessário para um mundo pacífico, próspero e sustentável pois é fundamental para todas as áreas de uma sociedade saudável, desde a redução da pobreza até a promoção da saúde, educação, proteção e bem-estar de meninas e meninos, mulheres e homens.

- b. Critério: que o(s) proponente(s) possam, por meio das atividades do projeto, incentivar a igualdade de gênero entre seus colaboradores/empregados;
  - c. Indicador #01: ofertas de oportunidades para igualdade de gênero na propriedade.
5. Emprego digno e crescimento econômico (#08)
- a. Descrição: promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos;
  - b. Critério: atingir níveis mais altos de produtividade econômica por meio da diversificação, atualização tecnológica e inovação, inclusive por meio do foco em setores de alto valor agregado e de mão-de-obra intensiva;
  - c. Indicador: aumento comprovado da produtividade por unidade de área:
    - i. Indicador bônus: Para projetos em áreas privadas de agricultura familiar, a geração de pelo menos um (1) emprego formal;
    - ii. Indicador bônus #02: Para projetos em áreas privadas em que não são caracterizadas como agricultura familiar, o incremento de, pelo menos, mais um (1) emprego formal, sem o aumento da área produtiva.
6. Redução das desigualdades (#10)
7. Cidades e comunidades sustentáveis (#11)
- a. Descrição: tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
  - b. Critério: garantir o acesso de todos à moradia adequada, segura e acessível e a serviços básicos (como: saneamento básico);
  - c. Indicador #01: melhorias comprovadas na moradia/ infraestrutura do imóvel rural alvo do projeto;

- d. Indicador #02: instalação e/ou melhorias no sistema de serviços básicos no imóvel rural alvo do projeto (caso aplicável), como: saneamento básico e eficiência energética.
8. Combate às alterações climáticas (#13):
- a. Descrição: tomar medidas para combater a mudança climática e seus impactos;
- b. Critério: evitar a emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, por meio do desmatamento e/ou degradação florestal;
- c. Indicador: manutenção da área de florestas na área do projeto e/ou incremento no estoque por meio do enriquecimento da floresta natural/nativa ou reflorestamento de áreas degradadas.

## 15. GOVERNANÇA

O projeto deve apresentar como será feita a Governança do imóvel rural, visando a execução das atividades previstas nesta metodologia. É indicada a identificação física, no imóvel, no ponto de acesso, de que aquela área está destinada a um projeto de carbono.

Também são sugeridas as mínimas intervenções:

- Instalação de infraestrutura como sede/base de apoio para as atividades do projeto;
- Instalação de cercas e placas no perímetro do imóvel e/ou Área do Projeto;
- Implantação de sistema de vigilância *in loco*, com rondas e vistorias periódicas;
- Qualquer outra atividade que não incida degradação e/ou desmatamento de mais de 0,5 hectares.

**NOTA:** Atividades que envolvem degradação florestal, por meio da exploração seletiva de madeira, na Área do Projeto não serão permitidas durante o período de acreditação.

## **ANEXO I - A BASE METODOLÓGICA PARA ESTIMATIVA DOS ESTOQUES DE BIOMASSA E CARBONO NA CULTURA DO CAFÉ E SUAS VARIEDADES**

A Biomassa vegetal é um dos temas mais discutidos nos últimos anos, principalmente relacionado com o seu papel sobre a mudança climática global. Segundo o IPCC, as florestas, agricultura e outros sistemas, que podem absorver e armazenar carbono, são chamados de “sumidouros”. A biomassa ou fito massa é definida como a quantidade, expressa em unidades de massa, do conteúdo de material vegetal por unidade de área em uma floresta ou plantio (Araújo et al., 1999). Sendo assim, estimativas de biomassa vegetal são informações imprescindíveis nas questões ligadas às áreas de mudança climática, para estimar o balanço de carbono da interação biosfera-atmosfera (Higuchi, 2001). Usando os teores de água e carbono, por exemplo, a biomassa das culturas e das florestas podem ser transformadas em carbono da vegetação, que é a principal variável considerada nos projetos ligados à mudança climática global. Entretanto, pouco se sabe sobre a importância da biomassa nas culturas agrícolas, especialmente do café e seu papel nos serviços ecossistêmicos.

A biomassa total (biomassa acima e abaixo do solo) pode ser estimada por métodos diretos e indiretos. O método direto é destrutivo, consistindo no corte e pesagem do material vegetal em uma área estabelecida. No entanto, a escolha de a área a ser cortada e pesada é, em muitos casos, tendenciosa e a simples extrapolação leva a resultados imprecisos. Além disso, esse método é oneroso e destrói a planta, o que torna impossível determinar a biomassa de cada planta, pelo método direto. Já o método indireto utiliza modelos matemáticos. Ou seja, os recursos da análise de regressão para o desenvolvimento de modelos estatísticos, para estimar a biomassa de plantas em pé, devem ser empregados para superar este problema (Higuchi e Carvalho, 1994).

Para projetos de carbono, as equações de regressão são chamadas de

equações alométricas. *Alometria* vem do grego, composta das palavras *allos* (outra) e *metron* (medida). É o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos e tem dois significados: (i) o crescimento de uma parte do organismo em relação ao crescimento do organismo inteiro ou de parte dele e (ii) o estudo das consequências do tamanho sobre as formas e os processos. Para as ciências florestais e agronômicas, é o estudo da biomassa em função de partes do todo (diâmetro, altura, copa) (Niklas, 1994).

Os modelos utilizados para descrever o relacionamento entre biomassa e as variáveis independentes da árvore são originados dos modelos para volume de madeira (Santos, 1996). Estes modelos têm produzido resultados satisfatórios, com coeficiente de determinação ( $r^2$ ) sempre superior a 0,95. As variáveis independentes mais utilizadas são diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total. Os modelos usados para árvores derivam do modelo proposto por West et al. (1999):

$$M = a * D^b$$

onde:

M = massa seca acima do solo;

D = Diâmetro à Altura de 1,30 m do solo;

a = coeficiente de escala,

b = expoente da escala.

Este modelo é baseado na teoria da distribuição de recursos por meio do conjunto de galhos hierárquicos das plantas vasculares. O pressuposto deste modelo é que as variações relacionadas com tamanho podem ser caracterizadas por este modelo com um expoente universal, que são simples múltiplos de  $\frac{1}{4}$ . Estudos posteriores mostram que este modelo é válido para diferentes tipologias vegetais, mas sem o expoente universal (Zianis e Mencuccini, 2004; Pilli et al., 2006). O principal argumento em favor deste modelo é a substituição do método destrutivo.

O principal cuidado na utilização do método indireto são os não amostrais e amostrais (ou incerteza). A redução dos erros não amostrais

depende dos cuidados tomados durante a coleta dos dados. Devido a isso, ao seguir os procedimentos descritos neste protocolo as chances de ocorrer os erros não amostrais tendem a diminuir drasticamente. Vale lembrar que não há volume de análise sofisticada que possa compensar dados fundamentalmente falhos.

Os erros amostrais são originados por ser medido apenas parte da população. Incerteza é a falta de conhecimento do valor verdadeiro de uma variável. Para projetos de carbono o tamanho da incerteza associada à média estimada é tão importante quanto a própria média. Isto pode ser expresso por meio de uma função de densidade probabilística caracterizando a amplitude e a similaridade dos possíveis valores. A incerteza depende da qualidade e da quantidade de dados utilizados, assim como dos processos de coletas e de inferências.

A obtenção de incertezas apropriadas pode ser sustentada por dois teoremas bases da estatística paramétrica: a Lei dos Grandes Números e o Teorema do Limite Central. A Lei dos Grandes Números é um conceito fundamental em probabilidade, aplicada em diversas ciências, que declara:

*"Se um evento de probabilidade  $p$  é observado repetidamente em ocasiões independentes, a proporção da frequência observada deste evento em relação ao total número de repetições converge em direção a  $p$  à medida que o número de repetições se torna arbitrariamente grande."*

De forma simplificada, ela diz que quanto maior o número de amostras, mais ela tenderá ao valor esperado. Ou seja, se uma "amostra grande" é tomada aleatoriamente de uma população, a média da amostra tende a ser parecida com a amostra da população. Uma amostra pode ser considerada grande quando o  $n \geq 30$ .

Já o Teorema do Limite Central afirma que:

*“Se uma variável aleatória  $X$  puder ser representada pela soma de quaisquer  $n$  variáveis aleatórias independentes, que satisfaçam certas condições gerais, então esta soma, para  $n$  suficientemente grande, terá distribuição aproximadamente normal”.*

Ou seja, as médias das amostras de qualquer população estarão distribuídas aproximadamente como uma distribuição normal em torno da média da população. Com uma distribuição normal permite dizer que os dados estão: (i) 68,27% entre mais ou menos 1 desvio padrão da média; (ii) 95,45% entre mais ou menos 2 desvios e (iii) 99,73% entre mais ou menos 3 desvios. Além disso, independente da forma que a variável aleatória assumir, é possível calcular as probabilidades, utilizando a tabela-z, desde que seja uma amostra grande. Vale ressaltar que quanto maior o número de amostras coletadas, mais próxima será a média da amostra da média da população e menor o desvio padrão.

## **1. Estimativa do estoque de carbono acima e abaixo do solo**

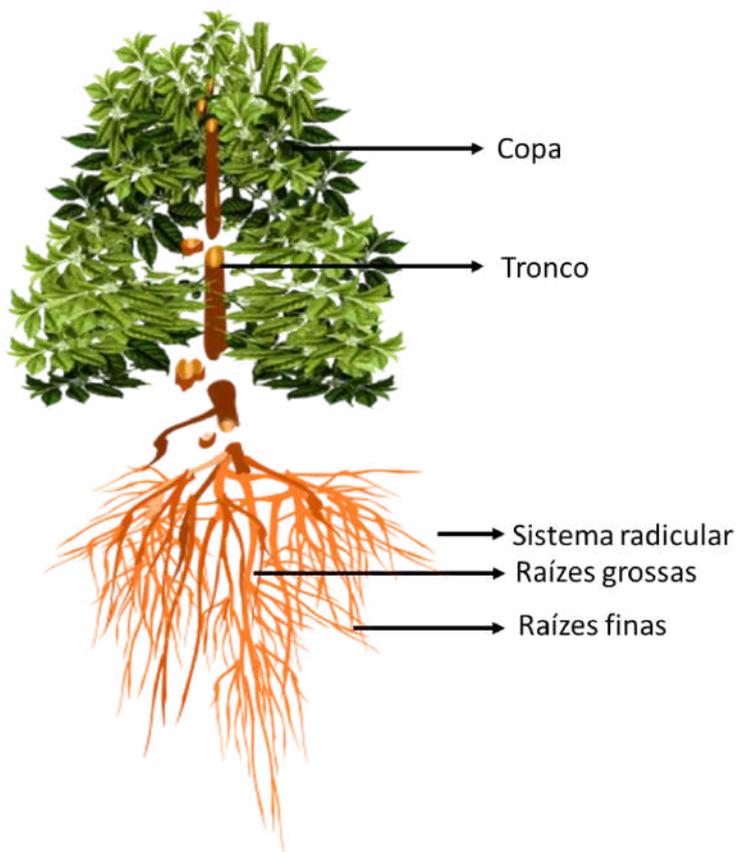
A quantificação da biomassa do indivíduo/pé de café pode ser realizada pelo método direto ou indireto. O método direto envolve a pesagem direta do pé de café na balança, enquanto o método indireto, inclui o uso de equações alométricas para a estimativa da biomassa. Apesar de ser o mais preciso, o método direto é um método destrutivo, o que comprometer a produtividade da fazenda. Com isso, é necessário aprimorar os métodos indiretos para se chegar a uma estimativa confiável (SILVA, 2007).

Para isso aplica-se o método direto em uma parte da população, sítio ou região, e com bases nos valores reais é ajustado uma equação alométrica para estimar a biomassa e o carbono na população de interesse. A equação

alométrica pode ser específica de cada fazenda ou aplicada a um determinado sítio, micro ou macro região dos biomas:

## 2. Método direto

Consiste na derrubada e pesagem das árvores em pontos de área fixa, posteriormente extrapolados para unidade de área. Para isso, é necessário cortar e derrubar o indivíduo arbóreo e pesá-lo em uma balança. Devido às dimensões de uma árvore (pé de café) e a escala operacional de uma balança, geralmente a árvore é dividida em compartimentos específicos: copa, tronco e sistema radicular (Figura 1).



**Figura 2:** Esquema de compartimentos específicos de uma árvore de café: copa, tronco e sistema radicular

Para o desenvolvimento de uma equação local para estimativa do estoque de CO<sub>2</sub> na cultura do café, os seguintes passos deverão ser seguidos:

1. Selecionar aleatoriamente entre 15 à 30 árvores (pés de café);
2. Nessas árvores, coletar os diâmetros da copa em dois sentidos, norte-sul e leste-oeste com trena;
3. Derrubar de forma destrutiva, com motosserra, as árvores, deixando um toco com altura de, aproximadamente, 10 cm de altura a partir do nível do solo.
4. Medir a circunferência, altura da copa, altura total e altura comercial com trena;
5. Separar os compartimentos de cada árvore (tronco, galhos finos e grossos, casca, sementes, folhas, flores, frutos, raízes grossas (diâmetro de colo > 2 cm) e raízes finas (diâmetro de colo ≤ 2 cm). Para coletar as raízes, abrir trincheiras ao redor das árvores a uma distância de 20 cm. Em seguida, lavá-las até se desprender do solo. Depois da separação das raízes, o toco deve ser pesado e acrescentado ao peso do tronco.
6. Para biomassa fresca, pesar individualmente cada compartimento da árvore (usar balança de estiva, para os materiais mais pesados e analítica, para os mais leves);
7. Dividir e pesar amostras do tronco e, caso tenham, galhos grossos e raízes grossas em: base (0%), meio (50%) e topo (100%);
8. Para estimativa da biomassa seca, separar pequenas amostras de cada compartimento e armazenar em sacos de papel;
9. Colocar essas amostras em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem peso constante;
10. Em seguida, pesar as amostras em balança analítica;
11. Converter a massa obtida em toneladas por hectare (ton ha<sup>-1</sup>);
12. Desenvolver uma equação alométrica e apresentar os coeficientes;
13. Para obter o teor de carbono, as amostras, de cada compartimento,

utilizadas para estimativa da biomassa seca, devem ser trituradas em um moinho e, posteriormente, submetidas a análise química de C.

**#NOTA:** Os principais resultados do método direto é o ajuste de equações alométricas, por meio de análise de regressão.

### **3. Indireto**

No método indireto as estimativas são produzidas a partir de equações e modelos alométricos, associados a dados de inventários da cultura do café já determinados, bem como para inventários florestais (sistemas de amostragem da floresta).

Com base numa amostragem de árvores de café, indivíduos são mensurados e suas estimativas calculadas por meio de uma equação alométrica. A partir da somatória do estoque de cada unidade amostral, extrapola-se a média por unidade de área (hectare, por exemplo).

Nesse método, estima-se a média do estoque com um nível de incerteza estatístico, calculado por meio do Intervalo de Confiança da média, a partir de um nível de probabilidade. Maiores detalhes a seguir.

### **4. Equações Alométricas**

Alometria é o estudo das variações das formas e dos processos dos organismos e tem dois significados (NIKLAS, 1994; GRAHAM, 2003):

- O desenvolvimento de uma parte do organismo em relação ao desenvolvimento do organismo inteiro ou de parte dele; e
- O estudo das consequências do tamanho sobre as formas e os processos.

É também o estudo do todo (biomassa e/ou carbono) em função de partes do todo (Diâmetro à Altura do Peito – DAP, altura comercial ou altura total), ou seja, ajuste de equações (funções ou modelos) matemáticas.

Modelos matemáticos podem ser lineares ou não, de simples ou múltipla entrada (MARQUET et al. 2005). A entrada do modelo se refere ao número de variáveis independentes (X) utilizadas para prever a variável dependente, Y:

- Modelos lineares simples possuem representação gráfica com uma linha reta (crescente ou não);
- Modelos não lineares são equações à base de potências e suas relações são caracterizadas por uma escala de invariância (auto similaridade) e universalidade.

Mesmo com tantas distinções, qualquer equação deve apresentar, no mínimo, uma constante de normalização (proporcionalidade), representada por “a”; ou pela letra grega “ $\beta_0$ ”, e o expoente, representado pela letra “b” ou “ $\beta_n$ ” (SILESHI, 2014).

Modelos não lineares são as funções típicas de equações alométricas, especialmente para estimativa de biomassa em plantas (WEST et al. 1999; SILESHI, 2014). No entanto, no caso de plantas (árvores), o expoente universal pode assumir diferentes valores de acordo com os seus respectivos estágios de desenvolvimento (PILLI et al. 2006).

## **5. Alometria de Biomassa e Carbono na Árvore de café**

Na ausência de uma equação ‘local/sítio-específica’, a Tero recomenda a equação de Rezende (2023), desenvolvida para a Fazenda Santa Bárbara, localizada em Monte Carmelo - Minas Gerais para árvores de café de 4 (quatro) e 6 (seis) anos. Recomenda-se adicionar novas idades se houver.

As categorias de biomassa coletadas foram: i) Acima do solo (ou biomassa aérea): toda a biomassa viva acima do solo, incluindo tronco, toco,

galhos finos e grossos, casca, sementes, folhas, flores e frutos; ii) Abaixo do solo: toda a biomassa de raízes finas e grossas vivas. A massa da planta foi compartimentada em:

- I. Tronco;
- II. Galhos grossos (diâmetro de colo  $\geq 10$  cm);
- III. Galhos finos (diâmetro de colo  $< 10$  cm);
- IV. Raízes grossas (diâmetro de colo  $> 2$  cm);
- V. Raízes finas (diâmetro de colo  $\leq 2$  cm);
- VI. Folhas,
- VII. Flores e frutos.

As árvores (pé) de café foram coletadas de forma destrutiva e pesadas em balança. Para a biomassa acima do solo, as plantas foram coletadas por meio de motosserra, deixando um toco com altura de, aproximadamente, 10 cm de altura a partir do nível do solo. Depois da separação das raízes, este toco foi pesado e acrescentado ao peso do tronco. Para a coleta das raízes (finas e grossas) foram abertas trincheiras ao redor de cada árvore. A escavação ocorreu a aproximadamente 20-30 cm de distância das árvores. Para proteger as raízes, além desse distanciamento, elas foram lavadas, onde o solo foi retirado com auxílio de mangueiras de água. Antes das árvores serem derrubadas, foram coletados os diâmetros da copa em dois sentidos, norte-sul e leste-oeste.

Cada árvore selecionada teve seus compartimentos separados e pesados para a obtenção da biomassa fresca. Para estimativa da biomassa secada, pequenas amostras de cada compartimento foram armazenadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até a obtenção do peso constante. Posteriormente, foram pesadas em balança analítica para obtenção da massa seca. A massa obtida foi convertida em toneladas por hectare (ton ha<sup>-1</sup>).

Todas as variáveis dendrométricas, exceto o diâmetro da copa, foram obtidas após o arranquio das árvores. As variáveis referentes à altura e ao diâmetro foram obtidas com auxílio de uma trena. As variáveis foram coletadas

da seguinte forma:

- I. Altura da copa: altura total da planta subtraída a altura do fuste, ou seja, o comprimento da copa.
- II. Altura total (ht): distância da base da árvore até o seu topo.
- III. Altura comercial (hc): a parte do fuste com valor comercial, ou seja, a porção utilizável do tronco.
- IV. Diâmetros da copa: coletados dois diâmetros (sentidos norte-sul e leste-oeste);
- V. Número de nós: contagem manual de todos os nós.

Com base nos dados coletados, foi desenvolvida uma equação alométrica de simples entrada, onde apenas a variável independente DAB (Diâmetro da Base à uma altura de até 10,0 cm do solo) foi utilizada. A equação desenvolvida para a área de estudo, com base na variável DAB, produziu coeficientes de determinação ( $r^2$  em %) igual a 85% e o erro padrão da estimativa (Syx em %) igual a 13%. Os estoques foram estimados com base na seguinte equação alométrica ajustada:

$$B_{tot} = 2,276 \times DAB^{0,765}$$

onde:

B<sub>tot</sub> = biomassa da cultura total, em kg;

DAB = Diâmetro da Base à uma altura de até 10,0 cm do solo, em cm;

## 6. Determinação de teores de C

Para a obtenção da quantidade de carbono e carbono equivalente estocada nas árvores de café, poderão ser utilizados fatores de conversão, já desenvolvidos para plantios na região de Monte Carmelo, Minas Gerais em duas diferentes idades (**Tabela 1**).

**Tabela 1:** Determinação do teor de água e carbono em árvores de café de 4 e 6 anos de idade da Fazenda Santa Bárbara, município de Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil

Idade	Teor de água	Teor de carbono ponderado
4	59.13	42.79
6	55.07	44.73

**NOTA IMPORTANTE #01:** Projetos podem apresentar equação(ões) de biomassa “sítio específico”. Ajustada com base em dados locais. A(s) equação(ões) devem seguir o método “Mensurável, Reportável e Verificável - MRV”.

**NOTA IMPORTANTE #02:** Recomenda-se utilizar as variáveis independentes Circunferência à Altura do Peito (CAP) e altura total.

## 7. Sistema de Amostragem

Existem duas formas básicas para adquirir as informações desejadas da cultura: por meio da mensuração total das árvores (Censo) ou por meio da amostragem. Porém, a cultura do café e as florestas geralmente ocupam áreas de grandes extensões o que inviabiliza (tanto em tempo quanto em custo operacional) o censo, fazendo com que a amostragem seja a melhor opção.

A amostragem é dada por Inventários do cultivo ou Florestais (IF). Os inventários são atividades para descrever a quantidade e qualidade de árvores em um cultivo ou uma floresta e de toda e qualquer característica da área onde estas árvores estejam crescendo (HUSCH, 1971; HUSCH et al. 1972; LOETSCH et al. 1973; PÉLLICO NETTO e BRENA, 1997; LIMA, 2010). O uso da amostragem permite que sejam realizadas inferências sobre a mesma (HUSCH, 1971). Este é um conceito tão estabelecido e consolidado, que Loetsch et al. (1973) citaram que: o uso de unidades amostrais (parcelas) é muito antigo.

Quando se trata de inventários por amostragem, erros amostrais são inevitáveis e, conseqüentemente, os níveis de incerteza. Mas, é providencial que medidas sejam tomadas para que este erro seja controlável. A forma mais comum de apresentar o erro é por meio do “erro padrão da média” ou o “intervalo de confiança” (HUSCH, 1971).

Dependendo da cultura, floresta e da área a ser inventariada, pode ser necessário a estratificação da cultura, por dois métodos: pela “variância” de idade dos talhões ou de acordo com a “classe florestal”. Segundo Péllico Netto e Brena (1997), o objetivo principal em estratificar uma população é reduzir a variância dentro dos estratos e os custos de amostragem.

## **8. Variável de Interesse**

As variáveis de interesse podem ser divididas entre: dependentes e independentes. As variáveis dependentes são caracterizadas por serem de difícil mensuração, que precisam ser estimadas por meio de outras. Daí o nome “dependente”. Já as variáveis independentes são aquelas de fácil obtenção. Podem ser mensuradas e/ou aferidas por meio de ferramentas e equipamentos com alto nível de qualidade. São utilizadas para estimar, por meio de equações alométricas, as variáveis dependentes (**Tabela 2**).

**Tabela 2.** Relação de variáveis consideradas para determinar o estoque de carbono em uma área de floresta tropical na Amazônia.

<b>Nome da variável</b>	<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Descrição</b>
Área da cultura	Independente	Hectare (ha)	Toda estimativa de estoque de carbono na cultura do café é dada por unidade de área, mais comumente em hectares (ha), sendo que um (1) hectare equivale a dez mil metros quadrados (10.000 m <sup>2</sup> )
Reflectância espectral	Independente	Nanômetro (nm)	A extrapolação das médias estimadas por unidade de área, para toda cultura ou floresta é realizada por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens aéreas
Resolução espacial	Independente	Metro (m)	Refere-se ao tamanho de um pixel no solo. É a capacidade do sensor em enxergar os objetos em relação ao seu tamanho. Uma imagem de satélite com resolução de 30 cm pode capturar detalhes no solo maiores ou iguais a 30 cm por 30 cm. Com base nesta definição, imagens com resolução espacial de 30 cm capturam mais detalhes da superfície do que imagens com resolução de 1 m. Logo, quanto maior é a resolução, maior o nível de detalhamento da imagem e do objeto
Circunferência ou Diâmetro à 1,3m do solo (CAP ou DAP)	Independente	Centímetro (cm)	Medida do diâmetro do tronco da árvore em posição padrão (1,3 m do solo), podendo ser mensurada em alturas superiores, desde que haja impedimentos físicos na posição original.

<b>Nome da variável</b>	<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Descrição</b>
Altura total (Ht) e comercial (Hc)	Independente	Metro (m)	Medida da altura total (Ht) ou do tronco (Hf) da árvore. Ht é altura até a parte mais alta da copa. Hc é a altura até o início da copa.
Altura dominante (Hdom)	Dependente	Metro (m)	Média das alturas totais dos 10% dos indivíduos dominantes do sítio, no caso de florestas
Fator de correção (fc) da equação de biomassa/ carbono	Dependente	-	Relação entre a Hdom do sítio amostrado e a Hdom do sítio onde a equação foi desenvolvida
Biomassa fresca aérea (BFabg)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa da parte aérea da árvore (tronco, galhos, folhas, flores, frutos e semente), considerando a água na estrutura
Biomassa fresca abaixo dos solos (BFblg)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa das raízes da árvore, considerando a água na estrutura
Biomassa fresca total (BFtot)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa total da árvore (aérea + raízes), considerando a água na estrutura
Biomassa da cultura total (Btot)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa total da árvore (aérea + raízes), considerando a água na estrutura
Biomassa seca aérea (AGB)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa da parte aérea da árvore (tronco, galhos, folhas, flores, frutos e semente), descontando a água na estrutura
Biomassa seca abaixo	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa das raízes da árvore, descontando a água na

<b>Nome da variável</b>	<b>Tipo de variável</b>	<b>Unidade de medida</b>	<b>Descrição</b>
dos solos (BGB)			estrutura
Biomassa seca total (BStot)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa total da árvore (aérea + raízes), descontando a água na estrutura
Carbono aéreo (Cabg)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa do carbono estocado na parte aérea da árvore (tronco, galhos, folhas, flores, frutos e semente)
Carbono abaixo do solo (Cblg)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa do carbono estocado nas raízes da árvore
Carbono total (Ctot)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa total do carbono estocado na árvore (aérea + raízes)
Dióxido de Carbono equivalente aéreo (CO <sub>2</sub> e.abg)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa, em dióxido de carbono equivalente, estocado na parte aérea da árvore
Dióxido de Carbono equivalente abaixo dos solos (CO <sub>2</sub> e.blg)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa, em dióxido de carbono equivalente, estocado nas raízes da árvore
Dióxido de Carbono equivalente total (CO <sub>2</sub> e.tot)	Dependente	Tonelada métrica (t)	Peso ou massa total, em dióxido de carbono equivalente, estocado na árvore (aérea + raízes)

## 9. Estatística

Para quantificar os estoques de biomassa/carbono da cultura do café ou da floresta, são necessárias ferramentas estatísticas de inferência. A estatística é o campo da matemática que relaciona fatos e números em que há um conjunto de métodos que nos possibilita coletar dados e analisá-los, assim sendo possível realizar alguma interpretação deles (**Tabela 3**).

**Tabela 3.** Parâmetros estatísticos, suas descrições e fórmulas matemáticas.

Parâmetro	Descrição	Fórmula
Média	Somatória de todas as observações dividida pelo número total de observações	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$
Variância (s <sup>2</sup> )	Soma dos desvios quadráticos	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$
Desvio Padrão (s)	Medida de dispersão dos valores observados em relação à média	$s = \pm\sqrt{s^2}$
Erro Padrão	É a medida de variação de uma média amostral em relação à média da população	$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$
Intervalo de Confiança	Variação da média em função da variabilidade da população à um nível de confiança específico, comumente 95%	$\bar{x} \pm z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Parâmetro	Descrição	Fórmula
Soma dos Quadrados Corrigidos da variável dependente “Y”	Medida de variação da média da variável	$CQC_y = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i\right)^2}{n}$
Soma dos Quadrados Corrigidos da variável independente “X”	Medida de variação da média da variável	$SQC_x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}$
Soma dos Produtos Corrigidos	É o produto entre a variável independente e dependente, utilizada para a estimativa do Coeficiente de Correlação	$SPC_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\left(\sum x_i\right) \times \left(\sum y_i\right)}{n}$
Coeficiente de correlação	Afere o grau de correlação entre as variáveis independentes com a dependente	$r = \frac{SPC_{xy}}{\sqrt{SQC_x SQC_y}}$

## 10. Estratificação

O objetivo principal em estratificar uma população é reduzir a variância dentro dos estratos, aumentar a precisão da estimativa e otimizar a amostragem. A estratificação da cultura do café ou da floresta pode ser realizada por dois métodos: pela “variância” dos dados da “idade” ou de acordo com a “classe florestal”:

- Pela variância:
  - Depende de uma amostragem preliminar;
  - Relação Custo/Benefício baixa; e
  - Pode gerar informações/estimativas tendenciosas.

- Pela idade ou classe florestal:
  - Depende de sensoriamento remoto e geoprocessamento de imagens de satélite de diferentes sensores (RGB e Infravermelho próximo, por exemplo);
  - Otimiza a amostragem por meio do planejamento prévio; e
  - Aumenta a confiabilidade da estimativa e reduz incertezas.

No entanto, mesmo que a caracterização remota da cultura do café ou da floresta aponte evidências das idades e classes florestais distintas, é necessário aplicar um teste estatístico para comprovar a diferença. Caso o teste não identifique diferença estatística significativa, a estratificação da amostragem e da estatística de inferência se torna desnecessária. Dos testes, o mais aplicado nesses casos é a Análise de Variância (ANOVA), seguida de um teste de post hoc de Tukey.

## **11. Análise de Variância (ANOVA)**

A ANOVA é um teste de comparação de médias. Aplicada para compreender a natureza da variação natural das diferentes fontes ou testar hipóteses. Neste caso, tem-se:

Hipótese:

- H0: Todos os estratos apresentam médias de estoque estatisticamente iguais;
- H1: Nem todos os estratos apresentam médias de estoque estatisticamente iguais.

Para testar esta hipótese, deve-se desenvolver o “quadro da ANOVA” (**Tabela 4**).

**Tabela 4.** Quadro de análise de variância - ANOVA.

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	SQ	MQ	F
Entre	k - 1	$SQE = \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2$	$MQE = \frac{(SQE)}{(k-1)}$	$F = \frac{MQE}{MQR}$
Resíduo	n - k	$SQD = \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^g x_{ij} \right)^2}{g}$	$MQD = \frac{(SQD)}{(n-k)}$	
Total	n			

onde:

- n= número total de observações;
- k = número de grupos;
- SQE = Soma de Quadrados Entre os grupos;
- MQE = Média Quadrática entre os grupos; e
- F = teste-F de probabilidade.

Caso a ANOVA apresente fortes evidências de que há alguma diferença estatística entre as médias, um teste post hoc de Tukey é aplicado para identificar especificamente quais médias se destacam.

$$\Delta = q \sqrt{\frac{MQR}{r}}$$

onde:

- q = valor tabelado;
- MQR = média quadrática do resíduo; e
- r = número de repetições.

O resultado é uma matriz de probabilidade de correlação (**Tabela 5**), por exemplo:

**Tabela 5.** Exemplo de matriz de probabilidade do teste de Tukey.

	Méd.1	Méd. 2	Méd. 3	Méd. 4	Méd. 5	Méd. 6	Méd. 7	Méd. 8	Méd. 9
Méd. 1	1								
Méd. 2	0,0202	1							
Méd. 3	0,0009	<b>0,9999</b>	1						

<b>Méd. 4</b>	0,5456	0,6508	0,2086	1					
<b>Méd. 5</b>	<b>0,0012</b>	0,0000	0,0000	0,0000	1				
<b>Méd. 6</b>	0,0141	0,9999	0,9999	0,5979	0,0000	1			
<b>Méd. 7</b>	0,6441	0,7947	0,4078	0,9999	0,0000	0,7597	1		
<b>Méd. 8</b>	0,0143	0,9937	0,8424	0,8786	0,0000	0,9905	0,9680	1	
<b>Méd. 9</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1

onde:

Méd. i = refere-se à população “i” amostrada;  
valores da probabilidade que varia de 0 (totalmente diferente) a 1 (idêntico).

## **12. Estatística Estratificada**

As fórmulas matemáticas para estatística de inferência (**Tabela 6**), considerando a estratificação da amostragem, é apresentado por Péllico Netto e Brena (1997), são elas:

**Tabela 6.** Parâmetros estatísticos estratificados, suas descrições e fórmulas matemáticas.

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fórmula</b>
Média por estrato	Média aritmética por estrato amostrado	$\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} X_{ih}}{n_h}$
Média estratificada	Média ponderada conforme os estratos amostrados	$\bar{x}_{st} = \sum_{h=1}^L w_h \bar{x}_h$
Variância por estrato	Variância da população, por estrato amostrado	$S_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (x_{ih} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1}$
Variância estratificada	Variância da população ponderada conforme os estratos amostrados	$S_{st}^2 = \sum_{h=1}^L w_h S_h^2$

Parâmetro	Descrição	Fórmula
Variância da média estratificada	Variância ponderada da média da população amostrada	$s_{x(st)}^2 = \sum_{h=1}^L w_h^2 \times \frac{s_h^2}{n_h}$
Erro padrão estratificado	Erro padrão ponderado da população amostrada	$s_{x(st)}^- = \sqrt{s_{x(st)}^2}$
Erro amostral estratificado	Erro amostral ponderado da estimativa de inferência para a população amostrada	$E_r = \pm \frac{t \times s_{x(st)}^-}{\bar{x}_{(st)}} \times 100$
Intervalo de confiança (95%)	Amplitude de variação da média estimada, com uma probabilidade de 95%	$I.C. = \bar{x} \pm z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ <p>Onde: z = nível de confiança com base no desvio padrão da população; <math>\sigma</math> = desvio padrão da população; n = tamanho da população</p>

### 13. Extrapolação (Scale up)

O georreferenciamento adequado de árvores e parcelas possibilita correlacionar informações do inventário da cultura do café e da florestal com as imagens de sensores remotos em diferentes escalas de mapeamento. A aquisição de coordenadas GPS é sensível ao equipamento, ao procedimento de coleta, a cobertura de satélite e principalmente sobre a cobertura florestal (JUN; GUENSLER; OGLE, 2006; RODRÍGUEZ-PÉREZ; ÁLVAREZ; SANZABLANEDO, 2007; SIGRIST; COPPIN; HERMY, 1999).

A combinação entre as informações de campo com os dados de sensoriamento remoto, é feita comparando as posições geográficas entre os dados de campo e imagens, que depende diretamente da resolução e escala espacial. A utilização de multi-sensores para as estimativas de estoque de carbono é uma recomendação (LU et al., 2012), do mapa local para regional (TRUMBORE; BRANDO; HARTMANN, 2015; ZHANG et al., 2014) e com controle do erro (IPCC 2010).

Em termos de métodos de registro de coordenadas geográficas de inventários florestais vs. precisão da coordenada geográfica, Celes et al. (2016) trabalharam no Controle e Garantia de Qualidade (QA/QC) e os pontos principais do estudo são apresentados (**Tabela 7**):

**Tabela 7.** Métodos de coleta de coordenadas e posicionamento das unidades amostrais (parcelas) amostradas no inventário florestal.

<b>Método (código)</b>	<b>Descrição</b>
GPS.M1	Estabilização do sinal do satélite por 1 minuto (EST); registro da coordenada: ponto simples.
GPS.M2	EST; média de pontos (xi) por 1 minuto; registro da coordenada
GPS.M3	EST; xi por 5 minutos
GPS.M4	EST; xi por 10 minutos
GPS.M5	EST; xi por 15 minutos
GPS.Track (MT)	Opção “tracking” por 5 minutos
GEO.GPS (MG)	Georreferenciamento (GeoRef) usando os pontos de todas as árvores
Trimble (MTrim.)	Pontos do Trimble

onde:

GPS = Sistema de Posicionamento Global, em inglês; e  
 “Trimble” = aparelho receptor de sinais de GPS do tipo diferencial, com precisão pós-processamento de até 2 m (dois metros).

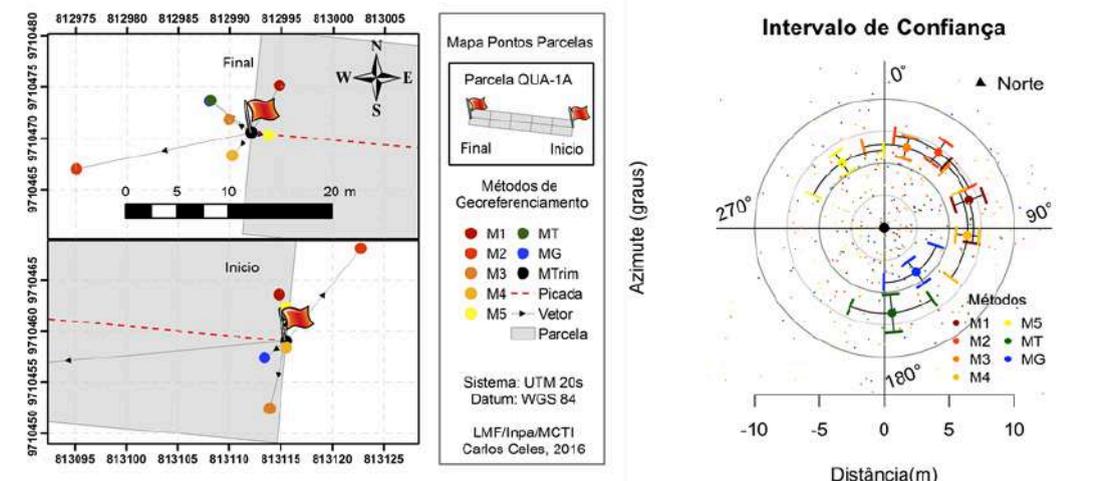
### **Resultados**

Das análises realizadas, conclui-se que o método MG, utilizando “coordenadas falsas” (inclusão de pontos de controle dentro da parcela, ou seja,

árvores) gerou as coordenadas mais acuradas. O método “MT” foi o que gerou o “deslocamento” máximo, superior a 40 m. Mesmo assim, na análise de comparação das médias (ANOVA) entre os métodos, não foi encontrado diferenças estatísticas significativas entre eles, ou seja, a precisão e acuracidade da coordenada não é influenciada pelo método selecionado (**Tabela 8**). Por fim, qualquer um dos métodos geram informações confiáveis e verificáveis, sendo consideradas válidas para projetos de carbono, uma vez que os deslocamentos não apresentam tendência evidente (**Figura 2**).

**Tabela 8.** Estatísticas descritivas, média e máxima dos deslocamentos dos métodos avaliados e os resultados da Análise de Variância (ANOVA) das médias.

ANOVA			Deslocamento, em metros		Teste t - GeoGPS	
Métodos			Média ± I.C. (95%)	Máximo	Valor-p	Pearson
GPS.M1	GPS.M1	GPS.M1	6,9 ± 1,2	23,2	0,040	0,077
GPS.M2	GPS.M2	GPS.M2	7,2 ± 1,0	17,7	< 0,001	0,360
GPS.M3	GPS.M3	GPS.M3	6,5 ± 0,9	17,7	0,001	0,380
GPS.M4	GPS.M4	GPS.M4	6,4 ± 0,9	17,0	0,004	0,359
GPS.M5	GPS.M5	GPS.M5	6,0 ± 0,9	18,3	0,033	0,208
MT	-	-	6,6 ± 1,5	42,6	0,041	0,026
-	-	MG	4,2 ± 1,0	10,6		
<b>p = 0,737</b>	<b>p = 0,510</b>	<b>p = 0,010</b>	-	-	-	-



**Figura 2.** Mapa mostrando os diferentes métodos de posicionamento dos pontos inicial e final da parcela (esquerda) e gráfico mostrando a média e intervalo de confiança de cada método de georeferenciamento da parcela (direita).

Tipos de aparelhos receptores de sinais de GPS (Sistema de Posicionamento Global, em inglês) mais comuns no mercado e capazes de produzirem registros de coordenadas com níveis de incertezas aceitáveis, desde que operados de forma adequada, são:

- Geodésico:
  - Mais preciso/acurado;
  - Alto custo;
  - Operação especializada.
- Topográfico:
  - Alta precisão/acuracidade;
  - Médio custo;
  - Operação especializada.
- Navegação:
  - Precisão/acuracidade verificáveis;
  - Baixo custo;
  - Operação simples.

Em termos de imagens de satélites e/ou diferentes sensores (**Tabela 9 e 10**), tem-se:

**Tabela 9.** Resolução espacial de dados ópticos.

<b>Intervalo de resolução espacial</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Sistemas sensores*</b>
< 1 m	Resolução espacial muito alta (VHSR)	QuickBird, Planet, WorldView, Pleiades, ARP
1 m a 10 m	Alta resolução espacial (HSR)	IKONOS, SPOT, RapidEye
10 m a 100 m	Média resolução espacial (MSR)	LandSat, Sentinel, ASTER

<b>Intervalo de resolução espacial</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Sistemas sensores*</b>
100 m a 1.000 m	Baixa resolução espacial (LSR)	MODIS, MERIS
> 1.000 m	Resolução espacial muito baixa (VLSR)	AVHRR, VAI

onde: m = metro; \* exemplos de sensores disponíveis no mercado.

**Tabela 10.** Plataforma, sensor, período disponível e resolução espacial de alguns fornecedores de imagens de satélite no mercado

<b>Plataforma</b>	<b>Sensor</b>	<b>Período disponível</b>	<b>Resolução espacial</b>
LandSat 5	TM	1984 a 2011	30 m
LandSat 7	ETM+	1999 a 2003	30 m
LandSat 8	OLI/TIRS	A partir de 2013	30 m
LandSat 9	OLI-2/TIRS-2	A partir de 2021	30 m
Sentinel	MSI	A partir de 2014	10 m
Planet	Dove	A partir de 2013	3 m

Depois de coletar todas as informações para o mapeamento do carbono é preciso escolher o modelo matemático que irá representar esta relação. Modelos lineares, múltiplos, não lineares ou ajustados com ordinary least squares, generalized additive model, random forest, and support vector regression (SVR) são utilizados para a estimativa do carbono (LU et al., 2014) (FENG et al., 2017) (LI et al., 2014). O SVR teve o melhor desempenho em testes de comparação dos modelos acima (LI et al., 2014). Modelos complexos são difíceis de ser interpretados. Modelos mais simples apresentam maior interpretação dos coeficientes e da causa e consequência da relação. No entanto, independente dos modelos escolhidos, os erros precisam ser

identificados, quantificados e propagados por todo processo e o esforço para reduzi-los são críticos (LU, 2006).

O levantamento de escala a partir das imagens de ARP-RGB deve ser feito pareado com dados de campo. Para isso, devem ser realizadas medidas da estrutura das plantas em campo (variável independente). O objetivo é ajustar a melhor variável que responda o que se quer estimar.

No caso da cultura do café, uma hipótese de variáveis da estrutura, medidas em campo, que respondem bem às demais variáveis medidas anteriormente, são o diâmetro da copa e altura. Além disso, com base nessas duas variáveis, deve ser calculado o volume do dossel, de acordo com a equação 1 adaptada de Favarin et al. (2002).

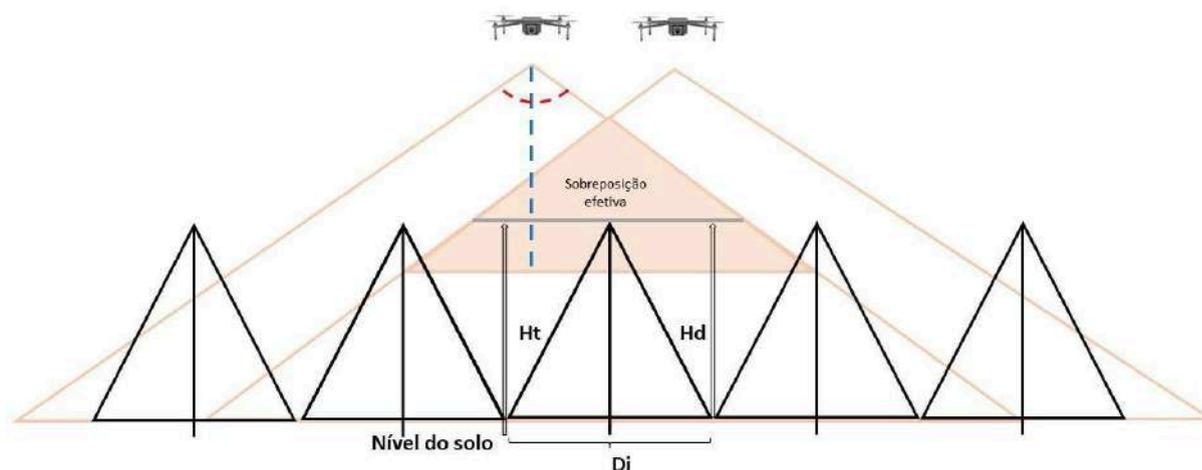
$$V_c = \frac{\pi D^2 H t}{12}$$

onde:

D é o maior diâmetro da copa vista do dossel (m);  
Ht é a altura total da planta (m); e  $\pi$  é pi (3.141592...).

Outra variável, medida em campo, que deve ser estimada, posteriormente, com os dados da imagem é o diâmetro à Altura do Solo (DAS). Para a coleta de todas essas variáveis (diâmetro da copa, altura total e DAS), deverão ser mensurados no mínimo 30 indivíduos arbóreos ou até o número amostral em que os dados de campo sejam normais (Teste de normalidade Shapiro-Wilk). Além disso, é importante remedir as plantas em pelo menos duas estações do ano distintas (por exemplo, período chuvoso e seco).

Deve ser realizado um plano de voo previamente da área do plantio. Considerando o plano de voo com altura de 100 m em relação ao chão, a sobreposição efetiva mínima deve ser configurada para obter 85% frontal e 75% lateral (Iglhaut 2019) (**Figura 3**). Em caso de repetição de voos na mesma área e se a ARP não obtiver sistema PPK, é necessário alocar 10 pontos de controle na área estudada para georreferenciamento das imagens (Ecke et al. 2022).



**Figura 3.** Esquema de medição em campo e aquisição de imagens aerofotogramétricas por ARP (ver mais em Peixoto, 2021).

Após a aquisição das fotografias é necessário realizar o processamento das imagens em um programa de fotogrametria digital utilizando o algoritmo SIFT (Scale Invariant Feature Transformation) (Lowe 2004). Este permite corrigir fotos com um ângulo de cambagem maior que 3 graus. Em seguida, devem ser gerados um modelo digital de superfície (MDS) e um ortomosaico. MDS é um conjunto de dados geográficos digitais que representa as elevações de superfície com coordenadas horizontais e verticais (X, Y, Z) (Ighlaut et al. 2019). O ortomosaico reproduz as dimensões reais dos objetos (Araujo et al., 2020), com resolução espacial horizontal variando de 3 cm a 7 cm.

As árvores medidas em campo devem ser medidas na imagem. Para isso, as copas medidas devem ser vetorizadas em ambiente SIG utilizando o ortomosaico. As alturas totais das plantas devem ser extraídas pelo MDS, onde será a média de altura extraída nas imagens. E, levando em consideração o formato cônico da copa do café, também será extraída a altura máxima obtida pelo MDS na respectiva copa vetorizada. Uma regressão linear e teste t pareado

devem ser feitos entre as alturas totais medidas em campo e na imagem.

Os polígonos das copas das árvores vistas na imagem devem ser considerados próximos a um círculo e o diâmetro deve ser calculado isolando essa variável na fórmula da área do polígono (Equação 2). Uma regressão linear e teste t pareado devem ser feitos entre os diâmetros de copa medidos em campo e na imagem.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

onde:

D é o diâmetro da copa em metros e,

A é a área do polígono da copa e  $\pi$  é pi (3.141592...).

Se a relação for boa e se não houver diferença (probabilidade de erro de 5%) das mesmas medidas obtidas na imagem e campo, devem ser realizadas regressão linear entre o DAS e o diâmetro de copa e altura total das plantas. A partir disso, pode-se estimar o DAS somente com imagens de ARP, com seu respectivo erro. E, a partir do DAS, pode-se estimar as demais medidas citadas nesta metodologia.

#### **14. Inventário Florestal Contínuo**

O principal método para monitorar uma floresta é por meio do Inventário Florestal Contínuo (IFC) é o monitoramento de uma área de floresta por meio da mensuração periódica de sua população (censo) ou parte dela (amostragem). da amostragem em múltiplas ocasiões (PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997), no qual conta com, basicamente, quatro modalidades de processos de amostragem (**Figura 3**):

##### **1- Amostragem Independente**

Neste processo, segundo Péllico Netto e Brena (1997), as abordagens nas duas ocasiões são executadas independentes uma da outra. Na primeira ocasião são instaladas parcelas temporárias (u), de acordo com o método selecionado, e na segunda ocasião novas unidades amostrais (n) são instaladas,

seguindo a mesma metodologia, mas em locais diferentes. O uso deste processo induz à avaliação apenas das diferenças entre os estoques inicial e final do período analisado e não há como avaliar o crescimento individual das árvores, tão pouco monitorar taxas de mortalidade e/ou recrutamento.

## **2- Amostragem com Repetição Total**

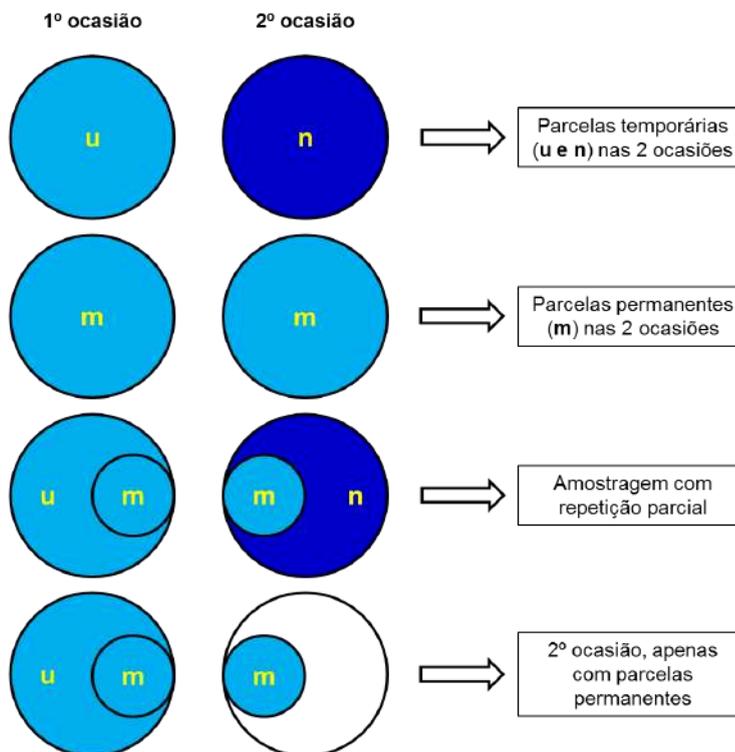
De acordo com Husch et al. (1972), este processo é o “conceito do uso de parcelas permanentes e a base do Inventário Florestal Contínuo”. Nesta, as parcelas permanentes (m) instaladas na primeira ocasião são monitoradas periodicamente. Não há instalação de novas parcelas e nenhuma unidade amostrada fica de fora da remedição. A principal vantagem é o monitoramento de taxas de recrutamento, mortalidade e incremento das árvores amostradas. Porém, os dados ficam permanentemente sujeitos aos mesmos níveis de tendenciosidade.

## **3- Amostragem com Repetição Parcial**

É a combinação dos dois processos anteriores (HUSCH et al. 1972; PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997). No inventário florestal executado na primeira ocasião são instaladas parcelas permanentes (m) e temporárias (u). Na segunda ocasião, as parcelas permanentes (m) são remedidas e novas parcelas temporárias (n) instaladas. Dessa forma viabiliza o monitoramento individual das árvores e suas respectivas taxas, assim como mantém uma certa independência entre os dados amostrados.

## **4- Amostragem Dupla**

Muito similar à amostragem com repetição parcial, porém, não são instaladas novas parcelas temporárias na segunda ocasião. Apresenta as mesmas vantagens e desvantagens da amostragem com repetição total.



**Figura 3.** Esquema ilustrativo das quatro modalidades de processos de amostragem contínua.

Indivíduos são perdidos e repostos continuamente por meio de processos ecológicos locais, em um balanço dado pela razão mortalidade/recrutamento (SWAINE et al. 1987; SWAINE, 1990). Este balanço dinâmico proporciona o estabelecimento e crescimento de novas espécies, refletindo na diversidade vegetal das comunidades (PHILIPS et al. 1994; REES et al. 2001). De forma abreviada, pode-se dizer que os três componentes principais da dinâmica florestal são: recrutamento, mortalidade e crescimento dos indivíduos.

Segundo Rezende (2002), o recrutamento refere-se ao número de novas árvores que atingiram e/ou ultrapassaram um tamanho mínimo mensurável no inventário florestal. A saída de indivíduos do sistema de monitoramento pela morte do mesmo é denominada taxa de mortalidade. Por fim, o crescimento é a avaliação do incremento das dimensões mensuradas de um ou mais indivíduos de uma floresta em um determinado período de tempo. No

monitoramento de florestas tropicais, esses componentes só podem ser estimados por meio da remedição de parcelas permanentes.

## **ANEXO II - MONITORAMENTO REMOTO E A ANÁLISE DE PERMANÊNCIA**

O monitoramento remoto é o acompanhamento periódico da cobertura vegetal da Área do Projeto (AP). Por meio de imagens de satélite, é possível verificar o status da cultura do café e da floresta, em termos de “área ocupada”. Este processo é utilizado para análise do histórico de mudança no uso da terra e verificação de permanência.

Os pontos observados para esta análise são:

- Adquire-se uma imagem de satélite adequada ao período do projeto:
- Configura-se uma imagem adequada que:
  - Tiver menos que 10% (dez por cento) de recobrimento de nuvens;
  - Com menos de 30 (trinta) dias da data de submissão do projeto;
  - Com resolução espacial de pelo menos 30 m (trinta metros);
  - Que contemple os sensores RGB (campo do visível) e Infravermelho próximo.
- A cada período de verificação, faz-se o *download* de uma nova imagem, atualizada;
- Verifica-se a cobertura vegetal, caso seja identificado pontos de desmatamento ou retirada das árvores do cultivo, ou seja, haja mudança no uso da terra, estes são mapeados e sua extensão (área, em hectares) quantificada:
- No caso de retirada identificada, as emissões correspondentes deverão ser subtraídas do potencial de créditos a serem gerados no período de creditação;
- Caso a área desmatada identificada esteja situada dentro da reserva legal ou área de preservação permanente, o projeto será cancelado.

**NOTA IMPORTANTE #03:** O projeto não será cancelado, caso o desmatamento tenha ocorrido de acordo com a legislação vigente, e com o licenciamento ambiental competente.

## LITERATURAS CONSULTADAS E BASE TEÓRICA

ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H-J.; MAYAUX, P.; GALLEGRO, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J-P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*. Vol. 297, p. 999-1002.

AKINDELE, S. O.; LEMAY M.V. 2006. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology and Management*. N° 226. Pp 41 - 48.

ALDER, D. 1980. Forest Volume Estimation and Yield Prediction. *Yield Prediction*. FAO Forestry Paper 22/2. v. 2. 194 p.

AMADON, D. 1973. Birds of the Congo and Amazon Forest: A comparison. In: *Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America: A Comparative Review*. Ed. By Institution Press. Washington, D. C. p. 267-277.

AMARAL, I. L. do; MATOS, F. D. A.; LIMA, J. 2000. Composição florística e parâmetros estruturais de um hectare de floresta densa de terra firme no rio Uatumã, Amazônia, Brasil. *Acta Amazonica*. 30 (3): 377-392.

ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; LADLE, R. J.; ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T.; COSTA, A. C. L.; ESPEJO, J. S.; HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; LÓPEZ-GONZÁLEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; NÚÑEZ-VARGAS, P.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; ALMEIDA, S.; VÁSQUEZ, R. 2009. Influence of landscape heterogeneity on spatial patterns of wood productivity, wood specific density and above ground biomass in Amazonia. *Biogeosciences*. 6, 2039–2083.

ANGELSEN, A.; BROCKHAUS, M.; SUNDERLIN, W. D.; VERCHOT, L. V. (eds) 2013 *Analysing REDD+: Challenges and choices*. CIFOR, Bogor, Indonesia. V. 1. 488 p.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; METCALFE, D. B.; SILVA-ESPEJO, J. E.; JIMÉNEZ, E.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA, S. COSTA, A. C. L.; SALINAS, N.; PHILLIPS, O. L.; ANDERSON, L. O.; ALVAREZ, E.; BAKER, T. R.; GONÇALVES, P. H.; HUAMÁN-OVALLE, J.; MAMANI-SOLÓRZANO, M.; MEIR, P.; MONTEAGUDO, A.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M. C.; PRIETO, A.; QUESADA, C. A.; ROZAS-D´AVILA, A.; RUDAS, A.; SILVA JR., J. A.; VÁSQUEZ, R. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across tem Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*, 6, 2759–2778.

ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, p.43-52.

ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*. Vol. 310: 480-482.

AYRES, J.M e BEST, R. 1979. Estratégias para a conservação da fauna amazônica. *Supl. Acta Amazonica* 9(4): 81-101.

AZEVEDO, C. P. de.; SANQUETTA, C. R.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de.; LOPES, J. C. A.; SOUZA, C. R. de. 2008. Efeito de diferentes níveis de exploração e tratamentos silviculturais sobre a dinâmica do povoamento florestal remanescente. *Anais: Seminário Dinâmica de Florestas Tropicais*. Belém, PA.

BACCINI, A.; GOETZ, S. J.; WALKER, W. S.; LAPORTE, N. T.; SUN, M.; SULLA-MENASHE, D.; HACKLER, J.; BECK, P. S. A.; DUBAYAH, R.; SAMANTHA, S.; HOUGHTON, R. A. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*. Vol. 2. DOI: 10.1038/NCLIMATE1354. p. 182-185.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; Di FIORI, A.; ERWIN, T.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R. 2004a. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*. 10, 545-562.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; Di FIORE, A.; ERWIN, T.; HIGUCHI, N. KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; VARGAS, P. N.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; MARTINEZ, R. V. 2004b. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *The Royal Society*, 359:353-365.

BARROS, P. L. C.; SILVA JÚNIOR, A. T. 2009. Equação de volume para árvores de uma floresta tropical densa no município de Anapu, Oeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias*. Belém, n. 51, p. 115-126.

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. 2004. Equações de volume para árvores de caxeta (*Tabebuia cassinoides*) no estado de São Paulo e sul do Rio de Janeiro. *Scientia Florestalis*. N. 65. 162-175.

BORGES, C. P. I. Equações alométricas para estimar biomassa de campinaranas florestadas na região de Manaus, Amazônia Central. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, X p. 2010

BRAGA, P.I.S. 1979. Subdivisão fitogeográfica, tipos de vegetação, conservação e inventário florístico da Floresta Amazônica. Acta Amazonica. Supl., Manaus, v. 9, n. 4, p. 53-80.

BRANDEIS, T. J.; DELANEY, M.; PARRESOL, B. R.; ROYER, L. 2006. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. Forest Ecology and Management. 233. 133-142.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm).

BRASIL. Constituição do Estado do Amazonas, de 1989. Disponível em: [http://www.camara.gov.br/internet/interacao/constituicoes/constituicao\\_amazonas.pdf](http://www.camara.gov.br/internet/interacao/constituicoes/constituicao_amazonas.pdf).

BRASIL. Lei n. 5.449 de 4 de junho de 1968. Declara de interesse da segurança nacional. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L5449.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5449.htm).

BRASIL. Lei n. 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm).

BRASIL. Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm).

BROWN, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. FAO Forestry Paper 134, Rome, Italy, p. 55.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração Florestal: perguntas e respostas. Viçosa, MG: UFV. 2002. 407 p.

CARNEIRO, V. M. C. Composição florística e análise estrutural da floresta primária de terra firme na bacia do rio Cueiras, Manaus – AM. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus, p. 77, 2004.

CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A. 2004. Growth rate of a terra firme rain forest in brazilian amazonia over an eight-year period in response to logging. Acta amazonica. Vol. 34(2): 209 – 217.

CELES, C. H.; HIGUCHI, F. G.; AMARAL, M. R.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; COBELLO, L. O.; HIGUCHI, N. Garantia e controle de qualidade (QA/QC) do

georreferenciamento em inventários florestais na Amazônia. 2016. Anais do III Mensuflor, Volume 1, Número 1, pg. 424-428

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J. P. 1998. Ancient Trees in Amazonia. *Nature*, 391:135-136.

CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J. dos.; RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N. 2000. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 5348. 1-12.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; TRIBUZY, E. S.; TRUMBONE, S. E. 2001. Carbon sink for a century. *Nature*. Vol. 410. p. 429.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; TEIXEIRA, L. M.; SANTOS, J. dos.; LAURANCE, S. G.; TRUMBONE, S. E. 2004. Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. *Oecologia*. 141: 596–614

CHATTERJEE, S.; HADI, A. S.; PRICE, B. 2000. *Regression analysis by example*. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. V. 5. 424 p.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIERA, B.; YAMAKURA, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 85-99.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. *Timber Management: A Quantitative Approach*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1983. V. 1. 333p.

COHEN, J.; P. COHEN. *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, New Jersey, USA. 1983. V. 1. 545 p.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. 2009. Determinação do volume, do fator de forma e da porcentagem de casa de árvores individuais em uma floresta ombrófila aberta na região noroeste de Mato Grosso. *Acta Amazonica*. Vol. 39 (1), 97-104.

CONDÉ, T. M.; HIGUCHI, N.; LIMA, A. J. N. 2019. Illegal Selective Logging and Forest Fires in the Northern Brazilian Amazon. *Forest*, v. 10, p. 61.

COUTO, H. T. Z. do.; BASTOS, N. L. M. 1987. Modelos de equações de volume e relações hipsométricas para plantações de eucalyptus no estado de São Paulo. IPEF, n.37, p.33-44.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; BRAZ, E. M. 2006. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. Acta amazonia. Vol. 36(2): 177 – 182.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied regression analysis. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 1998. 3rd edition. 706 p.

ELDIK, van T.; LIMA, J. P.; PINTO, A. C.; ESTUMANO, D.; REIS, Q. 2008. Relatório Final do Inventário Florestal Diagnóstico da FLONA de Saracá-Taquera, estado do Pará. Serviço Florestal Brasileiro. 49 p.

EVA, H.D.; ACHARD, F.; STIBIG, H-J.; MAYAUX, P. 2003. Response to comment on "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests". Science, 299, 1015b.

FEARNSIDE, P. M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. Forest Ecology and Management. 80, 21–34.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: Dinâmica, impactos e controles. Acta Amazonia. Manaus, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. 2003. Comment on determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. Science, 299, 1015a.

FELDPAUSCH, T. R.; BANIN, L.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; QUESADA, C. A.; AFFUM-BAFFOE, K.; ARETS, E. J. M. M.; BERRY, N. J.; BIRD, M.; BRONDIZIO, E. S.; CAMARGO, P. de.; CHAVE, J.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; DRESCHER, M.; FEARNSIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; FYLLAS, N. M.; HIGUCHI, N.; HUNTER, M. O.; IIDA, Y.; SALIM, K. A.; KASSIM, A. R.; KELLER, M.; KEMP, J.; KING, D. A.; LOVETT, J. C.; MARIMON, B. H.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T. A.; MORAN, E. F.; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; PALACE, M.; PATIÑO, S.; PEH, K. S. -H.; RAVENTOS, M. T.; REITSMAN, J. M.; SAIZ, G.; SCHRODT, F.; SONK, B.; TAEDOUNG, H. E.; TAN, S.; WHITE, L.; WOLL, H.; LLOYD, J. 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. Biogeosciences, 8, 1081–1106.

FELDPAUSCH, T. R.; LLOYD, J.; LEWIS, S. L.; BRIENEN, R. J. W.; GLOOR, M.; MONTEAGUDO MENDOZA, A.; GONZALEZ-LOPEZ, G.; BANIN, L.; SALIM, K. A.;

AFFUM-BAFFOE, K.; ALEXIADES, M.; ALMEIDA, S.; AMARAL, I.; ANDRADE, A.; ARAGAO, L. E. O. C.; MURAKAMI, A. A.; ARETS, E. J. M. M.; ARROYO, L.; AYMARD, G. A. C.; BAKER, T. R.; BÁNKI, O. S.; BERRY, N. J.; CARDOZO, N.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; ALVAREZ, E. OLIVEIRA, A.; DiFIORE, A.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L.; FEARNSIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; FREITAS, M. A.; HIGUCHI, N.; HONORIO, E.; IIDA, Y.; JIMÉNEZ, E.; KASSIM, A. R.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LOVETT, J. C.; MALHI, Y.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; MENDOZA, C.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T. A.; NEILL, D. A.; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; PARADA, A.; PEH, K. S.-H.; PENA CRUZ, A.; PEÑUELA, M. C.; PITMAN, N. C. A.; PRIETTO, A.; QUESADA, C. A.; RAMÍREZ, F.; RAMÍREZ-ANGULO, H.; REITSMA, J. M.; RUDAS, A.; SAIZ, G.; SALOMÃO, R. P.; SCHWARZ, .; SILVA, N.; SILVA-ESPEJO, J. E.; SILVEIRA, M.; SONKÉ, B.; STROPP, J.; TAEDOUNG, H. E.; TAN, S.; STEEGE, H.; TERBORGH, J.; TORELLO-RAVENTOS, M.; van der HEIJDEN, G. M. F.; VÁSQUEZ, R.; VILANOVA, E.; VOS, V. A.; WHITE, L.; WILLCOCK, S.; WOELL, H.; PHILLIPS, O. L. 2012. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeoscience*. Vol. 9. 3381-3403.

FENG, Y.; LU, D.; CHEN, Q.; KELLER, M.; MORAN, E.; SANTOS, M. N.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Examining effective use of data sources and modeling algorithms for improving biomass estimation in a moist tropical forest of the Brazilian Amazon. *International Journal of Digital Earth*, v. 0., n. 0, p. 1-21, 2017.

FERGUSON, L. S.; LEECH, J. W. 1978. Generalized Least Squares Estimation of Yield Functions. *Forest Science*. 24:27-42.

FERNANDES, N. P.; JARDIM, F. C. S.; HIGUCHI, N. 1984. Tabelas de volume para floresta tropical de terra firme da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*.

FITTKAU, E. J.; IRMLER, U.; JUNK, W. J.; REISS, F.; SCHMIDT, G. W. 1975. Productivity, biomass, and population dynamics in Amazonian water bodies. In: F.B. Golley and E. Medina (Editors), *Tropical Ecological Systems -- Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer, New York, N.Y., pp. 289-311.

FOSTER BROWN, I.; MARTINELLI, L. A.; THOMAS, W. W.; MOREIRA, M. Z.; FERREIRA, C. C. A.; VICTORIA, R. A. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: Na example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 75, p. 175-189.

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; GAMA-BENTES, M. M. 2002. Composição florística e estrutura da regeneração natural de floresta secundária de várzea baixa no estuário amazônico. *Revista Árvore*. V. 26, n. 5, p. 559-566.

GRACE, J.; LLOYD, J.; McINTYRE, J.; MIRANDA, A. C.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; NOBRE, C.; MONCRIEFF, J.; MASSHEDER, J.; MALHI, Y.; WRIGHT, I.; GASH, J. 1995. Carbon dioxide uptake by na undisturbed tropical rain forest in Southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science*. Vol. 270, p. 778-780.

GRAHAM, M. H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*. 84(11). 2809-2815.

HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; SANTOS, U. M. 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*. Vol. 31, n. 4, 717-738.

HIGUCHI, N. 1986-87. Amostragem sistemática versus amostragem aleatória em floresta tropical úmida de terra-firme na região de Manaus. *Acta Amazonica*, 16/17 (único): 393-400.

HIGUCHI, N. Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the brazilian Amazon. Tese de Doutor, Michigan State University. East Lansing, p. 129, 1987.

HIGUCHI, N. Usando o método "jackknife" para estimar volume de madeira da floresta amazônica. Em: Atas da 24ª Reunião Regional da Associação Brasileira de Estatística e 12ª Semana do Estatístico. Manaus, AM, 22-24 de abril de 1992. pp. 42-56.

HIGUCHI, N. O desmatamento insustentável na Amazônia. *Ciência Hoje*. v. 39, p. 67-71, Ed. Novembro – 2006.

HIGUCHI, N.; RAMM, W. 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). *Commonw. For. Rev.* 64(1). 33-41.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; JARDIM, F. C. S. 1982. Tamanho de parcela amostral para inventários florestais. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 12, n. 1, p. 91-103.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. M.; IMANAGA, M.; YOSHIDA, S. 1994. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forest. *Memoirs of the Faculty of Agricultura, Kagoshima University (Journal)*. 30, p. 43-54.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; CÖIC, A.; MINETTE, L. J. 1997. Crescimento e Incremento de uma Floresta Amazônica de Terra-Firme Manejada Experimentalmente In: Biomassa de Nutrientes Florestais. INPA/DFID, Manaus, p. 89-132.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. 1998. Biomassa da parte aérea da vegetação da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 28(2):153-166.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R. M.; TRIBUZI, E. S. 2004. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. *Floresta*. 34(3) 295-304.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; TRIBUZY, E. S. Manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira. Manaus, p. 140-155, 2006.

HIGUCHI, M. I. G.; HIGUCHI, N. (eds). A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental - 2a. edição revisada e ampliada. Manaus: INPA/FAPEAM/CNPq/INCT, 2012. 424p.

HIGUCHI, F. G. DINÂMICA DE VOLUME E BIOMASSA DA FLORESTA DE TERRA FIRME DO AMAZONAS. Tese doutorado. 2015.

HOCKING, R. R. *Methods and applications of linear models: regression and the analysis of variance*. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 3rd edition. 1996. 720 p.

HOUGHTON, R. A. 1997. Terrestrial carbon storage: global lessons for Amazonian research. *Ciencia e Cultura Sao Paulo*, 49, 58-72.

HOUGHTON, R.A; SKOLE, D. L; NOBRE, C. A; HACKLER, J.L; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403, 301-304.

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

HOUGHTON, R. A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*. 11, 945-958.

HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. 2010. A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados.

Serviço Florestal Brasileiro, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Belém-PA. 32 p.

HUNTER, M. O.; KELLER, M.; VICTORIA, D.; MORTON, D. C. 2013. Tree height and tropical forest biomass estimation. *Biogeosciences*. 10. 8385-8399.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. Forest mensuration. New York. Ronald Press. 1971.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. Forest Mensuration. New York: John Wiley & Sons. 2nd ed., 1972. 402 p.

IBGE. 2012. Manual técnico da vegetação brasileira. IBGE. Rio de Janeiro. 271 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1990. Climate Change – The IPCC Scientific Assessment. Edited by: Houghton, J. T.; Jenkins, G. J.; Ephraums, J. J. Cambridge University Press. New York. 414 p.

IPCC. 1990. Climate Change – The IPCC Impact Assessment. Edited by: Tegart, W. J. McG.; Sheldon, G. W.; Griffiths, D. C. Australian Government Publishing Service. Canberra. 296 p.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Disponível em <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

ITTO, 2012: Annual review and assessment of the world timber situation. International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japan. Prepared by the Division of Economic Information and Market Intelligence, ITTO. ISBN 978-4-86507-007-1.

JARDIM, F. C. S.; HOSOKAWA, R. T. 1986/87. Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 16/17, n. único, p. 411-507.

JIANG, L.; BROOKS, J. R.; WANG, J. 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*. 213. 399-409.

JUN, J.; GUENSLER, R.; OGLE, J. H. Smoothing methods to minimize impact of global positioning system random error on travel distance, speed, and acceleration. Profile Estimates. n. 1972, p. 141-150, 2006.

JUNK, W.J. Wetlands of tropical South América. In: Whigham, D.H & Dykyjova, D. (eds.): Wetlands of the world I. Kluwer Academic Publishers. p. 679-739, 1993.

KOCH, G. W.; SILLETT; S. C.; JENNINGS, G. M.; DAVIS, S. D. 2004. The limits to tree height. Nature. Vol. 428. 851-854.

KONHAUSER, K. O.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian Waters and soils. Chemical Geology. 111. 155-175.

KOSSOY, A.; GUIDON, P. State and trends of the carbon Market 2012. World Bank report. 138 p. 2012.

KRONBERG, B. I.; FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; SANTOS, A. M. 1979. The chemistry of some Brazilian soils: element mobility during intense weathering. Chemical Geology. 24. 211-229.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. 2005. A expansão madeireira na Amazônia. O Estado da Amazônia, 2:1-4.

LI, M.; IM, J.; QUACKENBUSH, L. J.; LIU, T. Forest biomass and carbon stock quantification using airborne LiDAR Data: A case study over Huntington Wildlife Forest in the Adirondack Park. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing, v. 7, n. 7, p. 3143-3156, 2014.

LIMA, J. A. N. Avaliação de um sistema de inventário florestal contínuo em áreas manejadas e não manejadas do estado do Amazonas (AM). 183 p. Tese (Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais). Inst. Nac. de Pesq. Amazônia (INPA). Manaus, 2010.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO, G. H. P. M., KAJIMOTO, T.; SANTOS, J. dos; SILVA, R. P. dos; SOUZA, C. A. S. de; BARROS, P. C.; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. 2012. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. Forest Ecology and Management. 277, 163-172.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. Forest Inventory. Munich, BLV Verlagsgesellschaft. 2nd edition. Vol. II. 1973. 469 p.

LOPES, U. B. Aspectos Físicos, Químicos e Ecológicos das misturas naturais de águas físico-quimicamente diferentes, na Amazônia. 49 p. Tese de doutorado. INPA–Pós-graduação em Ciências Biológicas. Manaus, 1992.

LU, D. Review Article. The Potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*. v. 27, n. 7, p. 1297-1328, 2006.

LU, D.; CHEN, Q.; WANG, G.; MORAN, E.; BATISTELLA, M.; ZHANG, M.; LAURIN, G. V.; SAAH, D. Aboveground forest biomass estimation with LandSat and LiDAR Data and uncertainty analysis of the estimates. *International Journal of Forestry Research*, v. 2012, n. 1, p. 1-16, 2012.

LU, D.; CHEN, Q.; WANG, G.; LIU, L.; LI, G.; MORAN, E. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth*, n. December, p. 37-41, 2014.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. 2nda edição. Guarapuava: Editora Unicentro, 2006. v. 1-2ed.. 316p.

MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÉO, S. J.; STOLLE, L.; URBANO, E. 2008. Modelagem volumétrica para bracatinga (*Mimosa scabrella*) em povoamentos da Região Metropolitana de Curitiba. *Pesquisa Florestal Brasileira*. Colombo, n. 56. 17-29.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. 1998 Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 103, No. D 24, p. 31.593–31.612.

MALHI, Y. R.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ-VARGAS, P.; PITTMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N.; LEZAMA, A. T.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ-MARTÍNEZ, R.; VINCETI, B. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*. 12, 1107-1138.

MARQUET, P.A.; QUIÑONES, R.A.; ABADES, S.; LABRA, F.; TOGNETTI, M.; ARIM, M.; RIVADENEIRA, M. 2005. Scaling and power-laws in ecological systems. *The Journal of Experimental Biology*. 208, 1749–1769.

MATOS, F. D. de A.; AMARAL, I. L. 1999. Análise ecológica de um hectare em floresta Ombrófila Densa de terra firme, estrada da várzea, Amazonas, Brasil. *Acta amazonica*. 29(3): 365-379.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.; PUTZ, F. E.; MARCO, P.; PENA, W.; FERREIRA, J. E. R. 2010. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 259, p. 367-373.

MELLO, A. A.; NUTTO, L.; WEBER, K. S. SANQUETTA, C. R.; MATOS, J. L. M.; BECKER, G. 2012. Individual Biomass and Carbon Equations for *Mimosa scabrella* Benth. (Bracatinga) in southern Brazil. *Silva Fennica*. v. 46, p. 333-343.

MEYER DE SCHAUENSEE, R. 1966. Species of birds of South America and their distribution. *Publ. Acad. Nat. Science*, 18: 1-578.

MITCHARD, E. T. A.; FELDPAUSCH, T. R.; BRIENEN, R. J. W.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; QUESADA, C. A.; GLOOR, M.; ter STEEGE, H.; MEIR, P.; ALVAREZ, E.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; ARROYO, L.; AYMARD, G.; BANKI, O.; BONAL, D.; BROWN, S.; BROWN, F. I.; CERÓN, C. E.; CHAMA MOSCOSO, V.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CORNEJO, F.; CORRALES MEDINA, M.; Da COSTA, L.; COSTA, F. R. C.; Di FIORE, A.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L.; FREDERICKSON, T.; HIGUCHI, N.; HONORIO CORONADO, E. N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LEVIS, C.; MAGNUSSON, W. E.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MENDOZA POLO, I.; MISHRA, P.; NASCIMENTO, M. T.; NEILL, D.; NÚÑEZ VARGAS, M. P.; PALACIOS, W. A.; PARADA, A.; PARDO MOLINA, G.; PEÑA-CLAROS, M.; PITMAN, N.; PERES, C. A.; POORTER, L.; PRIETO, A.; RAMIREZ- NGULO, H.; RESTREPO CORREA, Z.; ROOPSIND, A.; ROUCOUX, K. H.; RUDAS, A.; SALOMÃO, R. P.; SCHIETTI, J.; SILVEIRA, M.; de SOUZA, P. F.; STEININGER, M. K.; STROPP, J.; TERBORGH, J.; THOMAS, R.; TOLEDO, M.; TORRES-LEZAMA, A.; van ANDEL, T. R.; van der HEIJDEN, G. M. F.; VIEIRA, I. C. G.; VIEIRA, S.; VILANOVA-TORRE, E.; VOS, V. A.; WANG, O.; ZARTMAN, C.E.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O. L. 2014. Markedly divergent estimates of Amazon forest carbon density from ground plots and satellites. *Global Ecology and Biogeography*. DOI: 10.1111/geb. 12168, p. 1-12.

MORI, S. A.; CUNHA, N. L. The Lecythidaceae of a Central Amazonian Moist Forest. *The New York Botanical Garden, Bronx, New York*, 60 p. 1995.

MOSS, R.H.; SCHNEIDER, S.H., 2000: Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting. In: *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third*

Assessment Report of the IPCC [eds. R. Pachauri, T. Taniguchi and K. Tanaka], World Meteorological Organization, Geneva, pp. 33-51.]

NEGRÓN-JUAREZ, R. I.; CHAMBERS, J.; GUIMARÃES, G.; ZENG, H.; RAUPP, C. F. M.; MARRA, D. M.; RIBEIRO, G. H. P. M.; SAATCHI, S. S.; NELSON, B.; HIGUCHI, N. 2010. Widespread Amazon forest tree mortality from a single cross-basin line event. *Geophysical Research Letters*. Vol. 37, L16701.

NEPSTAD, D.C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDONZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*. London, v. 398, p. 505-508.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. *Applied linear statistical models*. Irwin, Chicago, Illinois, USA. 1408 p. 1996.

NIKLAS, K. J. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press. Chicago

. 395p. 1994.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*. 256, 1853-1867.

OHASHI, S.; OKADA, N.; NOBUCHI, T.; SIRIPATANADILOK, S.; VEENIN, T. 2009. Detecting invisible growth rings of trees in seasonally dry forests in Thailand: isotopic and wood anatomical approaches. *Trees*. 23: 813-822.

OHASHI, S.; OKADA, N.; AZIM, A. A. A.; YAHYA, A. Z.; NOBUCHI, T. 2011. Estimation of tree age in the humid tropics by vessel measurement: A preliminary study. *Tropics*. Vol. 19 (3). 107-112.

OLIVEIRA, A. A. 2000. Inventários quantitativos de árvores em matas de terra firme: Histórico com enfoque na Amazônia Brasileira. *Acta Amazonica*. 30(4): 543-567.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*. Manaus, v. 34, n. 1, p. 21-34.

OLIVEIRA, L. C.; COUTO, H. T. Z.; SILVA, J. N.; CARVALHO, J. O. P. 2005. Efeito da exploração de madeira e tratamentos silviculturais na composição florística e

diversidade de espécies em uma área de 136ha na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará. *Scientia Forestalis*. N. 69, p. 62-76.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L.; RAMOS, M. B. P.; NOBRE, A. D.; COUTO, L. B.; SAHDO, R. M. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta amazonica*. 2008. Vol. 38(4): 627-642.

OLIVEIRA, M. M.; HIGUCHI, N.; CELES, C. H.; HIGUCHI, F. G. 2014. Tamanho e formas de parcelas para inventários florestais de espécies arbóreas na Amazônia Central. *Ciência Florestal*. Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 645-653.

OVERMAN, J. P. M.; WITTE, H. J. L.; SALDARRIGA, J.G. 1994. Evaluation of Regression Models for Above-ground Biomass Determination in Amazonia Rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, v.10, p.207-218.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. Inventário florestal. Curitiba: Editorado pelos autores, p. 316, 1997.

PETERS-STANLEY, M.; GONZALEZ, G.; YIN, D. Covering New Ground: State of forest carbon markets 2013. Washington, DC. 101 p. 2013.

PHILLIPS, O.L.; HALL, P.; GENTRY, A.H.; SAWYER, S.A. e VÁSQUEZ, M. 1994. Dynamics and species richness of tropical rainforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 91: 2805 – 22809.

PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; NÚÑEZ, P. V.; VÁSQUEZ, R. M.; LAURANCE, S. G.; FERREIRA, L. V.; STERN, M.; BROWN, S.; GRACE, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282(5388):439-442.

PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L.; BAKER, T. R.; CHAO, K. -J.; HIGUCHI, N. 2008. The changing Amazon forest. *Philosophical Transactions of The Royal Society*. 363, 1819-1827.

PILLI, R., ANFODILLO, T.; CARRER, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237: 583-593.

PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: Prance, G.T & Lovejoy, T.E., eds. *Amazônia: key environment*. London, Pergamon Press, p. 109-145, 1985.

PORTO, M. L.; LONGHI, H. M.; CITADINI, V.; RAMOS, R. F.; MARIATH, J. E. A. 1976. Levantamento fitossociológico em área de “mata-de-baixio” na Estação Experimental de Silvicultura Tropical – INPA – Manaus – Amazonas. *Acta amazonica*. 6(3): 301-318.

PRANCE, G. T.; RODRIGUES, W. A.; SILVA, M. F. 1976. Inventário florestal de um hectare de mata de terra firme km 30 da Estrada Manaus – Itacoatiara. *Acta amazonica*. 6(1): 9-35.

QUEIROZ, W. T. Técnicas de amostragem em inventário florestal nos Trópicos. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação. 1998. 147 p.

RADAMBRASIL. Programa de Integração Nacional. Levantamento de Recursos Naturais. 1978. V. 14 (Alto Solimões) – RADAM (projeto) DNPM, Ministério de Minas e Energia. Brasil. 626p.

RANKIN-DE-MÉRONA, J. M.; PRANCE, G. T.; HUTCHINGS, R. W.; SILVA, M. F.; RODRIGUES, W. A.; UEHLING, M. E. 1992. Preliminary results of a large-scale tree inventory of upland Rain Forest in the Central Amazon. *Acta Amazonia*. 22(4): 493-534.

RAYOL, B. P.; ALVINO-RAYOL, F. O.; SILVA, M. F. F. 2011. Similaridade florística entre o estrato arbóreo e a regeneração natural de uma floresta secundária, no município de Bragança, nordeste do estado do Pará. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 6 (3): 107-114.

REES, M.; CONDIT, R.; CRAWLEY, M.; PACALA, S.; TILMAN, D. 2001. Long-term studies of vegetation dynamics. *Science*. Vol. 293, 650-658.

RENNIE, J. C. 1979. Comparison of Height-Measurement Techniques in a Dense Loblolly Pine Plantation. *Southern Journal of Applied Forestry*. 3, n. 4, 146-148.

REZENDE, A. V. Diversidade, estrutura, dinâmica e prognose do crescimento de um cerrado sensu stricto submetido a diferentes distúrbios por desmatamento. Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná. 269 p. 2002.

RIBEIRO, J. E. L da S.; HOPKINS, M. J. G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. da S.; BRITO, J. M. de; SOUZA, M. A. D. de; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. da C.; SILVA, C. F. da; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA. p. 816, 1999.

ROBERTS, T. R. 1972. Ecology of fishes in the Amazon and Congo basins. Bull. Mus. Comp. Zool., 143 (2): 117-147.

ROCHA, J. de A. Madeira caída como oportunidade para o manejo florestal comunitário em unidades de conservação no Amazonas, Brasil. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Manaus. X p. 2010.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; ÁLVAREZ, M. F.; SANZ-ABLANEDO, E. Assessment of low-cost GPS receiver accuracy and precision in forest environments. v. 133, n. Nov., p. 159-167, 2007.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Modelos volumétricos para a Floresta Nacional do Tapirapé-Aquirí, Serra dos Carajás (PA). Acta Amazonica, vol. 36(1) 2006: 107-114, 2006.

SAATCHI, S. S.; HOUGHTON, R. A.; SANTOS ALVALÁ, R. C.; SOARES, J. V.; YU, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon. Global Change Biology. 13, 816-837.

SAATCHI, S. S.; HARRIS, N. L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E. T. A.; SALAS, W.; ZUTTA, B. R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S. L.; HAGEN, S.; PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL, A. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical region across three continents. PNAS. Vol. 108, n. 24. 9899-9904.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; SILVA, F. 2011. Biomass expansion factor and root-to-shoot ratio for Pinus in Brazil. Carbon Balance and Management. v. 6, p. 1-22.

SANTANA, A. C.; SANTOS, M. A. S.; SANTANA, A. L.; YARED, J. A. G. 2012. O valor econômico da extração manejada de madeira no Baixo Amazonas, estado do Pará. Revista Árvore. Vol. 36, n. 3, p. 527-536.

SANTOS, H. M.; RIBEIRO, M. N. G. 1988. A hidroquímica do rio Solimões – Amazonas. Acta amazonica. 18(3-4): 145-172.

SANTOS, J. dos. Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. 121 p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 1996.

SICK, H. 1972. A ameaça da Avifauna Brasileira. In: Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção. Ed. Pela Academia Brasileira de Ciências / CNPq / FNDCT. P. 99-153.

SIGRIST, P.; COPPIN, P.; HERMY, M. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing*, v. 20, n. 18, p. 2595-3610, 1999. SILESHI, G. W. 2014. A critical review of forest biomass estimation models, common mistakes and corrective measures. *Forest Ecology and Management*. 329. 237-254.

SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, S. M. A.; CARVALHO, J. O. P.; COSTA, D. H. M.; MELO, M. S.; TAVARES, M. J. M. Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental: il., 2005. 69 p.

SILVA, R. P. da. Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM). 152 p. Tese de Doutorado. Programa Integrado de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais (INPA), Manaus, 2007.

SILVA, E. N.; SANTANA, A. C.; QUEIROZ, W. T.; SOUSA, R. J. 2011. Estimação de equações volumétricas para árvores de valor comercial em Paragominas, estado do Pará. *Amazônia: Ciência e Desenvolvimento*. Belém, v. 7, b. 13. p. 7-18.

SKOLE, D.; TUCKER, C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon. Satellite data from 1978 to 1988. *Forest Science, Lawrence*, v. 260, p. 1905-1910.

SMITH, V. G. 1983. Compatible Basal Area Growth and Yield Models Consistent with Forest Growth Theory. *Forest Science*. Vol. 29, no. 2. 279-288.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLI, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, O.; SCHLEISINGER, P.; MCGRATH, D. 2005. Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados*. 19 (54). 137-152.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*. Vol. 440, n 23. 520-523.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M., 1983. Geochemistry of the Amazon, 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 88: 9671-9688.

STEENKAMP, C. J.; VOGEL, J. C.; FULS, A. van ROOYEN, N.; van ROOYEN, M. W. 2008. Age determination of *Acacia erioloba* trees in the Kalahari. *Journal of Arid Environments*, vol.72, issue 4, pp. 302-313.

STUIVER, M; REIMER, P. J.; BARD, E.; BECK, J. W.; BURR, G. S.; HUGHEN, K. A.; KROMER, B.; McCORMAC, G.; VAN DER PLICHT, J.; SPURK, M. 1998. INTCALL98 Radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. *Radiocarbon*. Vol. 40, no. 3. 1041-1083.

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. 1972. A Simultaneous Growth and Yield Model for loblolly Pine. *Forest Science*. 18:76-86.

SWAINE, M. D.; LIEBERMAN, D.; HALL, J. B. 1990. Structure and dynamics of a tropical dry forest in Ghana. *Vegetatio*. V. 88: 31-51.

TABACHNICK, B. G.; L. S. FIDELL. 1996. Using multivariate statistics. Harper Collins, New York, New York, USA. 1996. 4th edition. 58 p.

TCA (Tratado de Cooperação Amazônica). Amazonia Without Myths. Commission on Development and Environment for Amazônia. Quito - Equador, p. 99, 1992.

TER STEEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; SABATIER, D.; BARALOTO, C.; SALOMÃO, R. P.; GUEVARA, J. E.; PHILLIPS, O. L.; CASTILHO, C. V.; MAGNUSSON, W. E.; MOLINO, J-F.; MONTEAGUDO, A.; VARGAS, P. N.; MONTERO, J. C.; FELDPAUSCH, T. R.; CORONADO, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; MOSTACEDO, B.; VASQUEZ, R.; ASSIS, R. L.; TERBORGH, J.; WITTMANN, F.; ANDRADE, A.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; MARIMON, B. S.; MARIMON Jr., B-H.; VIEIRA, I. C. G.; AMARAL, I. L.; BRIENEN, R.; CASTELLANOS, H.; LÓPEZ, D. C.; DUIVENVOORDEN, J. F.; MOGOLLÓN, H. F.; MATOS, F. D. de A.; DÁVILA, N.; GARCÍA-VILLACORTA, R.; DIAZ, P. R. S.; COSTA, F.; EMILIO, T.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; MONTOYA, A. J. D.; PIEDADE, M. T. F.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARROYO, L.; GRIBEL, R. FINE, P. V. A.; PERES, C. A.; TOLEDO, M.; AYMARD, G. A. C.; BAKER, T. R.; CERÓN, C.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; STROPP, J.; ZARTMAN, C. E.; DALY, D.; NEILL, D.; SILVEIRA, M.; PAREDES, M. R.; CHAVE, J.; LIMA FILHO, D. de A.; JØRGENSEN, P. M.; FUENTES, A.; SCHÖNGART, J.; VALVERDE, F. C.; FIORE, A. Di.; JIMENEZ, E. M.; MORA, M. C. P.; PHILLIPS, J. F.; RIVAS, G.; ANDEL, T. R. van; HILDEBRAND, P. von; HOFFMAN, B.; ZENT, E. L.; MALHI, Y.; PRIETO, A.; RUDAS, A.; RUSCHELL, A. R.; SILVA, N.; VOS, V.; ZENT, S.; OLIVEIRA, A. A.; SCHUTZ, A. C.; GONZALES, T.; NASCIMENTO, M. T.; RAMIREZ-ANGULO, H.; SIERRA, R.; TIRADO, M.; MEDINA, M. N. U.; HEIJDEN, G. van DER; VELA, C. I. A.; TORRE, E. V.; VRIESENDORP, C.; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; BALSLEV, H.; FERREIRA, C.; MESONES, I.; TORRES-LEZAMA, A.;

GIRALDO, L. E. U.; ZAGT, R.; ALEXIADES, M. N.; HERNANDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUQUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; CUENCA, W. P.; PAULETTO, D.; SANDOVAL, E. V.; GAMARRA, L. V.; DEXTER, K. G.; FEELEY, K.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; SILMAN, M. R. 2013. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science*. New York, Vol. 342, 324-343.

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equações para estimative de volume de madeira para a região da bacia do Rio Ituxi, Lábrea, AM. *Pesquisa Florestal Brasileira*. Colombo, v. 30, n. 64, p. 283-289.

THERRELL, M. D.; STAHL, D. W.; MUKELABAI, M. M.; SHUGART, H. H. 2007. Age, and radial growth of *Pterocarpus angolensis* in southern Africa. *Forest Ecology and Management*. 244, p. 24-31.

TRUMBORE, S.; BRANDO, P.; HARTMANN, H. Forest health and global change. *Science*, v. 349, n. 6250, 2015.

WEISS, N.; HASSETT, M. *Introductory Statistics*. 1982. Arizona State University. 650 p.

WEST, G. B., BROWN, J. H.; ENQUIST, B. J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664-667.

WIEMANN, M. C.; WILLIAMSON, G. B. 2014. Wood specific gravity variation with height and its implications for biomass estimation. Research Paper FPL-RP-677. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 9 p.

WILLIAMS, M. S.; BECHTOLD, W. A.; LABAU, V. J. 1994. Five instruments for measuring tree height: An evaluation. *Southern Journal of Applied Forestry*, Vol. 18 (2): 76-82.

WOODHOUSE, I. H.; MITCHARD, E. T. A.; BROLLY, M.; MANIATIS, D.; RYAN, C. M. 2012. Radar backscatter is not a 'direct measure' of forest biomass. *Nature Climate Change*. 2, p. 556-557.

WORBES, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and na outlook to future challenges. *Dendrochronologia*. 20/1. 217-231.

ZHANG, G.; GANGULY, S.; NEMANI, R. R.; WHITE, M. A.; MILESI, C.; HASHIMOTO, H.; WANG, W.; SAATCHI, S.; YU, Y.; MYNENI, R. B. Estimation of forest aboveground biomass in California using canopy height and leaf area index estimated from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, n. August, 2014.

IBGE. Divisão regional do Brasil em regiões geográficas. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/apps/regioes\\_geograficas/#/home](https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/#/home).

Araújo, T. M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, p.43-52.

Souza, D.C., Sampaio Filho, I.J., Simonetti, A., Souza, C.A.S., Oliveira, L.R. e Freitas, S.F. A produção de soja na Fazenda São Wustro (Bahia) – safra 2020-2021 - e a mudança do clima ocorrida depois da segunda etapa da Revolução Industrial. Ed. Niro Higuchi – ISBN nº 978-65-00-42466-9, Manaus – AM, 44p.

Araujo, R. F., Chambers, J. Q., Celes, C. H. S., Muller-Landau, H. C., Santos, A. P. F. D., Emmert, F., ... & Higuchi, N. (2020). Integrating high resolution drone imagery and forest inventory to distinguish canopy and understory trees and quantify their contributions to forest structure and dynamics. *PloS one*, 15(12), e0243079.

Carvalho, J. O. P. de. 1997. Dinâmica de florestas naturais e sua implicação para o manejo florestal. (Embrapa-CNPq. Documentos, 34). Belém: p.41-55.

Ecke, S., Dempewolf, J., Frey, J., Schwaller, A., Endres, E., Klemmt, H. J., ... & Seifert, T. (2022). UAV-based forest health monitoring: a systematic review. *Remote Sensing*, 14(13), 3205.

Favarin, J. L., Dourado Neto, D., García y García, A., Villa Nova, N. A., & Favarin, M. D. G. V. (2002). Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 37, 769-773.

Higuchi, N. 2001. A Inserção do Amazonas no contexto da convenção do clima e Protocolo de Quioto. Apontamentos Didáticos.

Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1994. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Companhia Vale do Rio Doce (ed.). Emissão

e seqüestro de CO<sub>2</sub>: uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, Rio de Janeiro: 125-153.

Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in forestry: A review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 155-168.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2004. Good practice guidance for land use, land-use changes and forestry. Kanagawa, Japan, Institute for Global Environmental Strategies.

Lowe, G. (2004). Sift-the scale invariant feature transform. *Int. J.*, 2(91-110), 2.

Niklas, K.J. 1994. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press. Chicago. 395p.

Peixoto, A. S. L. (2021). Distribuição e geometria de clareiras em floresta da Amazônia central combinando imagens de aeronave remotamente pilotada (ARP) e dados de campo. Dissertação de mestrado pelo Programa de Pós-graduação em Ciências de Florestas Tropicais/INPA.

Pilli, R., Anfodillo, T. e Carrer, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237: 583-593.

Silva, R.P. da. 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e secundárias na região de Manaus (AM)*. Tese de Doutorado em Ciências de Florestas Tropicais/ INPA. 152p.

West, G.B., Brown, J.H. e Enquist, B.J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664-667.

Zianis, D. e Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187: 311-332.



TERO.004, V1.0  
METHODOLOGY, AFOLU, CARBON STOCK  
TERO CARBON AVALIAÇÕES E CERTIFICAÇÕES S.A.



**TERO.004 - CARBON STOCK IN AGROSILVOPASTORAL SYSTEM**

**VERSION 1.0**

**METHODOLOGY, AFOLU, CARBON STOCK**

---

**TERO CARBON AVALIAÇÕES E CERTIFICAÇÕES S.A.**

## IDENTIFICATION

<b>METHODOLOGY</b>	TERO.004 - CARBON STOCK IN AGROSILVOPASTORAL SYSTEMS
<b>VERSION</b>	1.0
<b>STATUS</b>	Approved
<b>PUBLICATION DATE</b>	30th January 2024 (01/30/2024)
<b>AUTHORS</b>	Israel de Jesus Sampaio Filho Cacilda Adélia Sampaio de Souza Valdiek da Silva Menezes Diego César Veloso Rezende Francisco Gasparetto Higuchi
<b>SUPERVISORS</b>	Juliana Rezende Mello Rafael Ramos Tomás Niro Higuchi
<b>TYPE</b>	AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use)
<b>CATEGORY</b>	Removal Carbon Credit
<b>BIOME</b>	Amazon, Atlantic Forest, Cerrado, Caatinga, Pampa and Pantanal
<b>GENERATED ASSET</b>	Verified Carbon Credit (tCO <sub>2</sub> e)
<b>PROJECT ACTIVITIES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Maintenance of Agricultural Crop Stocks</li> <li>● Forestry</li> </ul>
<b>AGRICULTURAL CROP</b>	Coffee

## ACRONYMS

<b>AFOLU</b>	Agriculture, Forestry and Other Land Uses
<b>AGB</b>	Above-Ground Biomass
<b>BAU</b>	Business as Usual
<b>BGB</b>	Below Ground Biomass
<b>Btot</b>	Biomass gives total culture (AGB + BGB)
<b>CAB</b>	Base circumference at a height of up to 10.0 cm from the ground
<b>CAR</b>	Rural Environmental Registry
<b>CI</b>	Confidence Interval
<b>CND</b>	Debt Clearance Certificates
<b>COP</b>	Conference of the Parties
<b>CO<sub>2</sub>e</b>	Carbon dioxide equivalent
<b>CU</b>	Conservation Unit
<b>DAB</b>	Base diameter at a height of up to 10.0 cm from the ground
<b>DCP</b>	Project Design Document
<b>Di</b>	Diameter of the lower crown, given in meters
<b>Dm</b>	Diameter of the middle section of the crown, given in meters
<b>Ds</b>	Diameter of the upper section of the canopy, given in meters
<b>EMBRAPA</b>	Brazilian Agricultural Research Company
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization of United Nations
<b>GHG</b>	Greenhouse Gases
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>ht</b>	Plant height, given in meters.

<b>Hd</b>	Canopy height, given in meters.
<b>hi</b>	Height of insertion of the first pair of plagiotropic branches, given in meters.
<b>IBGE</b>	Brazilian Institute of Geography and Statistics
<b>IDAM</b>	Institute for Sustainable Agricultural and Forestry Development of the State of Amazonas
<b>IFC</b>	Continuous Forest Inventory
<b>INCRA</b>	National Institute of Colonization and Agrarian Reform
<b>INPA</b>	National Amazon Research Institute
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>LMF</b>	Forest Management Laboratory
<b>LRA</b>	Legal Reserve Area
<b>MMA</b>	Ministry of the Environment
<b>MRV</b>	Measure, Report and Verify
<b>MUA</b>	Multiple Use Area
<b>SLB</b>	Sustainability-Linked Bond
<b>SNIF</b>	National Forest Information System
<b>PA</b>	Project Area
<b>PDD</b>	Project Design Document
<b>PF</b>	Natural person
<b>PJ</b>	Legal person
<b>PPA</b>	Permanent Preservation Area
<b>REDD</b>	Reduction of Emissions from Deforestation and Forest Degradation
<b>REDD+</b>	Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation, plus the sustainable management of forests, and the conservation and enhancement of forest carbon stocks

<b>RPPN</b>	Private Natural Heritage Reserve
<b>TCPLI</b>	Free and Informed Prior Consent Term
<b>UN</b>	United Nations
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>WWO</b>	World Meteorological Organization

## DEFINITIONS

<p><b>Additionality (IPCC)</b></p>	<p>According to the IPCC, Additionality of carbon projects is defined under the scope of the Clean Development Mechanism (CDM) as:</p> <p>For forests: “Additionality is defined as: the reduction or removal of emissions that would not occur in the absence of the project. This definition of additionality can be encompassed to include approaches related to ‘financial additionality’, ‘investment additionality’ and ‘technology additionality’.”</p> <p>For crops: “Additionality is defined as: the maintenance of sustainable productive activities, jobs and the generation of local wealth that would not occur in the absence of the project”.</p> <p>These additional definitions apply mainly to the market concept established in the CDM.</p>
<p><b>Amazon biome</b></p>	<p>The Amazon biome is characterized by tropical rain forests and rich biodiversity, encompassing a mosaic of phytophysiognomies, ecosystems, fauna and microorganisms, including the Amazon basin, which exerts great water influence, making the biome one of the most diverse and of great economic interest on the planet.</p>
<p><b>Atlantic Forest Biome</b></p>	<p>According to IBGE, the Atlantic Forest Biome occupies approximately 13% of the Brazilian territory. As it is located in the coastal region, where more than 50% of the Brazilian population lives, it is the most threatened among the biomes that occur in Brazil, with around 27% of its original forest cover remaining. It has been identified as the fifth most threatened area and rich in endemic species in the world.</p>

<p><b>Baseline</b></p>	<p>The baseline definition is defined according to REDD principles as a ‘non-intervention’ scenario, in which in the absence of project implementation, what would be the most likely fate of the forest.</p> <p>However, for already established agroforestry systems, the counterfactual scenario, that is, a situation or event that did not happen, but could have happened, is defined as: the absence of a project is equal to the reality of socioeconomic factors/indices of municipalities without agroforestry activity.</p>
<p><b>Biomass gives culture (IPCC, 2006)</b></p>	<p>Biomass is subdivided into three compartments: Total Biomass (Btot), Above Ground (AGB) and Below Ground (BGB).</p> <p>Biomass is defined by the weight of the plant, in kilos (Kg) or tons (t), the first being used for individual weight and the second when referring to stocks.</p> <p>It can be given as “fresh” or “dry” biomass, where the first considers the presence of water in the matter and the second considers the mass dried in an oven until constant weight.</p>
<p><b>Brazilian Amazon</b></p>	<p>It comprises the entire states of Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Roraima, Rondônia and parts of the States of Maranhão, Mato Grosso and Tocantins.</p>
<p><b>Burlap, Serrapilheira or Liteira</b></p>	<p>It is the layer formed by the deposition of plant remains (leaves, branches) and accumulation of living organic material in different stages of decomposition that superficially covers the soil or aquatic sediment.</p>
<p><b>Caatinga Biome</b></p>	<p>The Caatinga Biome covers several plant typologies in the Northeast Region, occupying an area of approximately 10% of the national territory, extending across the states of Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia and Minas Gerais . Although it is located in an area with a semi-arid climate, it presents a wide variety of landscapes, relative biological richness and endemic species.</p>

<b>Carbon Credit (tCO<sub>2</sub>e)</b>	Financial, environmental, transferable asset representing the reduction, removal and avoidance of greenhouse gas emissions, represented by one ton of carbon dioxide equivalent (tCO <sub>2</sub> e), which has been recognized and generated as credit in the voluntary or regulated market.
<b>Carbon Stock (tCO<sub>2</sub>e)</b>	Financial, environmental, transferable assets representing the maintenance or storage of one ton of carbon dioxide equivalent (tCO <sub>2</sub> e), thus including all means of carbon deposition, except greenhouse gases, present in the atmosphere.
<b>Carbon stock or carbon reservoir in culture</b>	<p>It is the estimated amount of carbon present in the crop that makes up the system in question. It can be presented using an estimated average, followed by its margin of uncertainty or in absolute terms, when referring to the total area.</p> <p>Carbon from crops, living and dead plants, shrubs and other plant organisms, in addition to carbon in soil, may be included in the quantification of the stock.</p> <p><u>Net carbon stock</u> is the amount of carbon stored in the crop corresponding to the stock of living organisms subtracted from the dead biomass (dead plants and litter).</p> <p>The stock is given in area units, abbreviated as grams or tons: (i) millions in mega (Mg or Mt); billions in giga (Gg or Gt); (iii) trillions in tera (Tg or Tt); and (iv) quadrillions in peta (Pg or Pt).</p>
<b>Cerrado Biome</b>	<p>The Cerrado Biome occurs mainly in the Brazilian Central Highlands, being present in Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia, Federal District, Maranhão, Piauí, Rondônia, São Paulo and Paraná, covering approximately 24% of the territory Brazilian. The Cerrado is recognized as the richest Savanna in the world in terms of biodiversity with the presence of diverse plant types and very rich flora with more than 10,000 plant species.</p>
<b>CI (x %)</b>	<p>Confidence interval, at a probability of x%.          Standard probability levels: 90%, 95% and 99%.</p>

<b>Climate (IPCC, 2021)</b>	Defined with the average of descriptive weather statistics over a minimum period of 30 years, according to the World Meteorological Organization (WMO).
<b>Crediting Period</b>	It is the period of time in which environmental assets are generated, arising from the activities foreseen by this methodology.
<b>Cultivation and production systems</b>	<p>According to Embrapa:</p> <p>The Cultivation System refers to the common management practices associated with a specific plant species, aiming at its production through the logical and orderly combination of a set of activities and operations.</p> <p>The production system is made up of the set of cultivation and/or creation systems within a rural property, defined based on production factors (land, capital and labor) and interconnected by a management process.</p>
<b>Enrichment with trees</b>	<p>According to <u>Embrapa</u>:</p> <p>It consists of the introduction of species, mainly from the final stages of ecological succession, in areas with better soil conditions, already with the presence of native vegetation, but with low species diversity. It is a technique that should be proposed to fill spaces with gaps in natural regeneration.</p>

<p><b>Environmental or ecosystem services</b></p>	<p>According to <u>Embrapa</u>:        These are the benefits that people obtain from ecosystems, that is, they are services that the environment naturally performs and that result in benefits for human beings.</p> <p>In accordance with <u>IPAM</u>:        These are processes generated by nature itself through ecosystems, with the purpose of sustaining life on Earth. Environmental services are responsible for maintaining biodiversity, which allows the generation of products such as wood, fiber, fish, medicines, seeds, natural fuels, etc., which are consumed by humans.</p> <p>According to the Ministry of the Environment (<u>MMA</u>):        Environmental services are individual or collective human activities that favor the maintenance, recovery or improvement of ecosystem services. For example, the restoration of a permanent preservation area with the planting of seedlings will improve the native vegetation ecosystem on the riverbank and thus favor the service of regulating water flow and controlling erosion.</p> <p>According to <u>Lei nº 14,119/2021</u>:  <b>Ecosystem services</b> are relevant benefits for society generated by ecosystems, in terms of maintenance, recovery or improvement of environmental conditions</p> <p><b>Environmental services</b> are individual or collective activities that favor the maintenance, recovery or improvement of ecosystem services.</p>
<p><b>Financial additionality</b></p>	<p>Project funding is in addition to the budget available for the standard activity.</p>

<p><b>Forest</b></p>	<p>The definition of forests may vary depending on the source.</p> <p>According to <u>FAO</u> and <u>SNIF</u>:  <i>A forest is any vegetation group that extends over more than 0.5 hectare (0.005 km<sup>2</sup>) and is formed by trees taller than five meters, in addition to a canopy coverage greater than 10%. Areas with different land uses, such as agricultural or urbanized areas, are not included in this definition.</i></p> <p>According to the <u>IBGE</u>:  <i>Forests are characterized by the density of tall trees, with a reduction in the amount of light that reaches the ground, which limits the development of herbaceous and shrubby vegetation.</i></p> <p>In accordance with <u>Higuchi et al. (2012)</u>:      The forest is an ecosystem formed by living organisms, such as humans, tree plants, animals and microorganisms, which provide a permanent network of co-benefits and services; that supports, strengthens and protects development and quality of life; that interacts with each other and with the environment (abiotic factors such as: climate, soil, light, etc.) in which it is found.</p>
<p><b>Forestry (Embrapa, 2023)</b></p>	<p>It is the cultivation of forests, natural and artificial, with the objective of restoring and/or improving forest population, to meet specific market requirements.</p>
<p><b>Forest planting</b></p>	<p>Area of cultivation of tree species, whether for the production of wood or non-timber products. It can be made up of native or exotic species. Monocultures or mixed and/or hybrid systems.</p>

<p><b>Governance</b></p>	<p>It is the action or way of governing (definition of 'governance', from the Oxford Dictionary).</p> <p>Governance comprises all processes of “governing” over a social system or through rules, norms and actions that are structured, sustained, regulated and held accountable.</p> <p>For the purposes of carbon credit projects, the Governance of a rural property is established by the person responsible for the property and/or who will implement the actions and activities necessary to ensure the maintenance of agricultural productivity, with investments in sustainable development projects.</p>
<p><b>Halometry</b></p>	<p>Study of variations in the forms and processes of organisms. From the “whole” (carbon) in function of “parts of the whole” (DBH or CAP, for example), that is, adjustment of mathematical equations (functions or models).</p>
<p><b>Investment additionality</b></p>	<p>The value of the Reduced Emission Unit / Certified Reduced Emission must significantly improve the financial aspect and/or commercial viability of the project activity.</p>
<p><b>Leak (Leakage)</b></p>	<p>According to IUFRO and <u>UN-REDD Program</u>:        The unexpected loss of anticipated carbon benefits due to the relocation of activities in the project area to non-project areas, resulting in carbon emissions.</p> <p>In accordance with <u>Atmadja &amp; Verchot (2012)</u>; <u>track (2021)</u>:        It is the decrease or increase in GHG reductions and removals outside a project or program boundaries that is directly or indirectly attributable to the intervention implemented within those boundaries, i.e., the project/program itself.</p> <p>According to <u>UNFCCC</u>:        It meets the same definition of “displacement” in the CDM. Leakage occurs when containing deforestation and forest degradation in REDD+ implementation areas leads to increased deforestation or forest degradation in other areas.</p>

<p><b>Pampa Biome</b></p>	<p>The Pampa Biome, with an area of approximately 2% of the national territory, covers the southern half of the State of Rio Grande do Sul and constitutes the Brazilian portion of the South American Pampas that extend across the territories of Uruguay and Argentina. It borders only the Atlantic Forest Biome and is formed by four main sets of field vegetation, made up of herbs and shrubs, located in the geographical areas known as Planalto da Campanha, Depression Central, Planalto Sul-Rio-Grandense and Coastal Plain. Throughout the entire area covered by the Pampa Biome, human activity has led to a standardization of the vegetation cover, which is generally used as natural pasture or occupied by agricultural activities, mainly rice cultivation.</p>
<p><b>Pantanal Biome</b></p>	<p>The Pantanal Biome occupies approximately 2% of the national territory and covers part of the States of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul. Cerrado vegetation types are predominant in this biome, with vegetation similar to the caatinga and small areas with forests also occurring. However, the Pantanal Biome is recognized as the largest continuous floodplain on Planet Earth, which is the main factor for its formation and differentiation in relation to other biomes.</p>
<p><b>Platform Earth</b></p>	<p><u>Technological platform</u> developed by Tero Carbon to support the registration, certification and verification processes of projects that generate environmental assets.</p>

<p><b>REDD</b></p>	<p>Type of mechanism for generating carbon credits, through the avoided emission of Greenhouse Gases (GHG), from forest deforestation.</p> <p>Introduced in the discussions of the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) at COP 11, in Montreal (2005).</p> <p>It assumes four basic conditions/assumptions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>I. Baseline - Scenario of absence of a 'project' that would inevitably result in GHG emissions;</li> <li>II. Co-benefits - In addition to the avoided emissions, what additional positive impact does the 'project' bring;</li> <li>III. MRV Quantifications - Report carbon estimates clearly and with known levels of uncertainty;</li> <li>IV. Monitoring - Monitoring the 'project'; commitment to zero deforestation.</li> </ul>
<p><b>REDD+</b></p>	<p>In addition to the points described in REDD, the '+' represents additional forest-related activities that protect the climate, namely sustainable forest management and the conservation and improvement of forest carbon stocks.</p>
<p><b>Regular Property</b></p>	<p>The property must be <u>duly documented</u> and with macrozoning carried out in the Rural Environmental Registry (CAR) and <u>no overlaps with other areas</u>, public or private.</p>
<p><b>Technology additionality</b></p>	<p>The technology applied in the project activity must be the best available for the circumstances of the project location/region.</p>
<p><b>Uncertainty (IPCC, 2006)</b></p>	<p>Uncertainty is characterized by the lack of knowledge of the true value of a variable of a descriptive measure (central tendency, most used, dispersion or relationship).</p> <p>It is the Confidence Interval (CI) itself under a certain confidence level.</p> <p>More precisely, it is the part of the CI that is subtracted or added to the mean. Uncertainty depends on the amount of data used, as well as the sampling methods.</p>

<b>Use and Change in Land Use and Forests</b>	Anthropogenic activity in forest areas. Implement an economic activity on land that involves the rational use of natural resources or the transformation of the landscape into areas for alternative uses, such as agricultural crops or removal of natural vegetation for other purposes.
---	--

## I - SOCIAL AND ENVIRONMENTAL SAFEGUARDS ADOPTED

The conceptual basis of “Safeguards” comes from debates involving Projects such as Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, including the conservation and increase of carbon stocks (REDD+) and has as a reference the United Nations Framework Convention on Change Climate (UNFCCC) and the Ministry of the Environment (MMA).

“Safeguards” should be understood as guidelines which aim to enhance positive impacts and avoid or reduce negative impacts related to the project. Therefore, project actions must anticipate risks and establish measures to predict, minimize, mitigate or deal with adverse impacts associated with a given activity.

Thus, at the 16th Conference of the Parties (COP), in Cancun, a set of seven safeguards socio-environmental issues addressed to National Programs. In support of these programs, whenever the carbon project takes place in public areas, where there are traditional communities, it is necessary to demonstrate, within the certification and verification processes, the following safeguards:

- I. Right to protect territory;
- II. Free, Prior and Informed Consultation;
- III. Benefit sharing;
- IV. Assessment of social and environmental impacts;
- V. Incidence of an administrative law regime with mandatory state monitoring, depending on the current land regime, always safeguarding traditional ways of life.

## **II - MACROZONING OF THE PROPERTY**

The macro-zoning of the property must be divided into: Legal Reserve Area (LRA), Permanent Preservation Area (PPA) and Multiple Use Area (MUA). Consolidated areas (deforestation until July 22, 2008, duly accredited by the current state environmental agency) will be considered MUA.

### **II.1 Permanent Preservation Area (PPA)**

Based on Law No. 12,651 of 2012 (New Brazilian Forest Code), the Permanent Preservation Area (PPA) is a protected area, covered or not by native vegetation, with the environmental function of preserving water resources, the landscape, stability geological and biodiversity, facilitate the gene flow of fauna and flora, protect the soil and ensure the well-being of human populations.

APP is considered to be the banks of water bodies, hilltops, steep slopes, among others. The precise and specific definition of PPA is established in Chapter II, Section I, Art. 4 of Law No. 12,651/2012.

### **II.2. Legal Reserve Area (LRA)**

Based on Law No. 12,651 of 2012 (New Brazilian Forest Code), the Legal Reserve Area (LRA) is the area located within a property or rural possession, delimited under the terms of art. 12, with the function of ensuring the sustainable economic use of the natural resources of the rural property, assisting the conservation and rehabilitation of ecological processes and promoting the conservation of biodiversity, as well as the shelter and protection of wild fauna and native flora .

According to Chapter IV, Section I, art. 12 of Law No. 12,651/2012, every rural property must maintain an area covered with native vegetation, as a Legal Reserve, without prejudice to the application of the rules on Permanent Preservation Areas, observing the minimum percentages in relation to the

property's area. The precise and specific definition of LRA and its proportions per biome/region are established in Law No. 12,561/2012.

### **II.3. Multiple Use Area (MUA) and Consolidated Areas**

Based on Law No. 12,651 of 2012 (New Brazilian Forest Code), “alternative land use” is the replacement of native vegetation and successor formations (suppression) with other land covers, such as agricultural, industrial, generation and transmission activities energy, mining and transport, urban settlements or other forms of human occupation.

The replacement of native vegetation is prohibited in the PPA and LRA areas. The area subject to suppression is limited to a percentage of the rural property. The percentage value depends on the biome and the type of vegetation.

Any suppression that exceeds the limits defined by law is subject to sanctions imposed and provided for by law. However, in the past, due to the lack of control over the territory and constant changes in legislation, many rural properties exceeded the limits permitted for alternative use.

To mitigate this issue, the term “Consolidated area” was created. Based on Law No. 12,651 of 2012 (New Brazilian Forest Code), the Consolidated Area is the area of rural property with pre-existing human occupation on July 22, 2008, with buildings, improvements or agroforestry activities, admitted, in the latter case, the adoption of the fallow regime .

### **II.4. Non-Forest Area**

Any and all territorial extensions that are not characterized as forests must be duly identified. The main “non-forest” classifications are:

- Water;
- Exposed soils;
- Rock formations;

- Infrastructure (highways, rural roads, civil constructions and the like);
- Other plant formations that are not classified as forests, such as:
  - Agricultural crops;
  - Natural fields; and
  - Distinct vegetation formations, shrubs and/or herbaceous (for example: mangrove, caatinga and savannah).

### III - PROPERTY CLASSES

This methodology divides the size of rural properties into “classes”. The three “classes” of properties are based on “Amazonian superlatives”<sup>1</sup> and INCRA's rural property size classification<sup>2</sup>:

- Small Property: property with up to three thousand hectares (3,000 ha) will be considered;
- Average Property: property above three thousand hectares (3,000 ha) up to twenty thousand hectares (20,000 ha) will be considered; and
- Large Property: above twenty thousand hectares (20,000 ha).

**Note:** One can consider the municipality's Fiscal Module, which is a unit of measurement, in hectares, whose value is fixed by INCRA for each municipality taking into account: (a) the type of exploitation predominant in the municipality (horticultural, permanent crop, temporary culture, livestock or forestry); (b) the income obtained from the predominant type of exploration; (c) other explorations existing in the municipality that, although not predominant, are significant depending on income or area used; (d) the concept of "family property". The size of a tax module varies according to the municipality where the property is located. The value of the fiscal module in Brazil can vary from 5 to 110 hectares<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> The Legal Amazon has a territory of approximately 5.4 million km<sup>2</sup>. This represents just over 50% of the Brazilian territory. According to INCRA, “small properties” can total up to 400 ha. These superlatives need to be considered to adapt to the local reality.

<sup>2</sup> <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/modulo-fiscal>

<sup>3</sup> <https://www.embrapa.br/pt/web/portal/codigo-florestal/area-de-reserva-legal-arl>.

## SUMMARY

<b>1. OBJECTIVE</b>	<b>22</b>
<b>2. GENERATED ASSETS</b>	<b>22</b>
2.1. Verified Carbon Stock	22
<b>3. PREDICTED ACTIVITIES</b>	<b>22</b>
3.1. Maintenance of Agricultural Crop Stocks	22
3.2. Forestry	24
<b>4. MINIMUM CRITERIA</b>	<b>25</b>
<b>5. ELIGIBILITY</b>	<b>25</b>
<b>6. ADDITIONALITY</b>	<b>26</b>
<b>7. PERMANENCE</b>	<b>29</b>
<b>8. SAFEGUARDS</b>	<b>29</b>
<b>9. TIME LIMITS</b>	<b>30</b>
9.1. Project Duration Period	30
9.2. Project Start	30
9.3. Project Closing	30
9.4. Retroactivity	30
9.5. Carbon Stock Issuance Date	30
9.6. Crediting Period for Generating Carbon Credits	31
<b>10. PROJECT PARTICIPANTS</b>	<b>31</b>
<b>11. RURAL PROPERTY</b>	<b>32</b>
11.1. Type	33
11.2. Geographic limits	33
11.3. Territorial extension limits	33
11.4. Land Diligence	33
11.5. Owners' Consent or Free and Informed Prior Consent	34
11.6. Macro zoning of Rural Property	34
11.7. Project Area (PA)	35
11.8. Zero Deforestation Commitment	35
11.9. Sample Forest Inventory to Estimate Carbon Stock in the Project Area	36
<b>12. BASELINE</b>	<b>36</b>
<b>13. QUANTIFICATION</b>	<b>36</b>
13.1. Guidelines for Primary Data Collection and Carbon Stock Estimation in coffee cultivation and its varieties	36
13.2. Quantitative Sample Inventory	39
13.3. Calculation of Carbon Stocks of coffee trees and their varieties Without	

Statistically Defined Strata	40
13.4. Calculation of Carbon Stocks of coffee cultivation and its varieties With Statistically Defined Strata	41
13.5. Calculation of Carbon Stock Uncertainty	42
13.6. Calculation of Carbon Credit Generated Between Verification Periods	43
<b>14. ADDITIONAL BENEFITS (CO-BENEFITS)</b>	<b>44</b>
14.1. Conservation and preservation of biome biodiversity	44
14.2. Sustainable development	45
<b>15. GOVERNANCE</b>	<b>48</b>
<b>ANNEX I - THE METHODOLOGICAL BASIS FOR ESTIMATING BIOMASS AND CARBON STOCKS IN COFFEE CULTURE AND ITS VARIETIES</b>	<b>50</b>
1. Estimation of carbon stock above and below ground	53
2. Direct method	53
3. Indirect	55
4. Allometric Equations	56
5. Biomass and Carbon Allometry in the Coffee Tree	57
6. Determination of C content	59
7. Sampling System	60
8. Variable of Interest	60
9. Statistics	64
10. Stratification	65
11. Analysis of Variance (ANOVA)	66
12. Stratified Statistics	68
13. Extrapolation (Scale up)	69
14. Continuous Forest Inventory	77
<b>ANNEX II - REMOTE MONITORING AND PERMANENCE ANALYSIS</b>	<b>80</b>
<b>LITERATURE CONSULTED AND THEORETICAL BASIS</b>	<b>81</b>

## 1. OBJECTIVE

The objective of this methodology is to generate environmental assets in projects that promote the removal, maintenance and conservation of carbon stocks in agroforestry systems throughout Brazilian territory.

## 2. GENERATED ASSETS

This methodology provides for the generation of verified carbon credit assets defined as:

### **2.1. Verified Carbon Stock**

The first accreditation is given when estimating the “current carbon stock” of the crop. Subsequent accreditations will be quantified based on the difference between the current stock and the stock from the previous accreditation.

The Verified Carbon Stock (in tons of carbon dioxide equivalent -tCO<sub>2</sub>e) refers to the amount of tons of carbon dioxide equivalent removed from the atmosphere and incorporated into the biomass of the coffee crop at the current measurement time. Thus, it is considered that the initial stock generates carbon credits for removing emissions.

## 3. PREDICTED ACTIVITIES

The activities planned for this methodology are:

### **3.1. Maintenance of Agricultural Crop Stocks**

The proponent must plan and implement activities that enable and ensure the maintenance of carbon stocks from cultivation and/or forestry plantations, throughout the duration of the project and the commitment to “maintain the generation of at least one job”.

Any action that results in loss due to withdrawal and abandonment of coffee production will be deducted from the stock. The limit for terminating the project and its respective registration and certification on the Tero platform is 50% (fifty percent) of removal from the cultivation area. The loss of permanent jobs on the property that was established at the beginning of the project. As well, any and all activities or actions that result in GHG emissions, whether through deforestation and/or forest degradation, will be accounted for and debited from the stock.

Eligible and applicable activities and actions to guarantee and ensure the maintenance of carbon stocks in coffee cultivation through the preservation and conservation of productive activities may include, but not limited to:

- Implementation of Governance in the property, such as:
  - Identification and physical demarcation of the project area with signposts and fences on the boundaries of the property/project area;
  - Implementation of economic activity focused on other products:
    - Stimulating biodiversity with the protection and breeding of bees;
    - Use of rainwater collection and storage systems, etc.;
    - Encouraging the use of agricultural bio-defenses;
    - Encouraging the use of regenerative agriculture; and
    - Spaces intended for visits to technical schools and universities, NGOs, etc.
- Spring recovery project.

### **3.2. Forestry**

The proponent may consider forestry plantations to increase the carbon sequestration rate in the Project Area (PA). Forest plantations do not necessarily need to be commercial or represent an economic activity.

However, forest plantations must comply with the safeguards described in this methodology and, for example, not be the result of court orders to recover degraded areas. These will not be considered for the quantification of Carbon Stocks and Credits.

Eligible and applicable activities and actions to guarantee and ensure the maintenance of carbon stocks in forests through forestry may include, but not limited to:

- Afforestation of areas that have never been or are not forests for a minimum period of 10 (ten) years, counting from the date of registration of the project;
- Reforestation of degraded and/or deforested areas; and
- Forest enrichment of natural forest areas, through the planting of seedlings of specific species in the forest.

**NOTE #1:** Projects that include “forest enrichment” are eligible and can be considered as “forest plantings”.

**NOTE #2:** Forest plantations of native and/or exotic species will be permitted, the latter only if it is a plantation intended for non-timber use (fruit production or resin production, for example).

#### 4. MINIMUM CRITERIA

Certified carbon projects in Agriculture, Forestry and Land Use (AFOLU) must necessarily meet minimum criteria, such as:

1. Full compliance with the New Forest Code (Law No. 12,651, of May 25, 2012);
2. Rural property duly registered in the Rural Environmental Registry (CAR) with macrozoning and absence of overlap with other areas (public or private);
3. Full ownership of the rural property;
4. Lack of mention on the Ministry of Labor's Slave Labor Dirty List of project proponents and rural property owners;
5. Absence of embargoes on rural property to be financed by environmental agencies;
6. Comply with sectoral and regional agreements established for the crop (Soy Moratorium and the Green Protocol for Grains of Pará);
7. In the Cerrado biome, no conversion of natural areas occurred after June 2017.

#### 5. ELIGIBILITY

Projects that meet all of the following criteria are eligible for this methodology.

<b>GEOGRAPHIC LIMITS</b>	The boundaries of the Project Areas (APs) must be <u>totally</u> inserted into <u>Brazil</u> .
<b>UNIQUE RURAL PROPERTY</b>	It is permitted to use <u>unique rural property</u> , or in grouping, that is, <u>mosaic</u> .

<b>TYPE OF RURAL PROPERTY</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Private rural property;</li> <li>• Governmental and/or private Conservation Units (CU) for Sustainable Use that have the prerogative of generating environmental assets.</li> </ul>
<b>TYPE OF CULTURE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coffee (<i>Coffea</i> sp.) and its varieties;</li> <li>• Planted forests (forest plantation), of native and/or exotic species.</li> </ul>
<b>MINIMUM PROPERTY SIZE</b>	At least 5 ha (five hectares or 50,000 m <sup>2</sup> ), or one fiscal module.
<b>MINIMUM SIZE OF THE PROJECT AREA</b>	At least 1 ha (one hectare or 10,000 m <sup>2</sup> ) of coffee cultivation.
<b>NO DOUBLE COUNTING GUARANTEE</b>	The project area <b>cannot</b> have a Carbon Stock or Credits project or any other asset linked to the Carbon environmental asset, registered and/or certified by another “standard/methodology” in the same crediting period.
<b>PROJECT ACTIVITY</b>	It is necessary to carry out at least one of the activities provided for in this methodology.

## 6. ADDITIONALITY

According to FAO (2023), agriculture is the main provider of food for the global population. It provides a wide variety of products, such as: grains, vegetables and fruits. Furthermore, it enables the production of a variety of crops and products that meet the nutritional needs of the population with quality food. It creates employment and income generation opportunities, contributing to reducing poverty and increasing food security in rural and urban areas. Furthermore, it has the capacity to significantly contribute to climate change mitigation (Souza *et al.*, 2022).

Mitigation occurs mainly through the removal of GHGs from the atmosphere. For example, coffee cultivation, agroforestry and the integration of agricultural systems with forests can contribute to carbon removal, helping to mitigate the increase in CO concentrations<sub>2</sub> in the atmosphere. These, in addition to removing CO<sub>2</sub> and storing carbon, store and emit H<sub>2</sub>O vapor for the atmosphere (Pereira Neto, 2012). This leads to the maintenance of carbon and water cycling in the rural landscape ecosystem and maintains the balance of the microclimate.

Here it is essential to emphasize that agriculture ensures the preservation of forests. Within this scope, the obligation by law, in which rural producers maintain the legal reserve area and permanent preservation areas on their properties. This implies that they need to invest in sustainable agricultural production systems, strengthening the preservation of natural areas and the biodiversity of ecosystems. This not only protects fauna and flora, but also maintains the stability of natural systems that are essential for agriculture. Furthermore, rural producers can also replace deforested areas with productive activities of profitable agricultural crops, generating employment and income.

It is in this context, for example, that coffee culture appears in the Cerrado of Minas Gerais, which has a great impact on socioeconomic and environmental benefits. The Cerrado is the most biodiverse Brazilian savanna-forming biome in the world. It occupies around 2 million km<sup>2</sup>, which represents 25% of the national territory (INPE, 2018). From the 1970s onwards, the Cerrado became a new and important Brazilian agricultural frontier. This transformation changed regional socioeconomic and environmental aspects and boosted agricultural productivity, making Brazil one of the world's main producers of

agricultural commodities (IBGE, 2018). According to IBGE (2022), of the 100 largest coffee producing municipalities in Brazil, 79 are in the State of Minas Gerais. These are predominantly in the Cerrado biome.

In this scenario, an evident contrast is observed when comparing socioeconomic and environmental indicators between a municipality where there is strong agricultural production activity, such as coffee, and a municipality that does not have this activity.

For example, according to the latest IBGE census (2022), the municipality of Altamira in the State of Pará, has a Municipal Human Development Index (IDHM) equal to 0.665. Altamira still presents 41.5% of its population with monthly income of up to half the minimum wage per person. In contrast, the municipality of Patrocínio in the State of Minas Gerais, has an HDI equal to 0.729, where around 32.1% of its population has a monthly income of up to half the minimum wage per person.

At the same time, it is observed that the presence of coffee cultivation activity can influence a relative decrease in deforestation in the Cerrado. According to deforestation data made available by PRODES (2023), there was a reduction in the deforestation area in the municipality of Patrocínio<sup>4</sup> since 2001, where it ranks 379th in the ranking of deforestation in the biome. In contrast, the municipality of Altamira<sup>5</sup> occupies position 1 in the ranking of deforestation in the Amazon biome.

Within this context, for the purposes of applicability of this methodology, it is understood that for the cultivation of coffee in Brazil,

---

<sup>4</sup> PRODES (2023): Patrocínio, MG  
<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>

<sup>5</sup> PRODES (2023): Altamira, PA  
<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/amazon/increments>

additionality is defined as: the maintenance of sustainable productive activities, jobs and the generation of local wealth that would not occur in the absence of project. Furthermore, coffee cultivation promotes the removal of GHG emissions, which would not occur in its absence.

Therefore, in the absence of a sustainable agricultural cultivation project, such as coffee, socioeconomic, environmental and food security co-benefits would not occur and would also put the vegetation at risk of illegal deforestation and/or the implementation of unsustainable activities.

## **7. PERMANENCE**

This methodology understands that the risk of permanence is inherent and a consequence of Public and Marketing Policies. The risk of permanence during project implementation is reduced due to market action and, consequently, monitoring of the area (Annex II).

Tero Carbon only issues “verified carbon credits and stock” certificates after verifying compliance with the project objective, that is, maintaining the crop stock, as well as maintaining at least one direct job.

That way, every carbon credit issued by this methodology has the guarantee that the carbon remains in the crop biomass during the commitment period.

## **8. SAFEGUARDS**

All projects certified and verified using this methodology must comply with the internationally recognized Safeguards described in this document.

## 9. TIME LIMITS

### **9.1. Project Duration Period**

The duration of the project is unlimited:

### **9.2. Project Start**

The project start date is given by the date of the First verified Carbon Stock estimate for the Project Area.

**NOTE:** A verified carbon estimate is understood to be one that meets the technical assumptions of this methodology, as well as the possibility of analyzing the history of soil use and change through remote sensing over the life of the project.

### **9.3. Project Closing**

The project closing date can be given at any time through formal communication to Tero Carbon.

### **9.4. Retroactivity**

This methodology considers that the “current” stock is the accounting of emissions removed from the atmosphere and incorporated into the crop's biomass.

### **9.5. Carbon Stock Issuance Date**

The issue date of the Verified Carbon Stock corresponds to the verification date ( $Data_{t_n}$ ) of the coffee crop biomass stock and can only occur in active projects.

### **9.6. Crediting Period for Generating Carbon Credits**

The Nth (n) Crediting Period, that is, the period of acquisition of the Verified Carbon Credit environmental asset corresponds to the period between the date of the last verification of the carbon stock ( $Date_{T_{n-1}}$ ) and the date of the current carbon stock check ( $Date_{T_n}$ ):

$$\textit{Period of the Nth Creditation} = \textit{Date}_{T_{n-1}} \textit{ to } \textit{Date}_{T_n}$$

where:

$Date_{T_0}$  = Date of first carbon stock verification;

$Date_{T_{n-1}}$  = Date of last carbon stock verification;

$Date_{T_n}$  = Date of current carbon stock verification;

$n = 1, 2, 3... T$  (verification number, which varies from 1 to T, depending on the project duration); and

Nth = First, Second, Third... Tenth.

**NOTE:** The results, in terms of sequestered GHG removals (tCO<sub>2</sub>e), observed during the crediting period will determine the amount of verified carbon credits that the project will generate.

## **10. PROJECT PARTICIPANTS**

Project participants must be reported on the Tero Platform and will be publicly mentioned in the Project Design Document (PDD), including:

<p><b>PROPONENT (OPERATOR)</b></p>	<p>It is the entity responsible for the environmental assets generated on the rural property:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● It can be an Individual (PF) or Legal Entity (PJ);</li> <li>● Must be the legal representative (owner) of the rural property;</li> <li>● If the rural property has more than one owner or the project is a “mosaic of multiple owners”:           <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Present the Free and Informed Prior Consent (TCPLI) from all those responsible for the property(ies);</li> <li>▪ The legal representative must be duly documented and notarized.</li> </ul> </li> <li>● Must be residing/installed in Brazil.</li> </ul>
<p><b>DEVELOPER</b></p>	<p>It is the entity responsible for developing the project, registering the project on the Tero Platform, coordinating the Technical Team(s), etc., being that:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● It can be an Individual (PF) or Legal Entity (PJ); and</li> <li>● There must be only 1 (one) Developer for each Project.</li> </ul>
<p><b>IMPLEMENTATOR</b></p>	<p>It is the entity responsible for project governance during the execution period. It is up to the implementer to execute and/or coordinate the activities provided for in the methodologies.</p>
<p><b>TECHNICAL TEAM</b></p>	<p>It is the entity responsible for collecting primary data (Carbon Stock Estimation) in the project area and/or socio-environmental activities, responsible for preparing the Prior Informed Consent or any other technical activities related to the project, given that:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● It can be an Individual (PF) or Legal Entity (PJ);</li> <li>● There may be more than one entity in each project; and</li> <li>● There may be a Technical Team in each primary data collection.</li> </ul>

## 11. RURAL PROPERTY

This methodology foresees a carbon project in one (1) or more (mosaic) rural properties.

### **11.1. Type**

The rural property accepted by this methodology can be of the type:

1. Private, conglomerate, associated rural property; or
2. Governmental and/or private Sustainable Use Conservation Unit (CU) that has the prerogative of alternative land use.

### **11.2. Geographic limits**

The rural property must be fully located within the Brazilian national territory.

### **11.3. Territorial extension limits**

The rural property must have a minimum size of 5 ha (five hectares or 50,000 m<sup>2</sup>) and a project area with a minimum size of 1 ha (one hectare or 10,000 m<sup>2</sup>) with coffee culture and its varieties.

### **11.4. Land Diligence**

The rural property must be in good standing, both at the time of Certification and during subsequent checks. To reduce the risk of fraud, for the Certification Process, in addition to the documentation that proves the ownership and regularization of the property, in accordance with current Laws, you will be asked to present a legal document with the opinion of the Land Due Diligence carried out on the property.

### **11.5. Owners' Consent or Free and Informed Prior Consent**

In the case of a private rural property, it is necessary to present a Term of Consent from the owners of the rural property, declaring the intention to use the property, of their own free will, to carry out the carbon project.

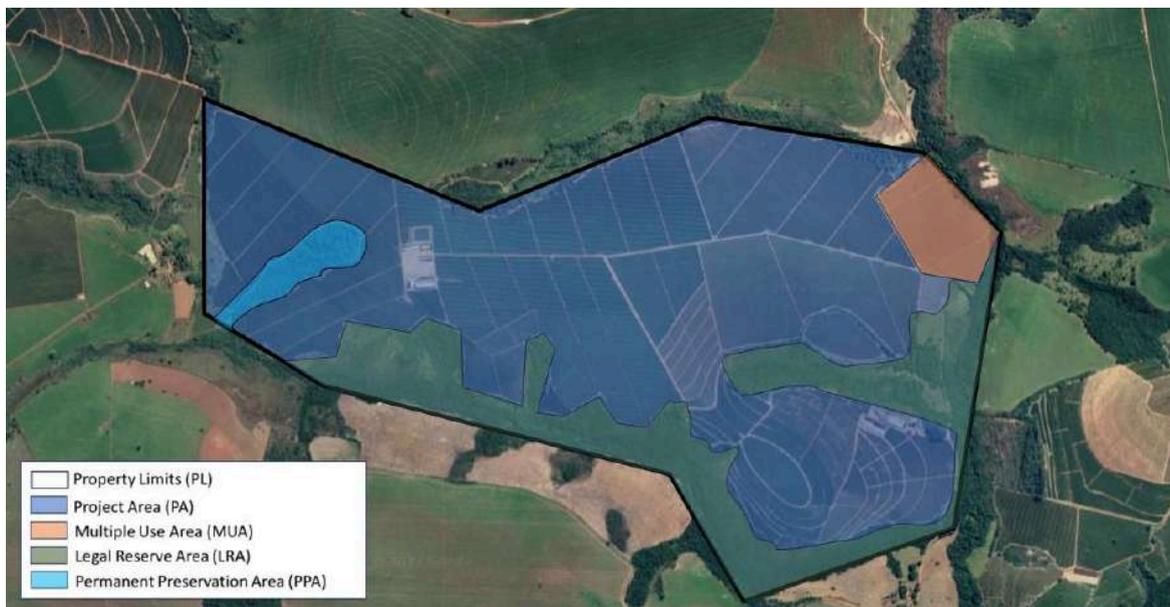
In the case of a Conservation Unit (CU), it will be necessary to prove that workshops have been held with local communities (if any), in addition to the presentation of a document that attests to free and informed prior consent to carry out the carbon project in the project area.

### **11.6. Macro zoning of Rural Property**

The rural property must have its macro zoning defined and duly registered in the Rural Environmental Registry (CAR). For Conservation Units (CU), the property limits have already been defined and registered with the competent bodies. The property must have its spatial limits defined as follows:

- Property Limits (PL);
- Permanent Preservation Area (PPA);
- Legal Reserve Area (LRA);
- Multiple Use Area (MUA);
- Project Area (PA):
  - It must be located within the property limits;
  - It can be a fraction or the entire property;
  - Must have coffee culture;
  - The minimum area of the AP must be 1 ha (one hectare).

The map of **Figure 1** shows an example of macrozoning of a rural property.



**Figure 1.** Example of macrozoning of a rural property. Image source: Google Earth.

### **11.7. Project Area (PA)**

The limits of the Project Area will be defined by the Project Developer and registered on the Tero Platform and may encompass all areas of coffee cultivation including: PPA; LRA and MUA.

**NOTE:** If the proponent chooses to use part or all of the MUA in the PA, pay attention to the “Zero Deforestation Commitment” assumed.

### **11.8. Zero Deforestation Commitment**

During the project period, the proponent must sign a “Zero Deforestation” commitment. Thus, any and all deforestation within the project area (PA) will “debit” the credits to be generated in future accreditations.

### **11.9. Sample Forest Inventory to Estimate Carbon Stock in the Project Area**

For the Certification process, it will be necessary to present the Sample Forest Inventory (SFI) spreadsheets to estimate the Carbon Stock in the Project Area (PA) in the standard established by Tero. The SFI has validity of 5 (five) years, requiring renewal after this period. This implies the need to present new data collected in any Verification Processes.

**NOTE:** Secondary data will only be accepted as a complement and will not be used to calculate the carbon stock.

## **12. BASELINE**

The baseline scenario of this methodology assumes that in the absence of coffee cultivation, food production, provision and maintenance of jobs, tax collection, maintenance of socioeconomic and environmental indicators, as well as the provision of ecosystem services will be reduced. This will inevitably lead to a lack of governance over the Cerrado area and other biomes, increasing the risk of deforestation and illegal invasions.

## **13. QUANTIFICATION**

This section presents how to quantify carbon stocks and credits from coffee crops and their varieties accepted by this methodology in order to meet international Measure, Report and Verify (MRV) standards.

### **13.1. Guidelines for Primary Data Collection and Carbon Stock Estimation in coffee cultivation and its varieties**

The estimated average stock ( $\bar{x}$ ), with its respective level of uncertainty (C.I.), must be calculated based on a coffee crop sampling system, application

of allometric equations and extrapolation of the average for the Project Area (PA). Therefore, the following points need to be observed when collecting primary data:

**For coffee culture within the PA limit:**

- Consider a sampling system where the coffee tree is a sampling unit (between 15 and 30);
- All trees must have their geographic coordinates recorded using GPS signal receiving devices:
  - When using a GPS navigation device, the recommended coordinate recording method is:
    - Keep the GPS signal receiving device parked at the specific point for a period of approximately 1 (one) minute; and
    - Use the “point average” tool for a period between 2 (two) and 5 (five) minutes.
- Random or systematic sampling distribution;
- Measurement of diameters or circumferences at the height of the base (DAB or CAB) of coffee trees;
- Application of the biomass/carbon equation to estimate the individual stock (of each tree) and per unit area (hectare):
  - The individual biomass/carbon of coffee trees should be estimated, preferably, using site-specific equations;
  - If the individual biomass/carbon of trees is estimated based on the reference equation (for example, that of the Cerrado of Minas Gerais (Rezende et al., 2023), the estimate must be corrected by the correction factor, which is the total height.
- Estimate on average ( $\bar{x}$ ) and the level of uncertainty of the estimate (C.I.), based on the statistical parameters described in Annex I;
- If the Project Area requires to be stratified, follow the stratification procedure available in Annex I.

**For forests and forest plantations within the PA limit:**

- Consider a sampling system of installing sampling units with a fixed area (plots);
- All plots must have their geographic coordinates recorded using GPS signal receiving devices:
  - The points to be recorded can be the initial, central or final point of each sample;
  - However, to submit this data, it is recommended to generate polygons of the plots;
  - When using a GPS navigation device, the recommended coordinate recording method is:
    - Keep the GPS signal receiving device parked at the specific point for a period of approximately 1 (one) minute; and
    - Use the “point average” tool for a period between 2 (two) and 5 (five) minutes.
- Random, systematic sample distribution or combination through conglomerates (transects or cross type);
- Measurement of diameters at 1.3 m above the ground (DBH) of all living and dead trees found within the plot:
  - The minimum measurement DBH is 10 cm;
  - Palm trees are not a mandatory class:
    - They can be included, but the allometric equation must be specific.
- Application of the biomass/carbon equation to estimate the individual stock (of each tree) and per unit area (hectare):
  - The individual biomass/carbon of trees must be estimated, preferably, using site-specific equations;
  - If individual tree biomass/carbon is estimated based on the

reference equation, the estimate must be corrected by the correction factor.

- Estimate on average ( $\bar{x}$ ) and the level of uncertainty of the estimate (C.I.), based on the statistical parameters described in Annex I;
- If the Project Area requires to be stratified, follow the stratification procedure available in Annex I.

### **13.2. Quantitative Sample Inventory**

The guidelines for the quantitative Sample Forest Inventory (SFI) for collecting data beyond coffee cultivation used to quantify carbon stocks are:

- Minimum data to be considered: live trees, with DBH > 10 cm;
- Secondary data will only be accepted as a complement;
- Implementation of a sampling system, using fixed area sampling units (see Annex I);
- Measurement of dendrometric variables, such as: diameter or circumference at 1.3 m from the ground (DBH or CAP);
- Heights (total and/or shaft) are optional.
- Estimation of biomass and carbon stocks:
  - AGB = mandatory;
  - BGB = optional;
  - Btot = optional.

AGB = Above Ground Biomass
BGB = Below Ground Biomass
(AGB + BGB) = Total tree biomass (Btot)

### **13.3. Calculation of Carbon Stocks of coffee trees and their varieties Without Statistically Defined Strata**

It is necessary, for each rural property in the project, to calculate the Carbon Stock of Coffee Culture. For cases which statistically defined strata, the guidelines are as follows:

- Establish the project crop biomass components:
  - Above ground (AGB);
  - Below ground or roots (BGB);
  - Total (Terms and Conditions + BGB).
- Estimate the “net” stock, that is, subtract the ‘individuals with stump, neckline or skeleton’ (individuals that received silvicultural treatments):

$$Liquid\ Stock_{AGB} = \sum AGB_{lives} - \sum AGB_{with\ treatment}$$

- Based on statistical tools, calculate the average stock per unit area (hectare) with its respective level of uncertainty (confidence interval - C.I.);
- Multiply the minimum estimate (mean - confidence interval) of the stock and the Project Area (PA):

$$Carbon\ Credit = (\bar{x}_{CO_2} - C.I.) \times PA$$

where:

$\bar{x}_{CO_2}$  = Estimated average carbon dioxide equivalent stock, per hectare, in tons;

C.I. = Confidence interval, calculated at a probability level of 95%;

PA = Project Area, in hectares.

**NOTE:** The same must occur for the forests within the property, being necessary to replace AGB with treatment with AGB from dead individuals.

### **13.4. Calculation of Carbon Stocks of coffee cultivation and its varieties With Statistically Defined Strata**

In a similar way to the previous item, in the case with statistically defined strata, the guidelines are as follows:

- Establish the biomass components of the project's coffee individuals:
  - Above ground (AGB);
  - Below ground or roots (BGB);
  - Total (Terms and Conditions + BGB).
- Estimate the “net” stock, that is, subtract the ‘individuals with stump, neckline or skeleton’ (individuals that received silvicultural treatments):

$$Liquid\ Stock_{AGB} = \sum AGB_{lives} - \sum AGB_{with\ treatment}$$

- Based on statistical tools, calculate the average stock, per stratum, per unit area (hectare) with its respective level of uncertainty (confidence interval - C.I.);
- Multiply the minimum estimate (mean - confidence interval) of the stock of each stratum by the Area of each Project stratum (AP):

$$Carbon\ Credit = (\bar{x}_{CO2i} - C.I.) \times PA_i + (\bar{x}_{CO2i+1} - C.I.) \times PA_{i+1}$$

where:

$\bar{x}_{CO2i}$  = Estimated average of the stratum's equivalent carbon dioxide stock “i”, per hectare, in tons;

C.I. = Confidence interval, calculated at a probability level of 95%;

PA<sub>i</sub> = Project Area referring to the stratum “i”, in hectares.

### **13.5. Calculation of Carbon Stock Uncertainty**

The uncertainty of the estimated mean is given by the variation of the Confidence Interval at a specific probability level, in the case of this methodology, we consider a valid probability level of 95% (ninety-five percent). The calculation method is available in Table 2, in ANNEX I of this methodology.

From basic statistics (WEISS & HASSETT, 1982), normally distributed data are:

- I. 68.27% within plus or minus 1 standard deviation of the mean;
- II. 95.45% between plus or minus 2 deviations; and
- III. 99.73% between plus or minus 3 deviations.

The exact multiplier of the standard deviation of the mean for the rounded 95 or 99% levels can be found by integrating the probabilistic density function to these points under the standard normal curve.

Depending on the sampling intensity, the value is “t” (small samples,  $n < 30$ ) or z (large samples,  $n > 30$ ). In the IPCC guide, the multiplier is 2 for the 95% level or 3 for the 99% level, regardless of sampling intensity.

For the purposes of reporting estimates of carbon stocks from coffee cultivation, forests and/or forest plantations, uncertainty can be objectively characterized by the Confidence Interval, estimated with a probability of 95%, calculated based on the sampling carried out.<sup>6</sup>

**NOTE:** Using only remote sensing data does not produce uncertainty estimates.

---

<sup>6</sup> Ideally, the level of uncertainty in the mean is below 10%. The better the sampling, the smaller the error and the greater the amount of carbon credits to be certified.

Therefore, Remote Sensing must be combined with data from sample inventories (or censuses). The use of spectral information (satellite image data) can be used to improve the extrapolation of the estimated average, improving (reducing the level of uncertainty) the estimate of stocks.

### **13.6. Calculation of Carbon Credit Generated Between Verification Periods**

The generation of carbon credits<sup>3</sup> is calculated by the increase in carbon stock in the Project Area (PA) between verification periods:

$$Nth \text{ Verification Carbon Credits} = Liquid \text{ Stock}_{AGB}(tn) - Liquid \text{ Stock}_{AGB}(tn-1)$$

where:

*Liquid Stock*<sub>AGB</sub>(T0) = Carbon stock from the first verification;

*Liquid Stock*<sub>AGB</sub>(Tn-1) = Carbon stock from last verification;

*Liquid Stock*<sub>AGB</sub>(Tn) = Current verified carbon verification;

n = 1, 2, 3... T (verification number, which varies from 1 to T, depending on the project duration); and

Nth = First, Second, Third... Tenth.

NOTE 1: The carbon stock of coffee cultivation can fluctuate over time, the increase is not linear.

NOTE 2: The dynamics can occur with silvicultural treatments with the aim of increasing the productivity of coffee cultivation, such as: harvesting, cleavage and skeletonization”.

NOTE 3: The natural dynamics of tree mortality can impact stocks, given the relationship between this dynamic, in which large trees leave the measurement system and others enter (Higuchi, 2015).

**NOTE:** The results, in terms of sequestered GHG removals (tCO<sub>2</sub>e), observed during the crediting period will determine the amount of verified carbon credits that the project will generate.

### **Assumptions Direct to the Generation of Verified Carbon Credits**

In order for verified carbon credits to be generated, arising from the sequestration (increase) of the carbon stock in the Project Area (PA), the following assumptions will need to be met:

- I. It is necessary to have two, or more, carbon stocks verified, at different times, following the criteria of this methodology;
- II. The most recent carbon stock must be greater than the maximum carbon stock ever recorded in the Project Area (PA), that is, in the case of natural fluctuations in the carbon stock, it will always be considered the largest carbon stock prior to  $T_n$ .

## **14. ADDITIONAL BENEFITS (CO-BENEFITS)**

The additional carbon benefits, or co-benefits, for projects using this methodology are:

### **14.1. Conservation and preservation of biome biodiversity**

An additional benefit inherent to the carbon project of this methodology is the guarantee of maintenance of biodiversity evolutionary cycles.

**NOTE:** The project proponent is allowed to demonstrate in detail the additional benefits specific to their area through data collected in Fauna and Flora Diagnostics, but these are not mandatory. If details are not presented, the biodiversity considered as an additional benefit is that present in the literature.

### **Qualitative Forest Inventory on the Property or CU (Optional)**

The guidelines for the Qualitative Forest Inventory for collecting primary data used in presenting co-benefits are:

- Minimum data to be considered: live trees and palm trees, with DBH > 10 cm;
- Secondary data will only be accepted as a complement;
- Implementation of a sampling system, using fixed area sampling units (see Annex I);
- Botanical sampling, with the collection of exsiccates of the sampled tree species (samples can be deposited in herbaria).

### **14.2. Sustainable development**

According to the United Nations (UN), sustainable development<sup>7</sup> is defined as “development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”

Sustainable development requires joint efforts to build an inclusive, sustainable and resilient future for people and the planet. For sustainable development to be achieved, it is crucial to harmonize three central elements: economic growth, social inclusion and environmental protection. These elements are interconnected and are all crucial to the well-being of individuals and societies.

The eradication of poverty in all its forms and dimensions is an indispensable requirement for sustainable development. To this end, there must be the promotion of sustainable, inclusive and equitable economic growth, creating greater opportunities for all, reducing inequalities, raising basic standards of living. In addition, promote social development and

---

7

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda-retired/#:~:text=%E2%97%8F,future%20for%20people%20and%20planet.>

integrated and sustainable management of coffee cultivation and natural resources and ecosystems.

Of the 17 (seventeen) Sustainable Development Goals (SDG), this methodology highlights:

1. Eradication of poverty (#01):
  - a. Description: end poverty in all its forms;
  - b. Criterion: that the proponent(s) can live on more than R\$5.93 (US\$1.25) per day;
  - c. Indicator: job creation and/or increase in proven revenue, through the commercialization of environmental assets generated (stock and carbon credit).
2. Zero hunger and sustainable agriculture (#02):
  - a. Description: achieve food security and improved nutrition and promote sustainable agriculture;
  - b. Criterion: that the proponent(s) can, through project activities, have access to the best practices of agricultural cultivation systems (low impact and carbon), if they so wish;
  - c. Indicator #01: registration and licensing of the activity with the current environmental agency;
  - d. Indicator #02: increase in productivity per unit area.
3. Quality education (#04)
  - a. Description: provide equal access to basic and vocational training, eliminate gender and wealth disparities and achieve universal access to quality higher education.
  - b. Criterion: that the proponent(s) can, through project activities, encourage the training of their collaborators/employees;

- c. Indicator #01: offering courses, lectures, training in partnerships with public and private educational institutions;
- 4. Gender equality (#05)
  - a. Description: is a fundamental human right, but a necessary foundation for a peaceful, prosperous and sustainable world because **it is** fundamental to all areas of a healthy society, from reducing poverty to promoting the health, education, protection and well-being of girls and boys, women and men.
  - b. Criterion: that the proponent(s) can, through project activities, encourage gender equality among their collaborators/employees;
  - c. Indicator #01: offers opportunities for gender equality on property.
- 5. Decent employment and economic growth (#08)
  - a. Description: promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment, and decent work for all;
  - b. Criterion: achieve higher levels of economic productivity through diversification, technological upgrading and innovation, including through a focus on high value-added and labor-intensive sectors;
  - c. Indicator: proven increase in productivity per unit area:
    - i. Bonus indicator: For projects in private family farming areas, the generation of at least one (1) formal job;
    - ii. Bonus indicator #02: For projects in private areas that are not characterized as family farming, the increase of at least one (1) more formal job, without increasing the productive area.

6. Reducing inequalities (#10)
7. Sustainable cities and communities (#11)
  - a. Description: make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable;
  - b. Criterion: guarantee everyone's access to adequate, safe and affordable housing and basic services (such as: basic sanitation);
  - c. Indicator #01: proven improvements to housing/infrastructure of the rural property targeted by the project;
  - d. Indicator #02: installation and/or improvements to the basic services system in the rural property targeted by the project (if applicable), such as: basic sanitation and energy efficiency.
8. Combating climate change (#13):
  - a. Description: take measures to combat climate change and its impacts;
  - b. Criterion: avoid the emission of greenhouse gases into the atmosphere, through deforestation and/or forest degradation;
  - c. Indicator: maintenance of forest area in the project area and/or increase in stock through enrichment of natural/native forest or reforestation of degraded areas.

## 15. GOVERNANCE

The project must present how the Governance of the rural property will be carried out, aiming to carry out the activities foreseen in this methodology. Physical identification is indicated, on the property, at the access point, that that area is destined for a carbon project.

Minimum interventions are also suggested:

- Installation of infrastructure as headquarters/support base for project activities;
- Installation of fences and signs around the perimeter of the property and/or Project Area;
- Surveillance system implementation *in place*, with periodic rounds and inspections;
- Any other activity that does not involve degradation and/or deforestation of more than 0.5 hectares.

**NOTE:** Activities involving forest degradation, through selective logging, in the Project Area will not be permitted during the crediting period.

## **ANNEX I - THE METHODOLOGICAL BASIS FOR ESTIMATING BIOMASS AND CARBON STOCKS IN COFFEE CULTURE AND ITS VARIETIES**

Plant biomass is one of the most discussed topics in recent years, mainly related to its role in global climate change. According to the IPCC, forests, agriculture and other systems, which can absorb and store carbon, are called “sinks”. Biomass or phytomass is defined as the quantity, expressed in units of mass, of the content of plant material per unit area in a forest or plantation (Araújo et al., 1999). Therefore, estimates of plant biomass are essential information in questions linked to areas of climate change, to estimate the carbon budget of the biosphere-atmosphere interaction (Higuchi, 2001). Using water and carbon content, for example, the biomass of crops and forests can be transformed into vegetation carbon, which is the main variable considered in projects linked to global climate change. However, little is known about the importance of biomass in agricultural crops, especially coffee and its role in ecosystem services.

Total biomass (biomass above and below ground) can be estimated by direct and indirect methods. The direct method is destructive, consisting of cutting and weighing plant material in an established area. However, the choice of the area to be cut and weighed is, in many cases, biased and simple extrapolation leads to inaccurate results. Furthermore, this method is costly and destroys the plant, which makes it impossible to determine the biomass of each plant using the direct method. The indirect method uses mathematical models. In other words, the resources of regression analysis for the development of statistical models to estimate the biomass of standing plants must be used to overcome this problem (Higuchi and Carvalho, 1994).

For carbon projects, the regression equations are called allometric equations. *Halometry* comes from Greek, made up of the words *sallos* (other) and *subway* (measure). It is the study of variations in the forms and processes of organisms and has two meanings: (i) the growth of a part of the organism in relation to the growth of the entire organism or part of it and (ii) the study of

the consequences of size on the forms and processes. For forestry and agronomic sciences, it is the study of biomass (whole) as a function of parts of the whole (diameter, height, canopy) (Niklas, 1994).

The models used to describe the relationship between biomass and the tree's independent variables originate from models for wood volume (Santos, 1996). These models have produced satisfactory results, with a coefficient of determination ( $r^2$ ) always greater than 0.95. The most used independent variables are diameter at breast height (DBH) and total height. The models used for trees derive from the model proposed by West et al. (1999):

$$M = a * D^b$$

where:

M = dry mass above ground;

D = Diameter at a height of 1.30 m from the ground;

a = scale coefficient,

b = scale exponent.

This model is based on the theory of resource distribution through the set of hierarchical branches of vascular plants. The assumption of this model is that size-related variations can be characterized by this model with a universal exponent, which are simple multiples of  $\frac{1}{4}$ . Subsequent studies show that this model is valid for different plant typologies, but without the universal exponent (Zianis and Mencuccini, 2004; Pilli et al., 2006). The main argument in favor of this model is the replacement of the destructive method.

The main care when using the indirect method is non-sampling and sampling (or uncertainty). Reducing non-sampling errors depends on the care taken during data collection. Due to this, when following the procedures described in this protocol, the chances of non-sampling errors occurring tend to decrease drastically. It's worth remembering that no amount of sophisticated analysis can compensate for fundamentally flawed data.

Sampling errors arise from measuring only part of the population. Uncertainty is the lack of knowledge of the true value of a variable. For carbon

projects, the size of the uncertainty associated with the estimated average is as important as the average itself. This can be expressed through a probabilistic density function characterizing the range and similarity of possible values. Uncertainty depends on the quality and quantity of data used, as well as the collection and inference processes.

Obtaining appropriate uncertainties can be supported by two basic theorems of parametric statistics: the Law of Large Numbers and the Central Limit Theorem. The Law of Large Numbers is a fundamental concept in probability, applied in several sciences, which states:

*"If an event of probability  $p$  is observed repeatedly on independent occasions, the proportion of the observed frequency of this event to the total number of repetitions converges toward  $p$  as the number of repetitions becomes arbitrarily large."*

In a simplified way, it says that the greater the number of samples, the more it will tend to the expected value. That is, if a "large sample" is taken at random from a population, the sample mean tends to be similar to the population sample. A sample can be considered large when  $n \geq 30$ .

The Central Limit Theorem states that:

*"If a random variable  $X$  can be represented by the sum of any  $n$  independent random variables satisfying certain general conditions, then this sum, for  $n$  large enough, will have an approximately normal distribution."*

That is, the sample means of any population will be distributed approximately as a normal distribution around the population mean. With a normal distribution, it can be said that the data are: (i) 68.27% within plus or minus 1 standard deviation of the mean; (ii) 95.45% between plus or minus 2

deviations and (iii) 99.73% between plus or minus 3 deviations. Furthermore, regardless of the form that the random variable takes, it is possible to calculate the probabilities using the z-table, as long as it is a large sample. It is worth noting that the greater the number of samples collected, the closer the sample mean will be to the population mean and the smaller the standard deviation will be.

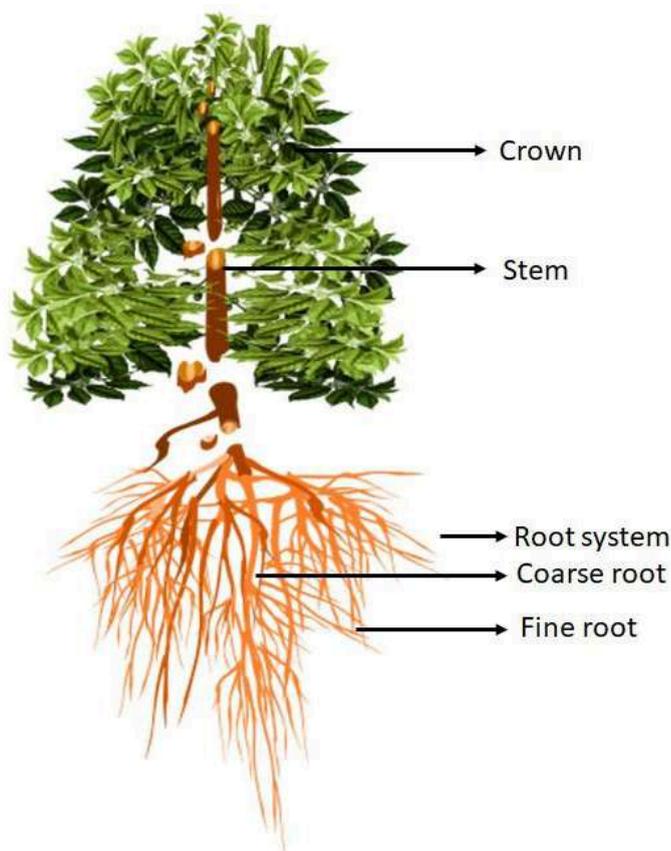
## **1. Estimation of carbon stock above and below ground**

Quantifying the biomass of the individual/coffee plant can be carried out using the direct or indirect method. The direct method involves directly weighing the coffee plant on the scale, while the indirect method includes the use of allometric equations to estimate biomass. Despite being the most accurate, the direct method is a destructive method, which compromises the farm's productivity. Therefore, it is necessary to improve indirect methods to reach a reliable estimate (SILVA, 2007).

To do this, the direct method is applied to part of the population, site or region, and based on real values, an allometric equation is adjusted to estimate biomass and carbon in the population of interest. The allometric equation can be specific to each farm or applied to a specific site, micro or macro region of the biomes:

## **2. Direct method**

It consists of felling and weighing trees at points of fixed area, later extrapolated to unit area. To do this, it is necessary to cut and fell the tree and weigh it on a scale. Due to the dimensions of a tree (coffee plant) and the operational scale of a scale, the tree is generally divided into specific compartments: crown, trunk and root system (Figure 1).



**Figure 2:** Scheme of specific compartments of a coffee tree: crown, trunk and root system

To develop a local equation to estimate the CO<sub>2</sub> stock in coffee cultivation, the following steps must be followed:

1. Randomly select between 15 and 30 trees (coffee plants);
2. In these trees, collect the crown diameters in two directions, north-south and east-west with a tape measure;
3. Destructively fell the trees with a chainsaw, leaving a stump approximately 10 cm high from ground level.
4. Measure circumference, crown height, total height and commercial height with a measuring tape;
5. Separate the compartments of each tree (trunk, thin and thick

branches, bark, seeds, leaves, flowers, fruits, thick roots (neck diameter > 2 cm) and thin roots (neck diameter ≤ 2 cm). To collect the roots , open trenches around the trees at a distance of 20 cm. Then, wash them until they are detached from the soil. After separating the roots, the stump must be weighed and added to the weight of the trunk.

6. For fresh biomass, weigh each compartment of the tree individually (use stevedoring scales for heavier materials and analytical scales for lighter ones);
7. Divide and weigh samples of the trunk and, if present, thick branches and thick roots into: base (0%), middle (50%) and top (100%);
8. To estimate dry biomass, separate small samples from each compartment and store in paper bags;
9. Place these samples in a forced air circulation oven at 65 °C until they reach constant weight;
10. Then, weigh the samples on an analytical balance;
11. Convert the mass obtained into tons per hectare (ton ha<sup>-1</sup>);
12. Develop an allometric equation and present the coefficients;
13. To obtain the carbon content, the samples from each compartment, used to estimate dry biomass, must be crushed in a mill and subsequently subjected to chemical C analysis.

**NOTE:** The main results of the direct method are the adjustment of allometric equations, through regression analysis.

### **3. Indirect**

In the indirect method, estimates are produced from equations and allometric models, associated with data from already determined coffee crop inventories, as well as forest inventories (forest sampling systems).

Based on a sampling of coffee trees, individuals are measured and their estimates calculated using an allometric equation. From the sum of the stock of each sampling unit, the average per unit area (hectare, for example) is extrapolated.

In this method, the stock average is estimated with a statistical level of uncertainty, calculated using the average Confidence Interval, based on a probability level. More details below.

#### **4. Allometric Equations**

Allometry is the study of variations in the forms and processes of organisms and has two meanings (NIKLAS, 1994; GRAHAM, 2003):

- The development of a part of the organism in relation to the development of the entire organism or part thereof; and
- The study of the consequences of size on forms and processes.

It is also the study of the whole (biomass and/or carbon) in function of parts of the whole (Diameter at Breast Height – DBH, commercial height or total height), that is, adjustment of mathematical equations (functions or models).

Mathematical models can be linear or nonlinear, single or multiple input (MARQUET et al. 2005). The model input refers to the number of independent variables (X) used to predict the dependent variable, Y:

- Simple linear models have a graphical representation with a straight line (increasing or not);
- Nonlinear models are power-based equations and their relationships are characterized by a scale of invariance (self-similarity) and universality.

Even with so many distinctions, any equation must present, at least, a normalization constant (proportionality), represented by “a”; or by the Greek letter “ $\beta_0$ ”, and the exponent, represented by the letter “b” or “ $\beta_n$ ” (SILESHI, 2014).

Nonlinear models are typical functions of allometric equations, especially for estimating biomass in plants (WEST et al. 1999; SILESHI, 2014). However, in the case of plants (trees), the universal exponent can assume different values according to their respective stages of development (PILLI et al. 2006).

### **5. Biomass and Carbon Allometry in the Coffee Tree**

In the absence of a 'local/site-specific' equation, Tero recommends the Rezende equation (2023), developed for Fazenda Santa Bárbara, located in Monte Carmelo - Minas Gerais for coffee trees measuring 4 (four) and 6 ( six years. It is recommended, if applicable, to add new ages if any.

The biomass categories collected were: i) Above ground (or aerial biomass): all living biomass above ground, including trunk, stump, thin and thick branches, bark, seeds, leaves, flowers and fruits; ii) Below ground: all biomass of living fine and thick roots. The plant mass was compartmentalized into:

- I. Stem;
- II. Thick branches (neck diameter  $\geq 10$  cm);
- III. Thin branches (neck diameter  $< 10$  cm);
- IV. Thick roots (neck diameter  $> 2$  cm);
- V. Thin roots (neck diameter  $\leq 2$  cm);
- VI. Sheets,
- VII. Flowers and fruits.

The coffee trees (trees) were collected destructively and weighed on scales. For above-ground biomass, the plants were collected using a chainsaw, leaving a stump approximately 10 cm high from ground level. After separating the roots, this stump was weighed and added to the weight of the trunk. To

collect the roots (thin and thick), trenches were opened around each tree. Excavation took place approximately 20-30 cm away from the trees. To protect the roots, in addition to this distance, they were washed, where the soil was removed with the help of water hoses. Before the trees were felled, crown diameters were collected in two directions, north-south and east-west.

Each selected tree had its compartments separated and weighed to obtain fresh biomass. To estimate dried biomass, small samples from each compartment were stored in paper bags and placed in a forced air circulation oven at 65 °C until constant weight was obtained. Subsequently, they were weighed on an analytical balance to obtain the dry mass. The mass obtained was converted into tons per hectare (ton ha<sup>-1</sup>).

All dendrometric variables, except crown diameter, were obtained after tree uprooting. The variables relating to height and diameter were obtained with the aid of a tape measure. The variables were collected as follows:

- I. Crown height: total height of the plant minus the height of the stem, that is, the length of the crown.
- II. Total height (ht): distance from the base of the tree to its top.
- III. Commercial height (hc): the part of the bole with commercial value, that is, the usable portion of the trunk.
- IV. Crown diameters: two diameters were collected (north-south and east-west directions);
- V. Number of nodes: Manual count of all nodes.

Based on the data collected, a single-entry allometric equation was developed, where only the independent variable DAB (Base diameter at a height of up to 10.0 cm from the ground) was used. The equation developed for the study area, based on the DAB variable, produced coefficients of determination ( $r^2$  in %) equal to 85% and the standard error of the estimate (Syx in %) equal to 13%. Stocks were estimated based on the following adjusted allometric equation:

$$B_{tot} = 2,276 \times DAB^{0,765}$$

where:

B<sub>tot</sub> = total crop biomass, in kg;

DAB = Base diameter at a height of up to 10.0 cm from the ground, in cm;

## 6. Determination of C content

To obtain the amount of carbon and equivalent carbon stored in coffee trees, conversion factors can be used, already developed for plantations in the region of Monte Carmelo, Minas Gerais at two different ages (**Table 1**).

**Table 1:** Determination of water and carbon content in 4 and 6 year old coffee trees from Fazenda Santa Bárbara, municipality of Monte Carmelo, Minas Gerais, Brazil

Age	Water content	Weighted carbon content
4	59.13	42.79
6	55.07	44.73

**IMPORTANT NOTE #01:** Projects may present “site-specific” biomass equation(s). Adjusted based on local data. The equation(s) must follow the “Measurable, Reportable and Verifiable - MRV” method.

**IMPORTANT NOTE #02:** It is recommended to use the independent variables Chest Circumference at Height (CAP) and total height.

## **7. Sampling System**

There are two basic ways to acquire the desired information about the crop: through total tree measurement (Census) or through sampling. However, coffee cultivation and forests generally occupy large areas, which makes the census unfeasible (both in terms of time and operational costs), making sampling the best option.

Sampling is given by crop or forest inventories (IF). Inventories are activities to describe the quantity and quality of trees in a crop or a forest and any and all characteristics of the area where these trees are growing (HUSCH, 1971; HUSCH et al. 1972; LOETSCH et al. 1973; PÉLLICO NETTO and BRENA, 1997; LIMA, 2010). The use of sampling allows inferences to be made about it (HUSCH, 1971). This is such an established and consolidated concept that Loetsch et al. (1973) mentioned that: the use of sampling units (plots) is very old.

When it comes to sampling inventories, sampling errors are inevitable and, consequently, the levels of uncertainty. However, it is essential that measures are taken so that this error is controllable. The most common way to present the error is through the “standard error of the mean” or the “confidence interval” (HUSCH, 1971).

Depending on the crop, forest and area to be inventoried, it may be necessary to stratify the crop, using two methods: according to the “variance” in the age of the plots or according to the “forest class”. According to Péllico Netto and Brena (1997), the main objective in stratifying a population is to reduce the variance within the strata and sampling costs.

## **8. Variable of Interest**

The variables of interest can be divided into: dependent and independent. The dependent variables are characterized by being difficult to measure and need to be estimated using others. Hence the name “dependent”. Independent variables are those that are easy to obtain. They can be measured

and/or verified using tools and equipment with a high level of quality. They are used to estimate, through allometric equations, the dependent variables (**Table 2**).

**Table 2.** List of variables considered to determine the carbon stock in a tropical forest area in the Amazon.

Variable name	Variable type	Unit of measurement	Description
Culture area	Independent	Hectares (ha)	Every estimate of carbon stock in coffee cultivation is given per unit area, most commonly in hectares (ha), with one (1) hectare equivalent to ten thousand square meters (10,000 m <sup>2</sup> )
Spectral reflectance	Independent	Nanometer (nm)	The extrapolation of estimated averages per unit area, for the entire crop or forest, is carried out through remote sensing and geoprocessing of aerial images
Spatial resolution	Independent	Meter(m)	Refers to the size of a pixel on the ground. It is the sensor's ability to see objects in relation to their size. A satellite image with a resolution of 30 cm can capture details on the ground greater than or equal to 30 cm by 30 cm. Based on this definition, images with a spatial resolution of 30 cm capture more surface detail than images with a resolution of 1 m. Therefore, the higher the resolution, the greater the level of detail of the image and object.
Circumference or Diameter at 1.3m from the ground	Independent	Centimeter (cm)	Measurement of the diameter of the tree trunk in a standard position (1.3 m from the ground), which can be measured at higher heights, as long as there are physical impediments in the

<b>Variable name</b>	<b>Variable type</b>	<b>Unit of measurement</b>	<b>Description</b>
(CAP or BHD)			original position.
Total height (Ht) and commercial height (Hc)	Independent	Meter (m)	Measurement of the total height (Ht) or trunk (Hf) of the tree. Ht is height to the highest part of the canopy. Hc is the height until the start of the cup.
Dominant Height (Hdom)	Dependent	Meter (m)	Average of the total heights of the 10% of the dominant individuals on the site, in the case of forests
Correction factor (fc) of the biomass/ carbon equation	Dependent	-	Relationship between the Hdom of the sampled site and the Hdom of the site where the equation was developed
Fresh aerial biomass (BFabg)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass of the aerial part of the tree (trunk, branches, leaves, flowers, fruits and seeds), considering the water in the structure
Fresh biomass below ground (BFblg)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass of the tree's roots, considering the water in the structure
Total fresh biomass (BFtot)	Dependent	Metric ton (t)	Total weight or mass of the tree (aerial + roots), considering the water in the structure
Total culture biomass (Btot)	Dependent	Metric ton (t)	Total weight or mass of the tree (aerial + roots), considering the water in the structure

<b>Variable name</b>	<b>Variable type</b>	<b>Unit of measurement</b>	<b>Description</b>
Aerial dry biomass (AGB)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass of the aerial part of the tree (trunk, branches, leaves, flowers, fruits and seeds), discounting the water in the structure
Dry biomass below ground (BGB)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass of the tree's roots, discounting the water in the structure
Total dry biomass (BStot)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or total mass of the tree (aerial + roots), discounting the water in the structure
Air carbon (Cabg)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass of carbon stored in the aerial part of the tree (trunk, branches, leaves, flowers, fruits and seeds)
Belowground carbon (Cblg)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass of carbon stored in the tree's roots
Carbon total (Ctot)	Dependent	Metric ton (t)	Total weight or mass of carbon stored in the tree (aerial + roots)
Air equivalent carbon dioxide (CO <sub>2</sub> e.abg)	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass, in carbon dioxide equivalent, stored in the aerial part of the tree
Carbon dioxide equivalent	Dependent	Metric ton (t)	Weight or mass, in carbon dioxide equivalent, stored in the roots of the tree

Variable name	Variable type	Unit of measurement	Description
below the soil (CO <sub>2</sub> e.blg)			
Total equivalent carbon dioxide (CO <sub>2</sub> e.all)	Dependent	Metric ton (t)	Total weight or mass, in carbon dioxide equivalent, stored in the tree (aerial + roots)

## 9. Statistics

To quantify biomass/carbon stocks from coffee crops or forests, statistical inference tools are needed. Statistics is the field of mathematics that relates facts and numbers in which there is a set of methods that allow us to collect data and analyze it, thus making it possible to make some interpretation of it (**Table 3**).

**Table 3.** Statistical parameters, their descriptions and mathematical formulas.

Parameter	Description	Formula
Average	Sum of all observations divided by the total number of observations	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$
Variance (s <sup>2</sup> )	Sum of quadratic deviations	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$
Standard Deviation(s)	Measure of dispersion of observed values in relation to the average	$s = \pm\sqrt{s^2}$
Standard Error	It is the measure of variation of a sample mean	$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}}$

Parameter	Description	Formula
	in relation to the population mean	
Confidence Interval	Variation of the mean depending on population variability at a specific confidence level, commonly 95%	$\bar{x} \pm z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Corrected Sum of Squares of the dependent variable "Y"	Measure of variation in the mean of the variable	$CQC_{and} = \sum_{i=1}^n and_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n and_i\right)^2}{n}$
Corrected Sum of Squares of the independent variable "X"	Measure of variation in the mean of the variable	$SQC_x = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n}$
Sum of Corrected Products	It is the product between the independent and dependent variable, used to estimate the Correlation Coefficient	$SPC_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i and_i - \frac{\left(\sum x_i\right) \times \left(\sum and_i\right)}{n}$
Correlation coefficient	Measures the degree of correlation between the independent variables and the dependent one	$r = \frac{SPC_{xy}}{\sqrt{SQC_x SQC_{and}}}$

## 10. Stratification

The main objective in stratifying a population is to reduce variance within strata, increase estimation precision, and optimize sampling. The stratification of the coffee crop or the forest can be carried out using two methods: by the "variance" of the "age" data or according to the "forest class":

- By variance:
  - It depends on preliminary sampling;
  - Low Cost/Benefit Ratio; and
  - May generate biased information/estimates.
- By age or forest class:
  - It depends on remote sensing and geoprocessing of satellite images from different sensors (RGB and Near Infrared, for example);
  - Optimizes sampling through prior planning; and
  - Increases estimation reliability and reduces uncertainty.

However, even if the remote characterization of the coffee crop or the forest shows evidence of different ages and forest classes, it is necessary to apply a statistical test to prove the difference. If the test does not identify a significant statistical difference, stratification of sampling and inference statistics becomes unnecessary. Of the tests, the most applied in these cases is the Analysis of Variance (ANOVA), followed by a Tukey post hoc test.

## 11. Analysis of Variance (ANOVA)

ANOVA is a mean comparison test. Applied to understand the nature of natural variation from different sources or test hypotheses. In this case, we have:

Hypothesis:

- H0: All strata have statistically equal stock averages;
- H1: Not all strata have statistically equal stock averages.

To test this hypothesis, one must develop the “ANOVA framework” (**Table 4**).

**Table 4.** Analysis of variance table - ANOVA.

SOURCES OF VARIATION	GL	SQ	MQ	F
In between	k -1	$SQE = \sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2$	$MQE = \frac{(SQE)}{(k-1)}$	$F = \frac{MQE}{MQR}$
Residue	n - k	$SQD = \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^k \left( \sum_{j=1}^g x_{ij} \right)^2}{g}$	$MQD = \frac{(SQD)}{(n-k)}$	
Total	n			

where:

- n= total number of observations;
- k = number of groups;
- SQE = Sum of Squares Between Groups;
- MQE = Quadratic Mean between groups; and
- F = probability F-test.

If the ANOVA presents strong evidence that there is a statistical difference between the means, a Tukey post hoc test is applied to specifically identify which means stand out.

$$\Delta = q \sqrt{\frac{MQR}{r}}$$

where:

- q = tabulated value;
- MQR = square mean of the residue; and
- r = number of repetitions.

The result is a correlation probability matrix (**Table 5**), for example:

**Table 5.** Example of Tukey test probability matrix.

	Med.1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Med. 6	Med. 7	Med. 8	Med. 9
Med. 1	1								
Med. 2	0,0202	1							
Med. 3	0,0009	<b>0,9999</b>	1						
Med. 4	0,5456	0,6508	0,2086	1					

<b>Med. 5</b>	<b>0,0012</b>	0,0000	0,0000	0,0000	1				
<b>Med. 6</b>	0,0141	0,9999	0,9999	0,5979	0,0000	1			
<b>Med. 7</b>	0,6441	0,7947	0,4078	0,9999	0,0000	0,7597	1		
<b>Med. 8</b>	0,0143	0,9937	0,8424	0,8786	0,0000	0,9905	0,9680	1	
<b>Med. 9</b>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1

where:

Med. i = refers to the population “i” sampled;  
probability values that range from 0 (totally different) a 1 (identical).

## **12. Stratified Statistics**

The mathematical formulas for inference statistics (**Table 6**), considering sampling stratification, is presented by Péllico Netto and Brena (1997), they are:

**Table 6.** Stratified statistical parameters, their descriptions and mathematical formulas.

<b>Parameter</b>	<b>Description</b>	<b>Formula</b>
Average per stratum	Arithmetic mean per sampled stratum	$\bar{x}_h = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} X_{them}}{n_h}$
Stratified average	Weighted average according to the sampled strata	$\bar{x}_{st} = \sum_{h=1}^L n_h \bar{x}_h$
Variance by stratum	Population variance, by sampled stratum	$s_h^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_h} (x_{them} - \bar{x}_h)^2}{n_h - 1}$
Stratified variance	Weighted population variance according to the sampled strata	$s_{st}^2 = \sum_{h=1}^L n_h s_h^2$
Variance of the stratified mean	Weighted variance of the sampled population mean	$s_{x(st)}^2 = \sum_{h=1}^L n_h^2 \times \frac{s_h^2}{n_h}$

Parameter	Description	Formula
Stratified standard error	Weighted standard error of the sampled population	$s_{x_{(st)}} = \sqrt{\frac{2}{x_{(st)}} S_{x_{(st)}}^2}$
Stratified sampling error	Weighted sampling error of the inference estimate for the sampled population	$AND_r = \pm \frac{t \times s_{x_{(st)}}}{x_{(st)}} \times 100$
Confidence interval (95%)	Amplitude of variation of the estimated mean, with a probability of 95%	$I. C. = \bar{x} \pm z \times \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ <p>Where: z = confidence level based on the population standard deviation; <math>\sigma</math> = standard deviation of the population; n = population size</p>

### 13. Extrapolation (Scale up)

Adequate georeferencing of trees and plots makes it possible to correlate information from the coffee crop and forestry inventory with images from remote sensors at different mapping scales. The acquisition of GPS coordinates is sensitive to the equipment, the collection procedure, satellite coverage and especially forest cover (JUN; GUENSLER; OGLE, 2006; RODRÍGUEZ-PÉREZ; ÁLVAREZ; SANZABLANEDO, 2007; SIGRIST; COPPIN; HERMY, 1999).

The combination of field information with remote sensing data is done by comparing the geographic positions between field data and images, which directly depends on the resolution and spatial scale. The use of multi-sensors for carbon stock estimates is a recommendation (LU et al., 2012), from the local to the regional map (TRUMBORE; BRANDO; HARTMANN, 2015; ZHANG et al., 2014) and with control of the error (IPCC 2010).

In terms of methods for recording geographic coordinates of forest inventories vs. geographic coordinate accuracy, Celes et al. (2016) worked on Quality Control and Assurance (QA/QC) and the main points of the study are presented (**Table 7**):

**Table 7.** Methods for collecting coordinates and positioning of sampling units (plots) sampled in the forest inventory.

Method (code)	Description
GPS.M1	Satellite signal stabilization for 1 minute (EST); coordinate registration: single point.
GPS.M2	EST; average points (xi) per 1 minute; coordinate record
GPS.M3	EST; xi for 5 minutes
GPS.M4	EST; xi for 10 minutes
GPS.M5	EST; xi for 15 minutes
GPS.Track (MT)	“Tracking” option for 5 minutes
GEO.GPS (MG)	Georeferencing (GeoRef) using points from all trees
Trimble (MTrim.)	Trimble Points

where:

GPS = Global Positioning System, in English; and  
 “Trimble” = differential-type GPS signal receiving device, with post-processing precision of up to 2 m (two meters).

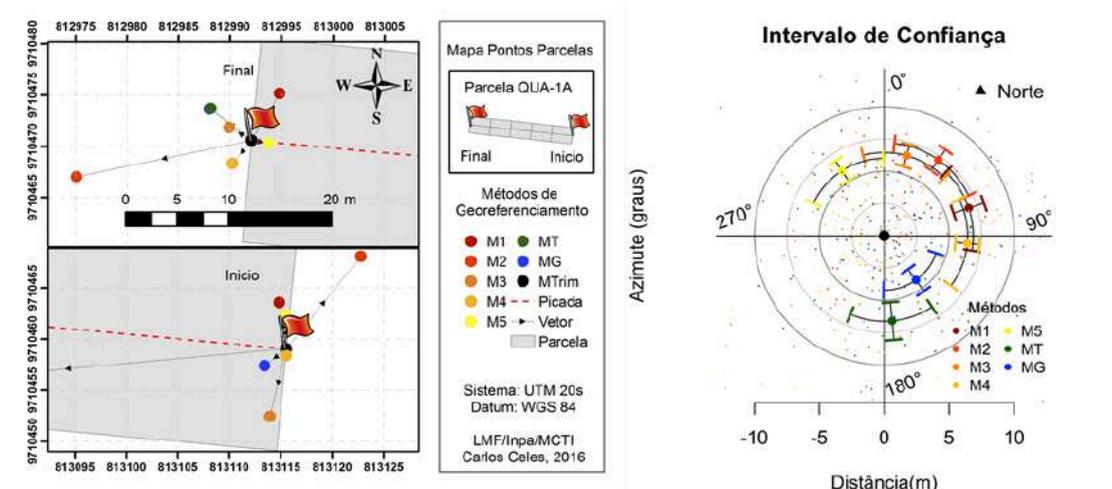
### Results

From the analyzes carried out, it was concluded that the MG method, using “false coordinates” (inclusion of control points within the plot, that is, trees) generated the most accurate coordinates. The “MT” method was the one that generated the maximum “displacement”, greater than 40 m. Even so, in the mean comparison analysis (ANOVA) between the methods, no significant statistical differences were found between them, that is, the precision and accuracy of the coordinate is not influenced by the selected method (**Table 8**). Finally, either method generates reliable and verifiable information, being

considered valid for carbon projects, since displacements do not show an obvious trend (**Figure 2**).

**Table 8.** Descriptive statistics, mean and maximum displacements of the evaluated methods and the results of the Analysis of Variance (ANOVA) of the means.

ANOVA			Displacement, in meters		Testt - GeoGPS	
Methods			Media ± I.C. (95%)	Maximum	p-value	Pearson
GPS.M1	GPS.M1	GPS.M1	6,9 ± 1,2	23,2	0,040	0,077
GPS.M2	GPS.M2	GPS.M2	7,2 ± 1,0	17,7	< 0,001	0,360
GPS.M3	GPS.M3	GPS.M3	6,5 ± 0,9	17,7	0,001	0,380
GPS.M4	GPS.M4	GPS.M4	6,4 ± 0,9	17,0	0,004	0,359
GPS.M5	GPS.M5	GPS.M5	6,0 ± 0,9	18,3	0,033	0,208
MT	-	-	6,6 ± 1,5	42,6	0,041	0,026
-	-	MG	4,2 ± 1,0	10,6		
<b>p = 0,737</b>	<b>p = 0,510</b>	<b>p = 0,010</b>	-	-	-	-



**Figure 2.** Map showing the different methods of positioning the starting and ending points of the plot (left) and graph showing the mean and confidence interval for each method of georeferencing the plot (right).

The most common types of GPS (Global Positioning System) signal receiving devices on the market and capable of producing coordinate records with acceptable levels of uncertainty, provided they are operated properly, are:

- Geodesic:
  - More precise/accurate;
  - High cost;
  - Specialized operation.
- Topographic:
  - High precision/accuracy;
  - Medium cost;
  - Specialized operation.
- Navigation:
  - Verifiable precision/accuracy;
  - Low cost;
  - Simple operation.

In terms of satellite images and/or different sensors (**Table 9** it is **10**), we have:

**Table 9.** Spatial resolution of optical data.

<b>Spatial resolution range</b>	<b>Nomenclature</b>	<b>Sensor systems*</b>
< 1 m	Very High Spatial Resolution (VHSR)	QuickBird, Planet, WorldView, Pleiades, ARP
1 m a 10 m	High spatial resolution (HSR)	ICONS, SPOT, RapidEye
10 m a 100 m	Medium spatial resolution (MSR)	LandSat, Sentinel, ASTER

<b>Spatial resolution range</b>	<b>Nomenclature</b>	<b>Sensor systems*</b>
100 m a 1.000 m	Low spatial resolution (LSR)	WAYS, MERIS
> 1.000 m	Very Low Spatial Resolution (VLSR)	AVHRR,VAI

where: m = meter; \* examples of sensors available on the market.

**Table 10.** Platform, sensor, available period and spatial resolution of some satellite image providers on the market

<b>Platform</b>	<b>Sensor</b>	<b>Available period</b>	<b>Spatial resolution</b>
LandSat 5	TM	1984 a 2011	30 m
LandSat 7	ETM+	1999 a 2003	30 m
LandSat 8	OLI/TIRS	From 2013	30 m
LandSat 9	OLI-2/TIRS-2	Starting in 2021	30 m
Sentinel	MSI	From 2014	10 m
Planet	Where	From 2013	3 m

After collecting all the information for carbon mapping, it is necessary to choose the mathematical model that will represent this relationship. Linear, multiple, non-linear or models adjusted with ordinary least squares, generalized additive model, random forest, and support vector regression (SVR) are used to estimate carbon (LU et al., 2014) (FENG et al., 2017) (LI et al., 2014). The SVR had the best performance in comparison tests of the above models (LI et al., 2014). Complex models are difficult to interpret. Simpler models present greater interpretation of the coefficients and the cause and consequence of the relationship. However, regardless of the models chosen, errors need to be

identified, quantified and propagated throughout the process and the effort to reduce them is critical (LU, 2006).

The scale survey from ARP-RGB images must be done paired with field data. To do this, measurements of the plant structure must be carried out in the field (independent variable). The objective is to adjust the best variable that responds to what you want to estimate.

In the case of coffee cultivation, a hypothesis of structure variables, measured in the field, that respond well to the other variables previously measured, are the canopy diameter and height. Furthermore, based on these two variables, the canopy volume must be calculated, according to equation 1 adapted from Favarin et al. (2002).

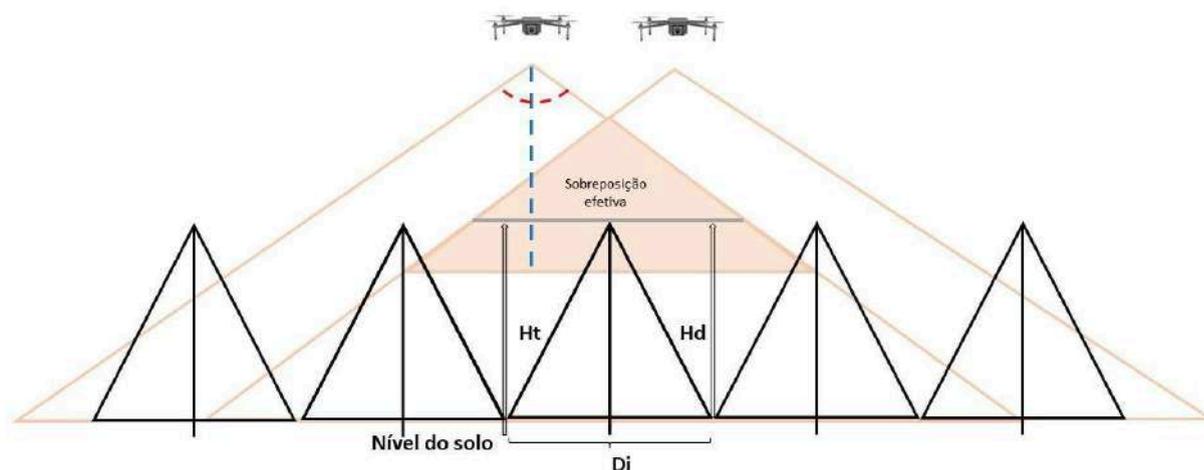
$$V_c = \frac{\pi D^2 H t}{12}$$

where:

D is the largest diameter of the canopy seen from the canopy (m);  
Ht is the total height of the plant (m); and  $\pi$  is pi (3.141592...).

Another variable, measured in the field, that must be estimated later with the image data is the diameter at ground height (DAS). To collect all these variables (crown diameter, total height and DAS), at least 30 tree individuals must be measured or up to the sample number in which the field data are normal (Shapiro-Wilk normality test). Furthermore, it is important to remeasure plants in at least two distinct seasons (for example, rainy and dry seasons).

A flight plan must be prepared in advance of the planting area. Considering the flight plan with a height of 100 m in relation to the ground, the minimum effective overlap must be configured to obtain 85% frontal and 75% lateral (Iglhaut 2019)(**Figure 3**). In case of repeat flights in the same area and if the ARP does not obtain a PPK system, it is necessary to allocate 10 control points in the studied area for georeferencing of images (Ecke et al. 2022).



**Figure 3.** Field measurement scheme and aerial photogrammetric image acquisition by ARP (see more in Peixoto, 2021).

After acquiring the photographs, it is necessary to process the images in a digital photogrammetry program using the SIFT (Scale Invariant Feature Transformation) algorithm (Lowe 2004). This allows you to correct photos with a camber angle greater than 3 degrees. Next, a digital surface model (MDS) and an orthomosaic must be generated. MDS is a digital geographic dataset that represents surface elevations with horizontal and vertical coordinates (X, Y, Z) (Ighlaut et al. 2019). The orthomosaic reproduces the real dimensions of objects (Araujo et al., 2020), with horizontal spatial resolution ranging from 3 cm to 7 cm.

Trees measured in the field must be measured in the image. To do this, the measured canopies must be vectorized in a GIS environment using orthomosaic. The total heights of the plants must be extracted by MDS, which will be the average height extracted in the images. And, taking into account the conical shape of the coffee canopy, the maximum height obtained by MDS in the respective vectorized canopy will also be extracted. A linear regression and

paired t-test should be done between the total heights measured in the field and in the image.

The treetop polygons seen in the image must be considered close to a circle and the diameter must be calculated by isolating this variable in the polygon area formula (Equation 2). A linear regression and paired t-test should be done between the canopy diameters measured in the field and in the image.

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

where:

D is the diameter of the canopy in meters and,

A is the area of the canopy polygon and  $\pi$  is pi (3.141592...).

If the relationship is good and if there is no difference (probability of error of 5%) of the same measurements obtained in the image and field, linear regression must be performed between the DAS and the crown diameter and total height of the plants. From this, it is possible to estimate the DAS only with ARP images, with its respective error. And, based on the DAS, it is possible to estimate the other measures mentioned in this methodology.

#### **14. Continuous Forest Inventory**

The main method for monitoring a forest is through the Continuous Forest Inventory (IFC). It is the monitoring of a forest area through periodic measurement of its population (census) or part of it (sampling). of sampling on multiple occasions (PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997), which basically has four types of sampling processes (**Figure 3**):

##### **1- Independent Sampling**

In this process, according to Péllico Netto and Brena (1997), the approaches on both occasions are carried out independently of each other. On the first occasion, temporary plots (u) are installed, according to the selected method, and on the second occasion, new sampling units (n) are installed,

following the same methodology, but in different locations. The use of this process leads to the evaluation only of the differences between the initial and final stocks of the analyzed period and there is no way to evaluate the individual growth of the trees, nor to monitor mortality and/or recruitment rates.

## **2- Total Repeat Sampling**

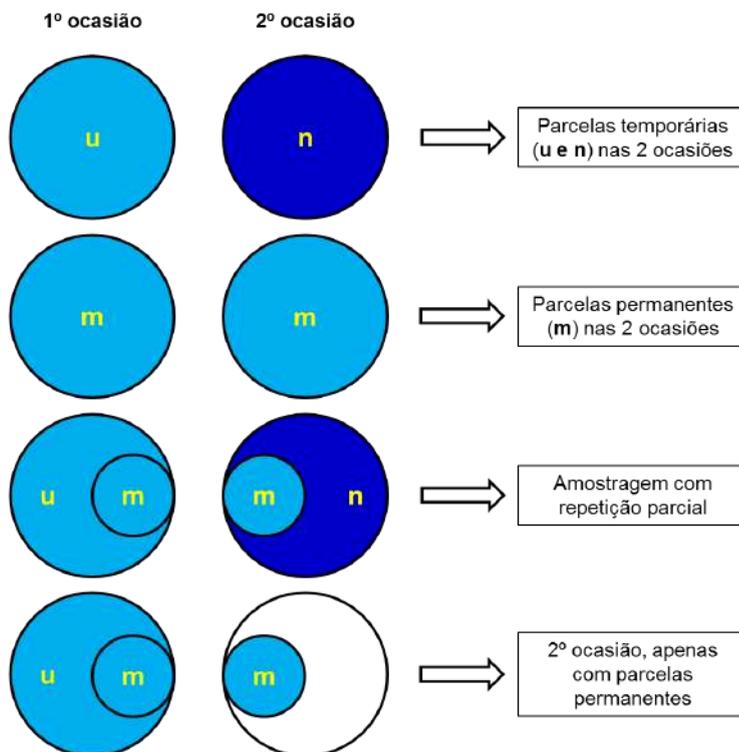
According to Husch et al. (1972), this process is the “concept of the use of permanent plots and the basis of the Continuous Forest Inventory”. In this case, the permanent plots (m) installed on the first occasion are monitored periodically. There is no installation of new plots and no sampled unit is left out of the remeasurement. The main advantage is the monitoring of recruitment, mortality and growth rates of sampled trees. However, the data is permanently subject to the same levels of bias.

## **3- Partial Repeat Sampling**

It is the combination of the two previous processes (HUSCH et al. 1972; PÉLLICO NETTO & BRENA, 1997). In the forest inventory carried out on the first occasion, permanent (m) and temporary (u) plots are installed. On the second occasion, the permanent plots (m) are remeasured and new temporary plots (n) installed. This makes it possible to monitor individual trees and their respective rates, as well as maintaining a certain independence between the sampled data.

## **4- Double Sampling**

Very similar to sampling with partial repetition, however, new temporary plots are not installed on the second occasion. It has the same advantages and disadvantages as sampling with total repetition.



**Figure 3.** Illustrative diagram of the four types of continuous sampling processes.

Individuals are lost and replaced continuously through local ecological processes, in a balance given by the mortality/recruitment ratio (SWAINE et al. 1987; SWAINE, 1990). This dynamic balance provides the establishment and growth of new species, reflecting the plant diversity of communities (PHILIPS et al. 1994; REES et al. 2001). In short, it can be said that the three main components of forest dynamics are: recruitment, mortality and growth of individuals.

According to Rezende (2002), recruitment refers to the number of new trees that reached and/or exceeded a minimum measurable size in the forest inventory. The exit of individuals from the monitoring system due to their death is called mortality rate. Finally, growth is the assessment of the increase in the measured dimensions of one or more individuals in a forest in a given period of time. When monitoring tropical forests, these components can only be estimated through remeasurement of permanent plots.

## **ANNEX II - REMOTE MONITORING AND PERMANENCE ANALYSIS**

Remote monitoring is the periodic monitoring of the vegetation cover of the Project Area (AP). Using satellite images, it is possible to check the status of coffee cultivation and the forest, in terms of “occupied area”. This process is used to analyze the history of changes in land use and verify permanence.

The points observed for this analysis are:

- A satellite image appropriate to the project period is acquired:
- A suitable image is configured that:
  - Has less than 10% (ten percent) of cloud cover;
  - Less than 30 (thirty) days from the project submission date;
  - With spatial resolution of at least 30 m (thirty meters);
  - That includes RGB (visible field) and near infrared sensors.
- At each verification period, the *download* a new, updated image;
- Vegetation coverage is checked, if points of deforestation or removal of trees from cultivation are identified, that is, there is a change in land use, these are mapped and their extent (area, in hectares) quantified:
- In the case of an identified withdrawal, the corresponding emissions must be subtracted from the potential credits to be generated in the crediting period;
- If the identified deforested area is located within the legal reserve or permanent preservation area, the project will be canceled.

**IMPORTANT NOTE #03:** The project will not be canceled if deforestation occurred in accordance with current legislation and with the competent environmental licensing.

## LITERATURE CONSULTED AND THEORETICAL BASIS

ACHARD, F.; EVA, H. D.; STIBIG, H-J.; MAYAUX, P.; GALLEGO, J.; RICHARDS, T.; MALINGREAU, J-P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*. Vol. 297, p. 999-1

AKINDELE, S. O.; LEMAY M.V. 2006. Development of tree volume equations for common timber species in the tropical rain forest area of Nigeria. *Forest Ecology and Management*. N° 226. Pp 41 - 48.

ALDER, D. 1980. Forest Volume Estimation and Yield Prediction. *Yield Prediction*. FAO Forestry Paper 22/2. v. 2. 194 p.

AMADON, D. 1973. Birds of the Congo and Amazon Forest: A comparison. In: *Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America: A Comparative Review*. Ed. By Institution Press. Washington, D. C. p. 267-277.

AMARAL, I. L. do; MATOS, F. D. A.; LIMA, J. 2000. Floristic composition and structural parameters of one hectare of dense dryland forest on the Uatumã River, Amazon, Brazil. *Acta Amazonica*. 30 (3): 377-392.

ANDERSON, L. O.; MALHI, Y.; LADLE, R. J.; ARAGAO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T.; COSTA, A. C. L.; MIRROR, J. S.; HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; NUNES-VARGAS, P.; PEACOCK, J.; QUESADA, C. A.; ALMEIDA, S.; VÁSQUEZ, R. 2009. Influence of landscape heterogeneity on spatial patterns of wood productivity, wood specific density and above ground biomass in Amazonia. *Biogeosciences*. 6, 2039–2083.

ANGELSEN, A.; BROCKHAUS, M.; SUNDERLIN, W. D.; VERCHOT, L. V. (eds) 2013 *Analysing REDD+: Challenges and choices*. CIFOR, Bogor, Indonesia. V. 1. 488 p.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; METCALFE, D. B.; SILVA-ESPEJO, J. E.; JIMÉNEZ, E.; NAVARRETE, D.; ALMEIDA, S. COSTA, A. C. L.; SALINAS, N.; PHILLIPS, O. L.; ANDERSON, L.O.; ALVAREZ, E.; BAKER, T. R.; GONÇALVES, P. H.; HUAMAN-OVALLE, J.; MAMANI-SOLÓRZANO, M.; MEIR, P.; MONTEAGUDO, A.; PATIÑO, S.; PEÑUELA, M. C.; PRIETO, A.; QUESADA, C. A.; ROZAS-D´AVILA, A.; RUDAS, A.; SILVA JR., J. A.; VÁSQUEZ, R. 2009. Above- and below-ground net primary productivity across tem Amazonian forests on contrasting soils. *Biogeosciences*, 6, 2759–2778.

ARAÚJO, T. M.; HIGUCHI, N.; CARVALHO JR., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, p.43-52.

ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, E. N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*. Vol. 310: 480-482.

AYRES, J.M and BEST, R. 1979. Strategies for the conservation of Amazonian fauna. *Suppl. Acta Amazonica* 9(4): 81-101.

AZEVEDO, C. P. de.; SANQUETTA, C. R.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de.; LOPES, J. C. A.; SOUZA, C. R. de. 2008. Effect of different levels of exploitation and silvicultural treatments on the dynamics of the remaining forest stand. *Proceedings: Tropical Forest Dynamics Seminar*. Belém, PA.

BACCINI, A.; GOETZ, S. J.; WALKER, W. S.; LAPORTE, N. T.; SUN, M.; SULLA-MENASHE, D.; HACKLER, J.; BECK, P. S. A.; DUBAYAH, R.; SAMANTHA, S.; HOUGHTON, R. A. 2012. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*. Vol. 2. DOI: 10.1038/NCLIMATE1354. p. 182-185.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; Di FIORI, A.; ERWIN, T.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; PATIÑO, S.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; VÁSQUEZ MARTÍNEZ, R. 2004a. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. *Global Change Biology*. 10, 545-562.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; Di FIORE, A.; ERWIN, T.; HIGUCHI, N. KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; VARGAS, P. N.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; MARTINEZ, R. V. 2004b. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *The Royal Society*, 359:353-365.

BARROS, P. L. C.; SILVA JÚNIOR, A. T. 2009. Volume equation for trees in a dense tropical forest in the municipality of Anapu, western Pará state, Eastern Amazon. *Journal of Agricultural Sciences*. Belém, no. 51, p. 115-126.

BATISTA, J. L. F.; MARQUESINI, M.; VIANA, V. M. 2004. Volume equations for caxeta trees (*Tabebuia casinoides*) in the state of São Paulo and south of Rio de Janeiro. *Scientia Florestalis*. No. 65. 162-175.

BORGES, C. P. I. Allometric equations to estimate biomass of forested Campinaranas in the Manaus region, Central Amazon. Master's thesis, National Amazon Research Institute. Manaus, X p. 2010

BRAGA, P.I.S. 1979. Phytogeographic subdivision, vegetation types, conservation and floristic inventory of the Amazon Forest. *Acta Amazonica. Supl.*, Manaus, v. 9, no. 4, p. 53-80.

BRANDEIS, T. J.; DELANEY, M.; PARRESOL, B. R.; ROYER, L. 2006. Development of equations for predicting Puerto Rican subtropical dry forest biomass and volume. *Forest Ecology and Management*. 233. 133–142.

BRAZIL. Constitution of the Federative Republic of Brazil, 1988. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/ConstituicaoCompilado.htm).

BRAZIL. Constitution of the State of Amazonas, 1989. Available at: [http://www.camara.gov.br/internet/interacao/constituicoes/constituicao\\_amazonas.pdf](http://www.camara.gov.br/internet/interacao/constituicoes/constituicao_amazonas.pdf).

BRAZIL. Law no. 5,449 of June 4, 1968. Declares interest in national security. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/1950-1969/L5449.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/L5449.htm).

BRAZIL. Law no. 9,985 of July 18, 2000. Establishes the National System of Nature Conservation Units. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm).

BRAZIL. Law no. 12,651 of May 25, 2012. Establishes the New Brazilian Forest Code. Available at: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm).

BROWN, S. 1997. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: a Primer. *FAO Forestry Paper 134*, Rome, Italy, p. 55.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. *Forest Measurement: questions and answers*. Viçosa, MG: UFV. 2002. 407 p.

CARNEIRO, V. M. C. Floristic composition and structural analysis of primary terra firme forest in the Cueiras river basin, Manaus – AM. Master's thesis, National Amazon Research Institute. Manaus, p. 77, 2004.

CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A. 2004. Growth rate of a terra firme rain forest in brazilian amazonia over an eight-year period in response to logging. *Acta amazonica*. Vol. 34(2): 209 – 217.

CELES, C. H.; HIGUCHI, F. G.; AMARAL, M. R.; SANTOS, J.; LIMA, A. J. N.; COBELLO, L. O.; HIGUCHI, N. Quality assurance and control (QA/QC) of georeferencing in forest inventories in the Amazon. 2016. Anais do III Mensuflor, Volume 1, Number 1, pg. 424-428

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; SCHIMEL, J. P. 1998. Ancient Trees in Amazonia. *Nature*, 391:135-136.

CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J. dos.; RIBEIRO, R. J.; HIGUCHI, N. 2000. Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management*. 5348. 1-12.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; TRIBUZY, E. S.; TRUMBONE, S. E. 2001. Carbon sink for a century. *Nature*. Vol. 410. p. 429.

CHAMBERS, J. Q.; HIGUCHI, N.; TEIXEIRA, L. M.; SANTOS, J. dos.; LAURANCE, S. G.; TRUMBONE, S. E. 2004. Response of tree biomass and wood litter to disturbance in a Central Amazon forest. *Oecologia*. 141: 596–614

CHATTERJEE, S.; HADI, A. S.; PRICE, B. 2000. *Regression analysis by example*. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. V. 5. 424 p.

CHAVE, J.; ANDALO, C.; BROWN, S.; CAIRNS, M. A.; CHAMBERS, J. Q.; EAMUS, D.; FOLSTER, H.; FROMARD, F.; HIGUCHI, N.; KIRA, T.; LESCURE, J. P.; NELSON, B. W.; OGAWA, H.; PUIG, H.; RIERA, B.; YAMAKURA, T. 2005. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 85-99.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY, R. L. *Timber Management: A Quantitative Approach*. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1983. V. 1. 333p.

COHEN, J.; P. COHEN. *Applied multiple regression/correlation analysis for the behavioral sciences*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, New Jersey, USA. 1983. V. 1. 545 p.

COLPINI, C.; TRAVAGIN, D. P.; SOARES, T. S.; SILVA, V. S. M. 2009. Determination of volume, shape factor and house percentage of individual trees in an open rainforest in the northwest region of Mato Grosso. *Acta Amazonica*. Vol. 39 (1), 97-104.

CONDÉ, T. M.; HIGUCHI, N.; LIMA, A. J. N. 2019. Illegal Selective Logging and Forest Fires in the Northern Brazilian Amazon. *Forest*, v. 10, p. 61.

COUTO, H. T. Z. do.; BASTOS, N. L. M. 1987. Volume equation models and hypsometric relationships for eucalyptus plantations in the state of São Paulo. IPEF, n.37, p.33-44.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; BRAZ, E. M. 2006. Study of the dynamics of the forest managed in the PC Pedro Peixoto community forest management project in the Western Amazon. Acta amazonia. Vol. 36(2): 177 – 182.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. Applied regression analysis. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 1998. 3rd edition. 706 p.

ELDIK, van T.; LIMA, J. P.; PINTO, A. C.; ESTUMANO, D.; REIS, Q. 2008. Final Report of the Diagnostic Forest Inventory of the FLONA of Saracá-Taquera, state of Pará. Brazilian Forest Service. 49 p.

EVA, H.D.; ACHARD, F.; STIBIG, H-J.; MAYAUX, P. 2003. Response to comment on "Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests". Science, 299, 1015b.

FEARNSIDE, P. M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. Forest Ecology and Management. 80, 21–34.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in the Amazon: Dynamics, impacts and controls. Acta Amazonia. Manaus, vol. 36, no. 3, p. 395-400, 2006.

FEARNSIDE, P. M.; LAURANCE, W. F. 2003. Comment on determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. Science, 299, 1015a.

FELDPAUSCH, T. R.; BANIN, L.; PHILLIPS, O. L.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; QUESADA, C. A.; AFFUM-BAFFOE, K.; ARETS, E. J. M. M.; BERRY, N. J.; BIRD, M.; BRONDIZIO, E. S.; CAMARGO, P. de.; CHAVE, J.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; DRESCHER, M.; FEARNSIDE, P. M.; FRANÇA, M. B.; FYLLAS, N. M.; HIGUCHI, N.; HUNTER, M. O.; IIDA, Y.; SALIM, K. A.; KASSIM, A. R.; KELLER, M.; KEMP, J.; KING, D. A.; LOVETT, J. C.; MARIMON, B. H.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T. A.; MORAN, E. F.; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; PALACE, M.; PATIÑO, S.; PEH, K. S. -H.; RAVENTOS, M. T.; REITSMAN, J. M.; SAIZ, G.; SCHRODT, F.; SONK, B.; TAEDOUNG, H. E.; TAN, S.; WHITE, L.; WOLL, H.; LLOYD, J. 2011. Height-diameter allometry of tropical forest trees. Biogeosciences, 8, 1081–1106.

FELDPAUSCH, T.R.; LLOYD, J.; LEWIS, S. L.; BRIENEN, R.J.W.; GLOOR, M.; MONTEAGUDO MENDOZA, A.; GONZALEZ-LOPEZ, G.; BANIN, L.; SALIM, K. A.;

AFFUM-BAFFOE, K.; ALEXIADS, M.; ALMEIDA, S.; AMARAL, I.; ANDRADE, A.; ARAGAO, L.E.O.C.; MURAKAMI, A. A.; ARETS, E.J.M.M.; STREAM, L.; AYMARD, G. A. C.; BAKER, T. R.; BANK, O. S.; BERRY, N. J.; CARDOZO, N.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A. ; ALVAREZ, E. OLIVEIRA, A.; DiFIORE, A.; DJAGBLETEY, G.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L. ; FEARNSIDE, P. M.; FRANCE, M. B.; FREITAS, M.A.; HIGUCHI, N.; HONORIUS, E.; IIDA, Y.; JIMENEZ, E.; KASSIM, A. R.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LOVETT, J. C. ; MALHI, Y.; MARIMON, B. S.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; LENZA, E.; MARSHALL, A. R.; MENDOZA, C.; METCALFE, D. J.; MITCHARD, E. T. A.; NEILL, D. A. ; NELSON, B. W.; NILUS, R.; NOGUEIRA, E. M.; STOP, A.; PEH, K. S.-H.; PENNA CROSS, A.; PENUELA, M. C.; PITMAN, N. C. A.; PRIETTO, A.; QUESADA, C. A.; RAMIREZ, F.; RAMIREZ-ANGULO, H.; REITSMA, J. M.; WHEELS, A.; SAIZ, G.; SOLOMON, R. P.; SCHWARZ, ; SILVA, N.; SILVA-MIRROR, J. E.; SILVEIRA, M.; SONKÉ, B.; STROPP, J. ; TAEDOUMG, H.E.; TAN, S.; STEEGE, H.; TERBORGH, J. ; TORELLO-RAVENTOS, M.; van der HEIJDEN, G. M. F.; VASQUEZ, R.; VILANOVA, E.; VOS, V.A.; WHITE, L.; WILLCOCK, S.; WOELL, H. ; PHILLIPS, O. L. 2012. Tree height integrated into pantropical forest biomass estimates. *Biogeoscience*. Vol. 9. 3381-3

FENG, Y.; LU, D.; CHEN, Q.; KELLER, M.; MORAN, E.; SANTOS, M. N.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Examining effective use of data sources and modeling algorithms for improving biomass estimation in a moist tropical forest of the Brazilian Amazon. *International Journal of Digital Earth*, v. 0., n. 0, p. 1-21, 2017.

FERGUSON, L. S.; LEECH, J. W. 1978. Generalized Least Squares Estimation of Yield Functions. *Forest Science*. 24:27-42.

FERNANDES, N. P.; JARDIM, F. C. S.; HIGUCHI, N. 1984. Volume tables for dryland tropical forest at the INPA Tropical Silviculture Experimental Station. *Acta Amazonica*.

FITTKAU, E. J.; IRMLER, U.; JUNK, W. J.; REISS, F.; SCHMIDT, G. W. 1975. Productivity, biomass, and population dynamics in Amazonian water bodies. In: F.B. Colley and E. Medina (Editors), *Tropical Ecological Systems -- Trends in Terrestrial and Aquatic Research*. Springer, New York, N.Y., pp. 289-311.

FOSTER BROWN, I.; MARTINELLI, L. A.; THOMAS, W. W.; MOREIRA, M. Z.; FERREIRA, C. C. A.; VICTORIA, R. A. 1995. Uncertainty in the biomass of Amazonian forests: Na example from Rondônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 75, p. 175-189.

GAMA, J. R. V.; BOTELHO, S. A.; GAMA-BENTES, M. M. 2002. Floristic composition and structure of natural regeneration of lowland secondary forest in the Amazon estuary. *Tree Magazine*. V. 26, n. 5, p. 559-566.

GRACE, J.; LLOYD, J.; McINTYRE, J.; MIRANDA, A. C.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; NOBRE, C.; MONCRIEFF, J.; MASSHEDER, J.; MALHI, Y.; WRIGHT, I.; GASH, J. 1995. Carbon dioxide uptake by na undisturbed tropical rain forest in Southwest Amazonia, 1992 to 1993. *Science*. Vol. 270, p. 778-780.

GRAHAM, M. H. 2003. Confronting multicollinearity in ecological multiple regression. *Ecology*. 84(11). 2809-2815.

HEDGES, J. I.; CLARK, W. A.; QUAY, P. D.; RICHEY, J. E.; DEVOL, A. H.; SANTOS, U. M. 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnology and Oceanography*. Vol. 31, n. 4, 717-738.

HIGUCHI, N. 1986-87. Systematic sampling versus random sampling in tropical humid terra-firme forest in the Manaus region. *Acta Amazonica*, 16/17 (single): 393-400.

HIGUCHI, N. Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the brazilian Amazon. Tese de Doutor, Michigan State University. East Lansing, p. 129, 1987.

HIGUCHI, N. Using the "jackknife" method to estimate wood volume in the Amazon forest. In: Minutes of the 24th Regional Meeting of the Brazilian Statistics Association and 12th Statistics Week. Manaus, AM, April 22-24, 1992. pp. 42-56.

HIGUCHI, N. Unsustainable deforestation in the Amazon. *Science Today*. v. 39, p. 67-71, Ed. November – 2006.

HIGUCHI, N.; RAMM, W. 1985. Developing bole wood volume equations for a group of tree species of Central Amazon (Brazil). *Commonw. For. Rev.* 64(1). 33-41.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; JARDIM, F. C. S. 1982. Sample plot size for forest inventories. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 12, no. 1, p. 91-103.

HIGUCHI, N; SANTOS, J. M.; IMANAGA, M.; YOSHIDA, S. 1994. Aboveground biomass estimate for Amazonian dense tropical moist forest. *Memoirs of the Faculty of Agricultura, Kagoshima University (Journal)*. 30, p. 43-54.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; CÖIC, A.; MINETTE, L. J. 1997. Growth and Enhancement of an Experimentally Managed Amazonian Firm-Tier Forest In: Forest Nutrient Biomass. INPA/DFID, Manaus, p. 89-132.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; MINETTE, L.; BIOT, Y. 1998. Biomass of the aerial part of the vegetation of the tropical humid terra-firme forest of the Brazilian Amazon. *Acta Amazonica*, 28(2):153-166.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J. Q.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P.; ROCHA, R. M.; TRIBUZI, E. S. 2004. Dynamics and carbon balance of primary vegetation in the Central Amazon. *Forest*. 34(3) 295-304.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos; LIMA, A. J. N.; TEIXEIRA, L. M.; CARNEIRO, V. M. C.; TRIBUZY, E. S. Sustainable forest management in the Brazilian Amazon. Manaus, p. 140-155, 2006.

HIGUCHI, M. I. G.; HIGUCHI, N. (eds). The Amazon forest and its multiple dimensions: a proposal for environmental education - 2nd. revised and expanded edition. Manaus: INPA/FAPEAM/CNPq/INCT, 2012. 424p.

HIGUCHI, F. G. VOLUME AND BIOMASS DYNAMICS OF THE AMAZONAS TERRA FIRME FOREST. Doctoral thesis. 2015.

HOCKING, R. R. Methods and applications of linear models: regression and the analysis of variance. John Wiley and Sons, New York, New York, USA. 3rd edition. 1996. 720 p.

HOUGHTON, R. A. 1997. Terrestrial carbon storage: global lessons for Amazonian research. *Ciencia e Cultura Sao Paulo*, 49, 58-72.

HOUGHTON, R.A; SKOLE, D. L; NOBRE, C. A; HACKLER, J.L; LAWRENCE, K. T.; CHOMENTOWSKI, W. H. 2000. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. *Nature*, 403, 301-304.

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

HOUGHTON, R. A. 2005. Aboveground forest biomass and the global carbon balance. *Global Change Biology*. 11, 945-958.

HUMMEL, A. C.; ALVES, M. V. S.; PEREIRA, D.; VERÍSSIMO, A.; SANTOS, D. 2010. Logging activity in the Brazilian Amazon: production, revenue and markets.

Brazilian Forest Service, Amazon Institute of Man and Environment. Belém-PA. 32 p.

HUNTER, M. O.; KELLER, M.; VICTORIA, D.; MORTON, D. C. 2013. Tree height and tropical forest biomass estimation. *Biogeosciences*. 10. 8385-8399.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. Forest mensuration. New York. Ronald Press. 1971.

HUSCH, B.; MILLER, C. I.; BEERS, T. W. Forest Mensuration. New York: John Wiley & Sons. 2nd ed., 1972. 402 p.

IBGE. 2012. Technical manual on Brazilian vegetation. IBGE. Rio de Janeiro. 271 p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1990. Climate Change – The IPCC Scientific Assessment. Edited by: Houghton, J. T.; Jenkins, G. J.; Ephraums, J. J. Cambridge University Press. New York. 414 p.

IPCC. 1990. Climate Change – The IPCC Impact Assessment. Edited by: Tegart, W. J. McG.; Sheldon, G. W.; Griffiths, D. C. Australian Government Publishing Service. Canberra. 296 p.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Available at <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

ITTO, 2012: Annual review and assessment of the world timber situation. International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japan. Prepared by the Division of Economic Information and Market Intelligence, ITTO. ISBN 978-4-86507-007-1.

JARDIM, F. C. S.; HOSOKAWA, R. T. 1986/87. Structure of the humid equatorial forest at the INPA tropical forestry experimental station. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 16/17, n. single, p. 411-507.

JIANG, L.; BROOKS, J. R.; WANG, J. 2005. Compatible taper and volume equations for yellow-poplar in West Virginia. *Forest Ecology and Management*. 213. 399-409.

JUN, J.; GUENSLER, R.; OGLE, J. H. Smoothing methods to minimize impact of global positioning system random error on travel distance, speed, and acceleration. *Profile Estimates*. n. 1972, p. 141-150, 2006.

JUNK, W.J. Wetlands of tropical South América. In: Whigham, D.H & Dykyjova, D. (eds.): *Wetlands of the world I*. Kluwer Academic Publishers. p. 679-739, 1993.

KOCH, G. W.; SILLETT; S. C.; JENNINGS, G. M.; DAVIS, S. D. 2004. The limits to tree height. *Nature*. Vol. 428. 851-854.

KONHAUSER, K. O.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. 1994. Multi-element chemistry of some Amazonian Waters and soils. *Chemical Geology*. 111. 155-175.

KOSSOY, A.; GUIDON, P. State and trends of the carbon market 2012. World Bank report. 138 p. 2012.

KRONBERG, B. I.; FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H.; SANTOS, A. M. 1979. The chemistry of some Brazilian soils: element mobility during intense weathering. *Chemical Geology*. 24. 211-229.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. 2005. Timber expansion in the Amazon. *The State of the Amazon*, 2:1-4.

LI, M.; IM, J.; QUACKENBUSH, L. J.; LIU, T. Forest biomass and carbon stock quantification using airborne LiDAR Data: A case study over Huntington Wildlife Forest in the Adirondack Park. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing*, v. 7, n. 7, p. 3143-3156, 2014.

LIMA, J. A. N. Evaluation of a continuous forest inventory system in managed and unmanaged areas in the state of Amazonas (AM). 183 p. Thesis (Doctorate in Tropical Forest Sciences). Inst. Research Nac. Amazon (INPA). Manaus, 2010.

LIMA, A. J. N.; SUWA, R.; RIBEIRO, G. H. P. M., KAJIMOTO, T.; SANTOS, J. dos; SILVA, R. P. dos; SOUZA, C. A. S. de; BARROS, P. C.; NOGUCHI, H.; ISHIZUKA, M.; HIGUCHI, N. 2012. Allometric models for estimating above- and below-ground biomass in Amazonian forests at São Gabriel da Cachoeira in the upper Rio Negro, Brazil. *Forest Ecology and Management*. 277, 163-172.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. *Forest Inventory*. Munich, BLV Publishing Company. 2nd edition. Vol. II. 1973. 469 p.

LOPES, U. B. Physical, Chemical and Ecological Aspects of natural mixtures of physicochemically different waters in the Amazon. 49 p. Doctoral thesis. INPA-Postgraduate degree in Biological Sciences. Manaus, 1992.

LU, D. Review Article. The Potential and challenge of remote sensing-based biomass estimation. *International Journal of Remote Sensing*. v. 27, n. 7, p. 1297-1328, 2006.

LU, D.; CHEN, Q.; WANG, G.; MORAN, E.; BATISTELLA, M.; ZHANG, M.; LAURIN, G. V.; SAAH, D. Aboveground forest biomass estimation with LandSat and LiDAR Data and uncertainty analysis of the estimates. *International Journal of Forestry Research*, v. 2012, n. 1, p. 1-16, 2012.

LU, D.; CHEN, Q.; WANG, G.; LIU, L.; LI, G.; MORAN, E. A survey of remote sensing-based aboveground biomass estimation methods in forest ecosystems. *International Journal of Digital Earth*, n. December, p. 37-41, 2014.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. *Dendrometry*. 2nd edition. Guarapuava: Editora Unicentro, 2006. v. 1-2ed.. 316p.

MACHADO, S. A.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R.; TÉO, S. J.; STOLLE, L.; URBANO, E. 2008. Volumetric modeling for bracatinga (*Mimosa scabrella*) in settlements in the Metropolitan Region of Curitiba. *Brazilian Forestry Research*. Colombo, no. 56. 17-29.

MALHI, Y.; NOBRE, A. D.; GRACE, J.; KRUIJT, B.; PEREIRA, M. G. P.; CULF, A.; SCOTT, S. 1998 Carbon dioxide transfer over a central Amazonian rain forest. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 103, No. D 24, p. 31.593–31.612.

MALHI, Y. R.; WOOD, D.; BAKER, T. R.; WRIGHT, J.; PHILLIPS, O. L.; COCHRANE, T.; MEIR, P.; CHAVE, J.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; NÚÑEZ-VARGAS, P.; PITTMAN, N. C. A.; QUESADA, C. A.; SALOMÃO, R.; SILVA, J. N.; LEZAMA, A. T.; TERBORGH, J.; VÁSQUEZ-MARTÍNEZ, R.; VINCETI, B. 2006. The regional variation of aboveground live biomass in old-growth Amazonian forests. *Global Change Biology*. 12, 1107-1138.

MARQUET, P.A.; QUIÑONES, R.A.; ABADES, S.; LABRA, F.; TOGNELLI, M.; ARIM, M.; RIVADENEIRA, M. 2005. Scaling and power-laws in ecological systems. *The Journal of Experimental Biology*. 208, 1749–1769.

MATOS, F. D. de A.; AMARAL, I. L. 1999. Ecological analysis of one hectare in a dense rainforest on dry land, Estrada da Várzea, Amazonas, Brazil. *Acta amazonica*. 29(3): 365-379.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.; PUTZ, F. E.; MARCO, P.; PENA, W.; FERREIRA, J. E. R. 2010. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. *Forest Ecology and Management*. 259, p. 367-373.

MELLO, A. A.; NUTTO, L.; WEBER, K. S. SANQUETTA, C. R.; MATOS, J. L. M.; BECKER, G. 2012. Individual Biomass and Carbon Equations for *Mimosa scabrella* Benth. (Bracatinga) in southern Brazil. *Silva Fennica*. v. 46, p. 333-343.

MEYER DE SCHAUENSEE, R. 1966. Species of birds of South America and their distribution. *Publ. Acad. Nat. Science*, 18: 1-578.

MITCHARD, E. T. A.; FELDPAUSCH, T.R.; BRIENEN, R.J.W.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; MONTEAGUDO, A.; BAKER, T. R.; LEWIS, S. L.; LLOYD, J.; QUESADA, C. A.; GLOOR, M.; ter STEEGE, H.; MEIR, P.; ALVAREZ, E.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; ARAGAO, L. E. O. C.; STREAM, L.; AYMARD, G.; BANK, O.; BONAL, D.; BROWN, S.; BROWN, F. I.; CERON, C. E.; FLAME MOSCOW, V.; CHAVE, J.; COMISKEY, J. A.; CORNEJO, F.; CORRALES MEDINA, M.; Costa, L.; COSTA, F. R. C.; The FIORE, A.; DOMINGUES, T. F.; ERWIN, T. L.; FREDERICKSON, T.; HIGUCHI, N.; CROWNED HONOR, E. N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, W. F.; LEVIS, C.; MAGNUSSON, W. E.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, BH; MENDOZA POLO, I.; MISHRA, P.; BIRTH, M. T.; NEILL, D.; NUNEZ VARGAS, MP; PALACE, W. A.; STOP, A.; BROWN MILL, G.; ROCK-CLAROS, M.; PITMAN, N.; PERES, C. A.; PORTER, L.; PRIETO, A.; RAMIREZ- NGULO, H.; BELT BELT, Z.; ROOPSIND, A.; ROUCOUX, K. H.; WHEELS, A.; SOLOMON, R. P.; SCHIETTI, J.; SILVEIRA, M.; de SOUZA, P.F.; Steininger, M. K.; STROPP, J.; TERBORGH, J.; THOMAS, R.; TOLEDO, M.; TORRES-LEZAMA, A.; van Andel, T. R.; van der HEIJDEN, G. M. F.; VIEIRA, I. C. G.; VIEIRA, S.; VILANOVA-TOWER, E.; VOS, V.A.; WANG, O.; ZARTMAN, C.E.; MALHI, Y.; PHILLIPS, O. L. 2014. Markedly divergent estimates of Amazonian forest carbon density from ground plots and satellites. *Global Ecology and Biogeography*. DOI: 10.1111/geb. 12168, p. 1-12.

MORI, S. A.; CUNHA, N. L. The Lecythidaceae of a Central Amazonian Moist Forest. *The New York Botanical Garden, Bronx, New York*, 60 p. 1995.

MOSS, R.H.; SCHNEIDER, S.H., 2000: Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting. In: *Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC* [eds. R. Pachauri, T. Taniguchi and K. Tanaka], World Meteorological Organization, Geneva, pp. 33-51.]

NEGRÓN-JUAREZ, R. I.; CHAMBERS, J.; GUIMARÃES, G.; ZENG, H.; RAUPP, C. F. M.; MARRA, D. M.; RIBEIRO, G. H. P. M.; SAATCHI, S. S.; NELSON, B.; HIGUCHI, N.

2010. Widespread Amazon forest tree mortality from a single cross-basin line event. *Geophysical Research Letters*. Vol. 37, L16701.

NEPSTAD, D.C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDONZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. 1999. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*. London, v. 398, p. 505-508.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; WASSERMAN, W. *Applied linear statistical models*. Irwin, Chicago, Illinois, USA. 1408 p. 1996.

NIKLAS, K. J. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press. Chicago

. 395p. 1994.

NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. 2008. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and Management*. 256, 1853-1867.

OHASHI, S.; OKADA, N.; NOBUCHI, T.; SIRIPATANADILOK, S.; VEENIN, T. 2009. Detecting invisible growth rings of trees in seasonally dry forests in Thailand: isotopic and wood anatomical approaches. *Trees*. 23: 813-822.

OHASHI, S.; OKADA, N.; AZIM, A. A. A.; YAHYA, A. Z.; NOBUCHI, T. 2011. Estimation of tree age in the humid tropics by vessel measurement: A preliminary study. *Tropics*. Vol. 19 (3). 107-112.

OLIVEIRA, A. A. 2000. Quantitative tree inventories in dryland forests: History with a focus on the Brazilian Amazon. *Acta amazonica*. 30(4): 543-567.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. 2004. Floristics and phytosociology of a slope forest in the Central Amazon, Amazonas, Brazil. *Acta Amazonica*. Manaus, vol. 34, no. 1, p. 21-34.

OLIVEIRA, L. C.; COUTO, H. T. Z.; SILVA, J. N.; CARVALHO, J. O. P. 2005. Effect of logging and silvicultural treatments on floristic composition and species diversity in a 136ha area in the Tapajós National Forest, Belterra, Pará. *Scientia Forestalis*. No. 69, p. 62-76.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L.; RAMOS, M. B. P.; NOBRE, A. D.; COUTO, L. B.; SAHDO, R. M. Composition and floristic-structural diversity of one hectare of

dense dryland forest in the Central Amazon, Amazonas, Brazil. *Acta amazonica*. 2008. Vol. 38(4): 627-642.

OLIVEIRA, M. M.; HIGUCHI, N.; CELES, C. H.; HIGUCHI, F. G. 2014. Plot sizes and shapes for forest inventories of tree species in the Central Amazon. *Forest Science*. Santa Maria, v. 24, no. 3, p. 645-653.

OVERMAN, J. P. M.; WITTE, H. J. L.; SALDARRIGA, J.G. 1994. Evaluation of Regression Models for Above-ground Biomass Determination in Amazonia Rainforest. *Journal of Tropical Ecology*, v.10, p.207-218.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. Forest inventory. Curitiba: Published by the authors, p. 316, 1997.

PETERS-STANLEY, M.; GONZALEZ, G.; YIN, D. Covering New Ground: State of forest carbon markets 2013. Washington, DC. 101 p. 2013.

PHILLIPS, O.L.; HALL, P.; GENTRY, A.H.; SAWYER, S.A. e VÁSQUEZ, M. 1994. Dynamics and species richness of tropical rainforests. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 91: 2805 – 22809.

PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y. HIGUCHI, N.; LAURANCE, W. F.; NÚÑEZ, P. V.; VÁSQUEZ, R. M.; LAURANCE, S. G.; FERREIRA, L. V.; STERN, M.; BROWN, S.; GRACE, J. 1998. Changes in the carbon balance of tropical forests: evidence from long-term plots. *Science*, 282(5388):439-442.

PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L.; BAKER, T. R.; CHAO, K. -J.; HIGUCHI, N. 2008. The changing Amazon forest. *Philosophical Transactions of The Royal Society*. 363, 1819-1827.

PILLI, R., ANFODILLO, T.; CARRER, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237: 583-593.

PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: Prance, G.T & Lovejoy, T.E., eds. *Amazônia: key environment*. London, Pergamon Press, p. 109-145, 1985.

PORTO, M. L.; LONGHI, H. M.; CITADINI, V.; RAMOS, R. F.; MARIATH, J. E. A. 1976. Phytosociological survey in a “forest-bottom” area at the Tropical Silviculture Experimental Station – INPA – Manaus – Amazonas. *Acta amazonica*. 6(3): 301-318.

PRANCE, G.T.; RODRIGUES, W. A.; SILVA, M. F. 1976. Forest inventory of one hectare of dryland forest km 30 of the Manaus – Itacoatiara Road. *Acta amazonica*. 6(1): 9-35.

QUEIROZ, W. T. Sampling techniques in forest inventory in the Tropics. Belém: FCAP. Documentation and Information Service. 1998. 147 p.

RADAMBRASIL. National Integration Program. Natural Resources Survey. 1978. V. 14 (Alto Solimões) – RADAM (project) DNPM, Ministry of Mines and Energy. Brazil. 626p.

RANKIN-DE-MÉRONA, J. M.; PRANCE, G. T.; HUTCHINGS, R. W.; SILVA, M. F.; RODRIGUES, W. A.; UEHLING, M. E. 1992. Preliminary results of a large-scale tree inventory of upland Rain Forest in the Central Amazon. *Acta Amazonia*. 22(4): 493-534.

RAYOL, B. P.; ALVINO-RAYOL, F. O.; SILVA, M. F. F. 2011. Floristic similarity between the tree layer and the natural regeneration of a secondary forest, in the municipality of Bragança, northeast of the state of Pará. *Revista Brasileira de Agroecologia*. 6 (3): 107-114.

REES, M.; CONDIT, R.; CRAWLEY, M.; PACALA, S.; TILMAN, D. 2001. Long-term studies of vegetation dynamics. *Science*. Vol. 293, 650-658.

RENNIE, J. C. 1979. Comparison of Height-Measurement Techniques in a Dense Loblolly Pine Plantation. *Southern Journal of Applied Forestry*. 3, n. 4, 146–148.

REZENDE, A. V. Diversity, structure, dynamics and growth prognosis of a cerrado sensu stricto subjected to different disturbances due to deforestation. Doctoral thesis, Federal University of Paraná. 269 p. 2002.

RIBEIRO, J. E. L da S.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C. A.; COSTA, M. A. da S.; BRITO, J. M. de; SOUZA, M. A. D. de; MARTINS, L. H. P.; LOHMANN, L. G.; ASSUNÇÃO, P. A. C. L.; PEREIRA, E. da C.; SILVA, C. F. da; MESQUITA, M. R.; PROCÓPIO, L. C. Flora of the Ducke Reserve: identification guide for vascular plants in a terra-firme forest in the Central Amazon. Manaus: INPA. P. 816, 1999.

ROBERTS, T. R. 1972. Ecology of fishes in the Amazon and Congo basins. *Bull. Mus. Comp. Zool.*, 143 (2): 117-147.

ROCHA, J. de A. Fallen wood as an opportunity for community forest management in conservation units in Amazonas, Brazil. Master's thesis, National Amazon Research Institute. Manaus. X p. 2010.

RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. R.; ÁLVAREZ, M. F.; SANZ-ABLANEDO, E. Assessment of low-cost GPS receiver accuracy and precision in forest environments. v. 133, n. Nov., p. 159-167, 2007.

ROLIM, S. G.; COUTO, H. T. Z.; JESUS, R. M.; FRANÇA, J. T. Volumetric models for the Tapirapé-Aquirí National Forest, Serra dos Carajás (PA). *Acta Amazonica*, vol. 36(1) 2006: 107–114, 2006.

SAATCHI, S. S.; HOUGHTON, R. A.; SANTOS ALVALÁ, R. C.; SOARES, J. V.; YU, Y. 2007. Distribution of aboveground live biomass in the Amazon. *Global Change Biology*. 13, 816-837.

SAATCHI, S. S.; HARRIS, N. L.; BROWN, S.; LEFSKY, M.; MITCHARD, E. T. A.; SALAS, W.; ZUTTA, B. R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S. L.; HAGEN, S.; PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL, A. 2011. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical region across three continents. *PNAS*. Vol. 108, n. 24. 9899-9904.

SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; SILVA, F. 2011. Biomass expansion factor and root-to-shoot ratio for *Pinus* in Brazil. *Carbon Balance and Management*. v. 6, p. 1-22.

SANTANA, A. C.; SANTOS, M. A. S.; SANTANA, A. L.; YARED, J. A. G. 2012. The economic value of managed timber extraction in the Lower Amazon, state of Pará. *Revista Árvore*. Vol. 36, n. 3, p. 527-536.

SANTOS, H. M.; RIBEIRO, M. N. G. 1988. The hydrochemistry of the Solimões River – Amazonas. *Acta amazonica*. 18(3-4): 145-172.

SANTOS, J. dos. Analysis of regression models to estimate the phytomass of the dry tropical rainforest in the Brazilian Amazon. 121 p. Doctoral Thesis - Federal University of Viçosa, Minas Gerais. 1996.

SICK, H. 1972. The threat to Brazilian Avifauna. In: *Brazilian Fauna Species Threatened with Extinction*. Ed. By the Brazilian Academy of Sciences / CNPq / FNDCT. P. 99-153.

SIGRIST, P.; COPPIN, P.; HERMY, M. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing*, v. 20, n. 18, p. 2595-3610, 1999. SILESHI, G. W. 2014. A critical review of forest biomass estimation models, common mistakes and corrective measures. *Forest Ecology and Management*. 329. 237-254.

SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A.; OLIVEIRA, L. C.; SILVA, S. M. A.; CARVALHO, J. O. P.; COSTA, D. H. M.; MELO, M. S.; TAVARES, M. J. M. Guidelines for installation and

measurement of permanent plots in natural forests in the Brazilian Amazon. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental: ill., 2005. 69 p.

SILVA, R. P. da. Allometry, stock and biomass dynamics of primary and secondary forests in the Manaus region (AM). 152 p. Doctoral thesis. Integrated Postgraduate Program in Tropical Biology and Natural Resources (INPA), Manaus, 2007.

SILVA, E. N.; SANTANA, A. C.; QUEIROZ, W. T.; SOUSA, R. J. 2011. Estimation of volumetric equations for trees of commercial value in Paragominas, state of Pará. Amazon: Science and Development. Bethlehem, v. 7, b. 13. p. 7-18.

SKOLE, D.; TUCKER, C. 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon. Satellite data from 1978 to 1988. Forest Science, Lawrence, v. 260, p. 1905-1910.

SMITH, V. G. 1983. Compatible Basal Area Growth and Yield Models Consistent with Forest Growth Theory. Forest Science. Vol. 29, no. 2. 279-288.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLI, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, O.; SCHLEISINGER, P.; MCGRATH, D. 2005. Deforestation scenarios for the Amazon. Advanced Studies. 19 (54). 137-152.

SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L. M.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; McDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. 2006. Modelling conservation in the Amazon basin. Nature. Vol. 440, n 23. 520-523.

STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M., 1983. Geochemistry of the Amazon, 2. The influence of geology and weathering environment on the dissolved load. Journal of Geophysical Research. Vol. 88: 9671-9688.

STEENKAMP, C.J.; VOGEL, J. C.; FULS, A. van ROOYEN, N.; van ROOYEN, M. W. 2008. Age determination of *Acacia erioloba* trees in the Kalahari. Journal of Arid Environments, vol.72, issue 4, pp. 302-3

STUIVER, M; REIMER, P. J.; BARD, E.; BECK, J. W.; BURR, G. S.; HUGHEN, K. A.; KROMER, B.; McCORMAC, G.; VAN DER PLICHT, J.; SPURK, M. 1998. INTCALL98 Radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP. Radiocarbon. Vol. 40, no. 3. 1041-1083.

SULLIVAN, A. D.; CLUTTER, J. L. 1972. A Simultaneous Growth and Yield Model for loblolly Pine. Forest Science. 18:76-86.

SWAINE, M. D.; LIEBERMAN, D.; HALL, J. B. 1990. Structure and dynamics of a tropical dry forest in Ghana. *Vegetatio*. V. 88: 31-51.

TABACHNICK , B. G. ; L. S. FIDELL. 1996. Using multivariate statistics. Harper Collins, New York, New York, USA. 1996. 4th edition. 58 p.

TCA (Amazon Cooperation Treaty). Amazonia Without Myths. Commission on Development and Environment for Amazonia. Quito - Ecuador, p. 99, 1992.

TER STEGE, H.; PITMAN, N. C. A.; SABATIER, D.; BARALOTO, C; SOLOMON, R. P.; GUEVARA, J. E.; PHILLIPS, O. L.; CASTLE, C. V.; MAGNUSSON , W. E. ; MILL, J-F.; MONTEAGUDO, A.; VARGAS, P.N.; MONTHER, J. C.; FELDPAUSCH, T.R.; CROONED, E. N. H.; KILLEEN, T. J.; MUSTARD, B.; VASQUEZ, R.; ASSIS, R.L.; TERBORGH , J. ; WITTMANN, F.; ANDRADE, A.; LAURANCE, W. F.; LAURANCE, S. G. W.; MARIMON, B. S.; MARIMON Jr., B-H; VIEIRA, I. C. G.; AMARAL, I. L.; BRIENEN , R. ; CASTELLANOS, H.; LOPEZ, D. C.; DUIVENVOORDEN, J.F.; MOGOLLON, H. F.; MATOS, F.D. of A.; DAVILLA, N.; GARCIA-VILLACORTA, R.; DIAZ, P.R.S.; COSTA, F.; EMILIUS, T.; LEVIS, C.; SCHIETTI, J.; SOUZA, P.; ALONSO, A.; DALLMEIER, F.; MONTOYA, A.J.D.; PIEDAD, M. T. F.; ARAUJO-MURAKAMI, A.; STREAM, L; GRIBEL, R. FINE, PVA; PERES, C. A.; TOLEDO, M.; AYMARD, G. A. C.; BAKER, T. R.; CERON, C.; ENGEL, J.; HENKEL, T. W.; MAAS, P.; PETRONELLI, P.; STROPP , J. ; ZARTMAN , C. E. ; DALY, D.; NEILL , D. ; SILVEIRA, M.; WALLS, M. R.; CHAVE, J.; LIMA FILHO, D. of A.; JØRGENSEN, P. M.; SOURCES, A.; SCHÖNGART, J.; VALVERDE, F. C.; FIORE, A. Di.; JIMENEZ, E.M.; MORA, M.C.P.; PHILLIPS, J.F.; RIVAS, G.; ANDEL, T. R. van; HILDEBRAND, P. von; HOFFMAN, B.; ZENT, E.L.; MALHI, Y.; PRIETO, A.; WHEELS, A.; RUSCHELL , A. R. ; SILVA, N.; VOS, V.; ZENT, S.; OLIVEIRA, A. A.; SCHUTZ , A. C. ; GONZALES, T.; BIRTH, M. T.; RAMIREZ-ANGULO, H.; SIERRA, R.; SHOT, M.; MEDINA, M.N.U.; HEIJDEN, G. van DER; VELA, C.I.A.; TOWER, E. V.; VRIESENDORP , C. ; WANG, O.; YOUNG, K. R.; BAIDER, C.; BALSLEV, H.; FERREIRA, C.; MASONS, I.; TORRES-LEZAMA, A.; GIRALDO, L. E. U.; ZAGT, R.; ALEXIADS, M. N.; HERNANDEZ, L.; HUAMANTUPA-CHUIMACO, I.; MILLIKEN, W.; BASIN, W. P.; PAULETTO, D.; SANDOVAL, E. V.; GAMRA, L. V.; DEXTER, K. G.; FEELEY, K.; LOPEZ-GONZALEZ, G.; SILMAN, M. R. 2013. Hyperdominance in the Amazonian tree flora. *Science*. New York, Vol. 342 , 324–3

THAINES, F.; BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, A. A. R. Equations for estimating wood volume for the Ituxi River basin region, Lábrea, AM. *Brazilian Forestry Research*. Columbus, vol. 30, no. 64, p. 283-289.

THERRELL, M. D.; STAHL, D. W.; MUKELABAI, M. M.; SHUGART, H. H. 2007. Age, and radial growth of *Pterocarpus angolensis* in southern Africa. *Forest Ecology and Management*. 244, p. 24-31.

TRUMBORE, S.; BRANDO, P.; HARTMANN, H. Forest health and global change. *Science*, v. 349, n. 6250, 2015.

WEISS, N.; HASSETT, M. *Introductory Statistics*. 1982. Arizona State University. 650 p.

WEST, G. B., BROWN, J. H.; ENQUIST, B. J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664-667.

WIEMANN, M. C.; WILLIAMSON, G. B. 2014. Wood specific gravity variation with height and its implications for biomass estimation. Research Paper FPL-RP-677. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 9 p.

WILLIAMS, M. S.; BECHTOLD, W. A.; LABAU, V. J. 1994. Five instruments for measuring tree height: An evaluation. *Southern Journal of Applied Forestry*, Vol. 18 (2): 76–82.

WOODHOUSE, I. H.; MITCHARD, E. T. A.; BROLLY, M.; MANIATIS, D.; RYAN, C. M. 2012. Radar backscatter is not a 'direct measure' of forest biomass. *Nature Climate Change*. 2, p. 556-557.

WORBES, M. 2002. One hundred years of tree-ring research in the tropics – a brief history and na outlook to future challenges. *Dendrochronologia*. 20/1. 217-231.

ZHANG, G.; GANGULY, S.; NEMANI, R. R.; WHITE, M. A.; MILESI, C.; HASHIMOTO, H.; WANG, W.; SAATCHI, S.; YU, Y.; MYNENI, R. B. Estimation of forest aboveground biomass in California using canopy height and leaf area index estimated from satellite data. *Remote Sensing of Environment*, n. August, 2014.

IBGE. Regional division of Brazil into geographic regions. Rio de Janeiro, 2017. Available at:[https://www.ibge.gov.br/apps/regioes\\_geograficas/#/home](https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/#/home).

Araújo, T. M.; Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1999. Comparison of formulae for biomass content determination in a tropical rain forest in the state of Pará, Brazil. *Forest Ecology and Management*, v.117, p.43-52.

Souza, D.C., Sampaio Filho, I.J., Simonetti, A., Souza, C.A.S., Oliveira, L.R. and Freitas, S.F. Soybean production at Fazenda São Wustro (Bahia) – 2020-2021 harvest - and climate change that occurred after the second stage of the

Industrial Revolution. Ed. Niro Higuchi – ISBN nº 978-65-00-42466-9, Manaus – AM, 44p.

Araujo, R. F., Chambers, J. Q., Celes, C. H. S., Muller-Landau, H. C., Santos, A. P. F. D., Emmert, F., ... & Higuchi, N. (2020). Integrating high resolution drone imagery and forest inventory to distinguish canopy and understory trees and quantify their contributions to forest structure and dynamics. *PloS one*, 15(12), e0243079.

Carvalho, J. O. P. de. 1997. Dynamics of natural forests and their implications for forest management. (Embrapa-CNPQ. Documents, 34). Belém: p.41-55.

Ecke, S., Dempewolf, J., Frey, J., Schwaller, A., Endres, E., Klemmt, H. J., ... & Seifert, T. (2022). UAV-based forest health monitoring: a systematic review. *Remote Sensing*, 14(13), 3205.

Favarin, J. L., Dourado Neto, D., García y García, A., Villa Nova, N. A., & Favarin, M. D. G. G. V. (2002). Equations for estimating the coffee leaf area index. *Brazilian agricultural research*, 37, 769-773.

Higuchi, N. 2001. The Insertion of the Amazon in the context of the climate convention and Kyoto Protocol. *Didactic Notes*.

Higuchi, N.; Carvalho Jr., J. A. 1994. Phytomass and carbon content of tree species in the Amazon. In: Companhia Vale do Rio Doce (ed.). *CO2 emission and sequestration: a new business opportunity for Brazil*, Rio de Janeiro: 125-153.

Iglhaut, J., Cabo, C., Puliti, S., Piermattei, L., O'Connor, J., & Rosette, J. (2019). Structure from motion photogrammetry in forestry: A review. *Current Forestry Reports*, 5(3), 155-168.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2004. Good practice guidance for land use, land-use changes and forestry. Kanagawa, Japan, Institute for Global Environmental Strategies.

Lowe, G. (2004). Sift-the scale invariant feature transform. *Int. J.*, 2(91-110), 2.

Niklas, K.J. 1994. *Plant Allometry: The Scaling of Form and Process*. The University of Chicago Press. Chicago. 395p.

Peixoto, A. S. L. (2021). Distribution and geometry of forest gaps in the central Amazon combining remotely piloted aircraft (ARP) images and field data. Master's thesis by the Postgraduate Program in Tropical Forest Sciences/INPA.

Pilli, R., Anfodillo, T. e Carrer, M. 2006. Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 237: 583-593.

Silva, R.P. da. 2007. Allometry, stock and biomass dynamics of primary and secondary forests in the Manaus region (AM). Doctoral Thesis in Tropical Forest Sciences/ INPA. 152p.

West, G.B., Brown, J.H. e Enquist, B.J. 1999. A general model for the structure and allometry of plant vascular systems. *Nature*, 400: 664-667.

Zianis, D. e Mencuccini, M. 2004. On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management*, 187: 311-332.