



HELANE FRANÇA SILVA

**BIOMASSA E CARBONO NO ESTRATO
ARBÓREO EM ÁREA DE RESTAURAÇÃO E
EM FLORESTA SEMIDECIDUAL**

LAVRAS - MG

2014

HELANE FRANÇA SILVA

**BIOMASSA E CARBONO NO ESTRATO ARBÓREO EM ÁREA DE
RESTAURAÇÃO E EM FLORESTA SEMIDECIDUAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Dra. Soraya Alvarenga Botelho

Coorientadora

Dra. Sabina Cerruto Ribeiro

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Silva, Helane França.

Biomassa e carbono no estrato arbóreo em área de restauração e em floresta semidecidual / Helane França Silva. – Lavras : UFLA, 2014.

63 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Soraya Alvarenga Botelho.

Bibliografia.

1. Biomassa acima do solo. 2. Teor de carbono. 3. Estoque de carbono. 4. Remanescente florestal. 5. Reflorestamento. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 634.9

HELANE FRANÇA SILVA

**BIOMASSA E CARBONO NO ESTRATO ARBÓREO EM ÁREA DE
RESTAURAÇÃO E EM FLORESTA SEMIDECIDUAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 19 de fevereiro de 2014.

Dra. Sabina Cerruto Ribeiro UnB

Dr. Carlos Alberto Silva UFLA

Dra. Soraya Alvarenga Botelho
Orientadora

LAVRAS - MG

2014

Aos meus amados Carmélia, Salvador, Kamila e Leard

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que sempre está comigo, guiando-me, acompanhando-me, amparando-me, iluminando-me... Muito obrigada por tudo meu Pai de infinita bondade!

Aos meus pais, Carmélia e Salvador, e à minha irmã Kamila por todo amor, carinho e incentivo. Amo vocês!

Ao meu amado, Leard Fernandes, por todo apoio, incentivo, companheirismo e muita paciência. Muito obrigada, meu Amor!

À professora Soraya Botelho pela oportunidade e confiança.

À minha coorientadora, Sabina Ribeiro, pela orientação, por todo o apoio e pelas valiosas contribuições ao longo da realização deste trabalho.

Ao professor Carlos Alberto Silva pela contribuição nas análises de laboratório.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo apoio à realização da pesquisa.

À FAPEMIG pela concessão da bolsa de estudos.

À CEMIG por disponibilizar as áreas para realização da pesquisa.

Ao doutorando, Elias Farias, pela atenção e contribuições no trabalho.

Ao técnico de campo, José Pedro, pelo auxílio na coleta de dados no campo.

Ao técnico de laboratório, Claret de Matos, à professora Ana Carolina Barbosa e ao LEMAF, pela disponibilização de materiais necessários à realização do trabalho.

Ao professor Marcelo Cirillo e aos doutorandos Gilberto e Marcília pelas contribuições ao trabalho.

Aos colegas do laboratório de Silvicultura, Regiane, Nicelle, Luciana, Mariana, Diana, Bárbara, Jeannot, Elias e Kamila, pela ótima convivência.

Aos funcionários Chica, Juliano, Lu e Seu Ernani, pela atenção.

Às bolsistas de graduação Joelma, Maraiza e Maria Eduarda pelo auxílio nos trabalhos de laboratório.

A todos os membros e colegas do Núcleo de Estudos em Silvicultura (NES) que, apesar do pouco tempo, proporcionaram-me um ótimo convívio e aprendizado.

Às meninas da República Girassóis, Elaine, Mírian e Isabel, pela ótima convivência ao longo destes anos.

Muito obrigada a todos que fizeram parte desta conquista!

“O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria, aprende-se com a vida e com os humildes.”

Cora Coralina

“Se você quer chegar aonde ninguém chegou, deve fazer o que ninguém jamais fez.”

Eduardo Moreira

“Quando amamos o que fazemos as pequenas pedras no caminho não são capazes de desviar a nossa trajetória.”

Eduardo Moreira

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de estimar os estoques de biomassa e carbono no estrato arbóreo de uma área em restauração com 21 anos de idade e em um remanescente florestal semidecidual, ambos localizados no entorno da barragem de Camargos, no município de Itutinga, sul de Minas Gerais. As áreas de estudo continham parcelas permanentes de 20 m x 20 m, nas quais foram mensurados diâmetro e altura e identificadas todas as árvores com $CAP \geq 15$ cm. A densidade básica da madeira (DBM) e o teor de carbono foram determinados para as espécies de maior importância ecológica em cada área de estudo. O estoque de biomassa foi estimado pelo método indireto, considerando o uso de uma equação alométrica. A quantificação do estoque de carbono se deu pela multiplicação da biomassa seca pelo teor de carbono obtido em laboratório. Na área em restauração, as espécies que apresentaram o menor e o maior teor de carbono foram *Lafoensia vandelliana* (43,70%) e *Anadenanthera peregrina* (46,60%). Já para a DBM as espécies que apresentaram o menor e o maior valor foram *Cecropia pachystachya* ($0,31 \text{ g cm}^{-3}$) e *Anadenanthera peregrina* ($0,72 \text{ g cm}^{-3}$). No remanescente florestal, as espécies que apresentaram o menor e o maior teor de carbono foram *Casearia decandra* (41,85%) e *Nectandra oppositifolia* (46,57%). Para a DBM as espécies que apresentaram o menor e o maior valor foram *Nectandra lanceolata* ($0,38 \text{ g cm}^{-3}$) e *Machaerium villosum* ($0,77 \text{ g cm}^{-3}$). Os estoques de biomassa e carbono da área em restauração foram de $109,40 \text{ t ha}^{-1}$ e $49,73 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente, com um incremento periódico anual (IPA) em carbono de $3,72 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (2010 - 2013). No remanescente florestal, o estoque de biomassa foi de $126,92 \text{ t ha}^{-1}$ o que correspondeu a $55,91 \text{ t ha}^{-1}$ de carbono e um IPA de $0,61 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. As informações geradas por esse estudo podem fornecer suporte para programas de conservação de florestas naturais e de restauração de áreas degradadas que visem promover um aumento do estoque de carbono no local e a comercialização de créditos de carbono florestal.

Palavras-chave: Biomassa acima do solo. Teor de carbono. Estoque de carbono. Remanescente Florestal. Reflorestamento.

ABSTRACT

This study was conducted with the objective of estimating the biomass and carbon stocks in the tree extract of a restoration area with 21 years of age, and in a remnant of semideciduous forest, both located around Camargos' dam in the municipality of Itutinga, southern Minas Gerais, Brazil. The study areas presented permanent 20 m x 20 m plots, in which we measured diameter and height, and identified all trees with $CBH \geq 15$ cm. The basic wood density (BWD) and carbon content were determined for the species of highest ecological importance in each study area. The biomass stock was indirectly estimated using an allometric equation. The carbon stock was determined by multiplying the dry biomass and the carbon content obtained in laboratory. In the restoration area, the species with the lowest and highest carbon content were *Lafoensia vandelliana* (43.70%) and *Anadenanthera peregrina* (46.60%), respectively. As for the BWD, the species presenting the lowest and highest values were *Cecropia pachystachya* (0.31 g cm^{-3}) and *Anadenanthera peregrina* (0.72 g cm^{-3}), respectively. In the forest remnant, the species with the lowest and highest carbon content were *Casearia decandra* (41.85%) and *Nectandra oppositifolia* (46.57%), respectively. For BWD, the species presenting the lowest and highest values were *Nectandra lanceolata* (0.38 g cm^{-3}) and *Machaerium villosum* (0.77 g cm^{-3}), respectively. The biomass and carbon stocks of the restoration area were of 109.40 t ha^{-1} and 49.73 t ha^{-1} , respectively, with a periodic annual increment (PAI) of $3.72 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (2010 - 2013). In the forest remnant, the biomass stock was of 126.92 t ha^{-1} , which corresponded to 55.91 t ha^{-1} of carbon and a PAI of $0.61 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. The information generated by this study may provide support for natural forest conservation programs and degraded landscape restoration initiatives which aim to promote an in site increase of carbon stock and forest carbon credit trading.

Keywords: Aboveground biomass. Carbon content. Carbon storage. Forest remnant. Reforestation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa representativo do remanescente florestal e da área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG.....	19
Figura 2	Etapas da coleta das amostras: a) Retirada da amostra com o trado de incremento; b) Amostra coletada; c) Amostras acondicionadas em sacos plásticos; d) Aplicação de calda bordalesa no orifício do tronco	24
Figura 3	Procedimento de obtenção do volume saturado pelo método da imersão.....	26
Figura 4	Procedimentos para obtenção da massa seca e do material para análise do teor de carbono: a) Pesagem da amostra; b) Moagem da amostra; c) Maceração da amostra; d) Obtenção do pó de madeira.....	27
Figura 5	Procedimentos para análise do teor de carbono: a) Amostras processadas; b) Pesagem da amostra; c) Amostra em cápsula de estanho sendo injetada no analisador; d) Software em computador conectado ao analisador	28
Figura 6	Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados na área de remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG	36
Figura 7	Relação entre o teor de carbono e a densidade básica da madeira para as espécies encontradas em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG	38

Figura 8	Relação entre o estoque de carbono e a área basal das espécies encontradas em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG.....	40
Figura 9	Krigagem ajustada para as variáveis estoque de biomassa ($t\ ha^{-1}$) e estoque de carbono ($t\ ha^{-1}$), presente no estrato arbóreo das espécies mais representativas no remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG	43
Figura 10	Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados na área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG	46
Figura 11	Krigagem ajustada para as variáveis estoque de biomassa ($t\ ha^{-1}$) e estoque de carbono ($t\ ha^{-1}$), presente no estrato arbóreo das espécies mais representativas na área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Parâmetros fitossociológicos das espécies de maior índice de valor de importância em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG.....	35
Tabela 2	Valores médios de teor de carbono e densidade básica da madeira das espécies amostradas em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG.....	37
Tabela 3	Parâmetros fitossociológicos das espécies de maior índice de valor de importância em área de restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG.....	45
Tabela 4	Valores médios do teor de carbono e densidade básica da madeira das espécies amostradas na área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG	47
Tabela 5	Valores médios de estoque de carbono ($t\ ha^{-1}$), obtidos pelos diferentes métodos	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1	Descrição das áreas de estudo	19
2.2	Inventário florestal e levantamento fitossociológico	21
2.3	Seleção das espécies e indivíduos para a determinação do teor de carbono e densidade	22
2.4	Coleta das amostras de madeira	23
2.5	Estimativa da biomassa	24
2.6	Determinação da densidade básica	25
2.7	Tratamento das amostras para obtenção do teor de carbono	26
2.8	Determinação do teor de carbono	27
2.9	Estimativa do estoque de carbono	29
2.10	Análises estatísticas	30
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1	Remanescente Florestal	33
3.1.1	Caracterização fitossociológica do remanescente de Floresta Estacional Semidecidual	33
3.1.2	Teor de carbono e densidade básica da madeira	36
3.1.3	Estoque de carbono e área basal	39
3.1.4	Incremento do estoque de carbono entre os períodos de 2010 e 2013	41
3.1.5	Espacialização dos estoques de biomassa e carbono no remanescente florestal	42
3.2	Área em Restauração	43
3.2.1	Caracterização do estrato arbóreo da área em restauração	43
3.2.2	Teor de carbono e densidade básica da madeira	46
3.2.3	Comparação dos diferentes métodos para estimativa do estoque de carbono	49
3.2.4	Incremento do estoque de carbono entre os períodos de 2010 e 2013	51
3.2.5	Espacialização dos estoques de biomassa e carbono na área em restauração	52
4	CONCLUSÕES	54
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com o aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera é crescente, em virtude de sua capacidade de reter parcialmente a radiação infravermelha que é emitida pela Terra. Dentre os gases de efeito estufa, destaca-se o dióxido de carbono cuja concentração na atmosfera terrestre vem aumentando consideravelmente desde a revolução industrial. Esse acréscimo ininterrupto tem sido apontado como a principal causa da intensificação do efeito estufa e, conseqüentemente, do aumento da temperatura média da Terra, o qual poderá provocar mudanças climáticas severas nas próximas décadas (ALMEIDA; CAMPELO JÚNIOR; FINGER, 2010).

A redução dos níveis de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera pode ser promovida de diferentes formas. Dentre elas, destaca-se o sequestro e estoque de carbono no solo e na biomassa florestal, sendo esta última considerada de grande importância, uma vez que possibilita, em curto prazo, o aumento do volume de carbono imobilizado (SCHNEIDER et al., 2005). Dessa forma, cresce, a cada dia, o interesse pelos estudos de quantificação dos estoques de biomassa e carbono em florestas e, também, os incentivos para manter e expandir o estoque de carbono na vegetação arbórea, proporcionando um grande impulso para a restauração florestal (CHAZDON, 2008).

A restauração de áreas degradadas, originalmente, tinha como propósito restaurar as funções de proteção aos recursos abióticos (solo e água) e, também, restabelecer a diversidade biológica e os processos ecológicos do ecossistema que fora deteriorado. Todavia, nas últimas décadas, surgiu uma nova demanda direcionada para as pesquisas sobre o papel da restauração de florestas na remoção do CO₂ atmosférico (MELO; DURIGAN, 2006). Com isso, estimativas confiáveis são necessárias para a quantificação dos estoques de biomassa e

carbono em áreas em processo de restauração e em florestas naturais (ASHTON et al., 2012).

Nas florestas naturais há uma grande variação na capacidade de acumular biomassa e fixar carbono, principalmente, em decorrência da grande diversidade de espécies e da alta variabilidade existente entre indivíduos de uma mesma espécie (BAKER et al., 2004). Assim, a variável biomassa deve ser avaliada de forma cautelosa, pois com base nela será quantificado o carbono fixado (BROWN, 1997).

A biomassa vegetal é uma variável ecológica crucial para a compreensão da evolução e de possíveis mudanças futuras do sistema climático (BOMBELLI et al., 2009). Entretanto, um dos principais desafios, para a comunidade acadêmica, é obter estimativas confiáveis da biomassa florestal. Há uma grande discrepância de valores entre os estudos que objetivaram quantificar a biomassa de áreas florestais e, conseqüentemente, da capacidade de fixação de carbono desses locais (DJOMO; KNOHL; GRAVENHORST, 2011). Essa diferença pode ser atribuída, principalmente, às diferentes metodologias utilizadas na geração das estimativas (BROWN, 1997; CHAVE et al., 2004).

As estimativas de biomassa e carbono, nas diversas tipologias florestais, comumente são provenientes de estudos que utilizam métodos diretos e indiretos. A quantificação de biomassa e carbono, por meio do método direto, consiste em derrubar e pesar um número significativo de árvores em uma área determinando, assim, a quantidade de biomassa que está presente em um hectare da área de estudo (LOSI et al., 2003). A utilização deste método, apesar de ser trabalhoso, apresenta resultados satisfatórios quanto à precisão das estimativas geradas. No entanto, muitas vezes em áreas em restauração e em florestas naturais, o abate das árvores não é possível por questões técnicas e legais.

Nesses casos, são usados os métodos indiretos, os quais envolvem o uso de equações alométricas ou imagens de satélite; porém essas últimas nem

sempre estão disponíveis. Assim, é comum o uso de equações alométricas. Em geral, as equações alométricas apresentam como variáveis independentes características diretamente mensuráveis das árvores-amostra, como diâmetro e altura; já as variáveis dependentes são representadas pela massa de matéria seca dos diferentes compartimentos ou pela quantidade de carbono (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011). No entanto, com a utilização desse método há a possibilidade de erros significativos no cálculo da biomassa, como no caso da existência de árvores ocas ou de grande tamanho, o que pode levar a uma subestimativa ou superestimativa da biomassa florestal. Além disso, deve-se ter o cuidado na seleção da equação a ser usada, visto que a mesma deve ser apropriada para a área de estudo.

As estimativas de estoque de carbono fixado na biomassa florestal podem ser obtidas por meio da multiplicação do valor da biomassa pelo teor de carbono. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* recomenda o uso do fator 0,5 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2003) e, mais recentemente, o fator 0,47 (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006). No entanto, a adoção de um valor genérico pode originar superestimativas ou subestimativas do estoque de carbono, uma fonte de erro que pode ser evitada se forem empregados teores de carbono determinados em laboratório (DALLAGNOL et al., 2011).

O conhecimento do teor e estoque de carbono por espécie é de grande relevância, uma vez que projetos voltados à restauração e à fixação de carbono, empregando vegetação nativa, podem ser baseados em espécies ou grupos funcionais que apresentem maior capacidade de estocar carbono (WATZLAWICK et al., 2011). Vale ressaltar, também, a importância de estudos em áreas em processo de restauração em diferentes situações e em florestas naturais de diferentes fisionomias, buscando a padronização nas metodologias de

quantificação dos estoques de biomassa e carbono na vegetação, a fim de que sejam geradas estimativas confiáveis e passíveis de comparação.

No entanto, nota-se que há uma grande carência de estudos em áreas de restauração, principalmente, quando se trata da quantificação dos estoques de biomassa e carbono. Os poucos estudos disponíveis na literatura foram desenvolvidos no estado de São Paulo, em áreas de domínio do Cerrado e Mata Atlântica, com o uso de métodos indiretos (MELO; DURIGAN, 2006; MELO et al., 2009) e diretos (MIRANDA; MELO; SANQUETTA, 2011). Apenas dois desses estudos avaliaram áreas em restauração com mais de 20 anos (MELO; DURIGAN, 2006; MIRANDA; MELO; SANQUETTA, 2011).

A Floresta Estacional Semidecidual é a fisionomia de maior distribuição original do bioma Mata Atlântica, apresenta grande diversidade florística e vem sendo alvo constante de desmatamento, restando apenas cerca de 4% do seu montante original (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007). Apesar de sua importância ecológica, até o momento poucos estudos visaram quantificar o estoque de carbono nessas áreas (AMARO et al., 2013; RIBEIRO et al., 2009; SCOLFORO et al., 2008a; SOUZA et al., 2011; SOUZA et al., 2012).

Estudos dessa natureza são de suma importância em remanescentes de Floresta Estacional Semidecidual, visto que essas áreas são fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE) em razão do desmatamento ilegal. Considerando que o Brasil assumiu um compromisso voluntário de redução das suas emissões de GEE (BRASIL, 2009) e que a maior parte das emissões do país advém da mudança do uso da terra, é essencial que se conheça a quantidade de carbono estocado na biomassa para se prever o que poderá ser emitido no caso de um desmatamento ou incêndio, por exemplo.

Diante da possibilidade do uso das florestas, como forma de mitigar a intensificação do efeito estufa, ressalta-se a importância do conhecimento do estoque de carbono em áreas de floresta natural e em processo de restauração.

Essas informações contribuem de forma decisiva na criação de programas de conservação e manejo de remanescentes florestais, bem como subsidiam programas de restauração de áreas degradadas. Desse modo, trabalhos que visem quantificar o carbono fixado em florestas nativas e em restauração são de grande relevância, principalmente, pela escassez de estudos nessas áreas.

Nesse contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de estimar os estoques de biomassa e carbono no estrato arbóreo de uma área em restauração, com 21 anos de idade e em um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual, ambos localizados no entorno da barragem de Camargos, no município de Itutinga, sul de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição das áreas de estudo

O presente estudo foi realizado em um remanescente florestal e em uma área em processo de restauração, de propriedade da Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG, localizadas à montante e à jusante do reservatório de Camargos, na margem direita do Rio Grande, no município de Itutinga, MG (Figura 1).

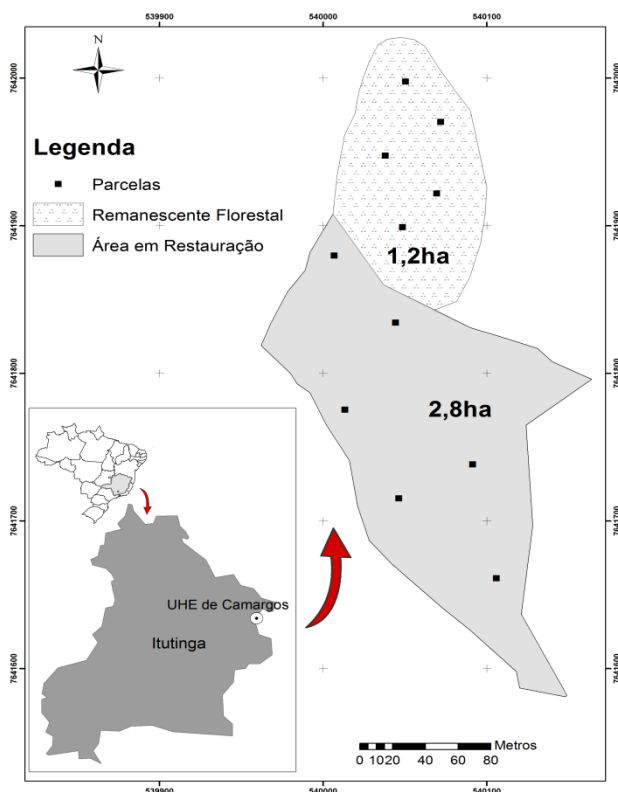


Figura 1 Mapa representativo do remanescente florestal e da área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG.

O remanescente florestal estudado corresponde a uma área ripária de Floresta Estacional Semidecidual, sem indícios de intervenção antrópica recente, abrangendo uma área de 1,2 hectares, localizada nas coordenadas geográficas 21°19'25" de latitude Sul e 44°36'50" de longitude Oeste.

A área em processo de restauração tem 21 anos, está situada nas coordenadas geográficas 21°19'28" de latitude Sul e 44°36'48" de longitude Oeste e tem extensão de 2,8 hectares. Este local é uma área de empréstimo de terra que foi destinada à exploração na operação da construção da barragem da UHE Camargos, em meados da década de 50. Na área foi feita a supressão da vegetação e a remoção de cerca de cinco metros de perfil de solo. Com isso, o solo remanescente apresentou-se compactado, com baixa infiltração, formando bacias suscetíveis à erosão, além de possuir uma fertilidade muito baixa. No ano de 1992 iniciou-se a restauração florestal neste local (FARIA, 2012).

Na fase de implantação do processo de restauração, foram aplicadas práticas mecânicas como a construção de terraços em nível e práticas vegetativas (BOTELHO et al., 1995; DAVIDE; SCOLFORO; FARIA, 1993). O plantio de espécies florestais foi realizado no espaçamento de 1,5 m x 3,0 m e o arranjo utilizado foi em quincôncio, com base nos princípios de sucessão secundária (DAVIDE; SCOLFORO; FARIA, 1993). A relação das espécies florestais utilizadas na restauração é descrita por Faria (2012).

A vegetação natural da região, onde as referidas áreas de estudo estão inseridas, é constituída de formações florestais, com predominância de Floresta Estacional Semidecidual (AZEVEDO, 1962). O clima da região é de transição entre Cwa e Cwb, de acordo com a classificação climática de Köppen (ANTUNES, 1986). A altitude local média é de 900 m; a temperatura média anual, 19,4° C e a precipitação média anual, 1.529,7 mm, com um período seco de abril a setembro. O tipo de solo predominante é o Latossolo Vermelho típico.

2.2 Inventário florestal e levantamento fitossociológico

O inventário florestal da vegetação no remanescente florestal e na área em restauração foi realizado em julho de 2013 em parcelas permanentes de 20 m x 20 m previamente estabelecidas e mensuradas em setembro de 2010. Nessa ocasião foram plotadas cinco unidades amostrais na área de remanescente florestal e seis unidades amostrais na área em restauração, totalizando uma área amostral de 0,20 ha e 0,24 ha, respectivamente. As parcelas foram demarcadas com estacas de PVC (1/2”) e todos os indivíduos arbóreos com circunferência à altura do peito (CAP) ≥ 15 cm foram registrados, identificados botanicamente e mensurados quanto à altura total (visualmente) e CAP (fita métrica). Todas as parcelas tiveram suas coordenadas geográficas registradas com o uso do GPS Garmin V.

No segundo inventário florestal, todos os indivíduos com o CAP maior ou igual a 15 cm tiveram a circunferência remeida com o uso de uma fita métrica. Para os indivíduos que apresentaram o fuste bifurcado, todos os fustes foram medidos e o diâmetro equivalente calculado (SOARES; PAULA NETO; SOUZA, 2011). A classificação botânica de todos os indivíduos foi conferida e para aqueles que tiveram perda das placas de identificação, foi feita a reposição das mesmas.

Para as áreas de estudo foram estimados os seguintes parâmetros da estrutura horizontal: densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR), dominância absoluta (DoA), dominância relativa (DoR), frequência absoluta (FA), frequência relativa (FR) e o índice de valor de importância (IVI) (MÜELLER-DOMBOIS; ELLENBERG, 1974).

2.3 Seleção das espécies e indivíduos para a determinação do teor de carbono e densidade

O teor de carbono e a densidade básica da madeira foram obtidos por meio da amostragem do tronco com o uso de um trado de incremento. A seleção das espécies e indivíduos a serem amostrados fundamentou-se na estrutura horizontal das áreas de estudo.

Para a seleção das espécies foram considerados o Índice de Valor de Importância (IVI) e a área basal. O número mínimo de árvores a ser amostrado por espécie para determinação do teor de carbono e da densidade foi proporcional ao valor da densidade relativa obtida com base no inventário florestal (SCOLFORO; THIERSCH, 2004). Por exemplo, se a espécie 1 apresenta valor de DR igual a 30, a espécie 2 DR igual a 15, a 3 DR igual a 12 e as demais espécies DR igual a 25, e foi definida a amostragem de 80 árvores, então, 24 delas serão da espécie 1 ($0,3 \times 80$), 12 da espécie 2 e, assim, sucessivamente. A seleção de quais indivíduos seriam amostrados foi realizada, considerando-se a distribuição diamétrica das árvores registradas no inventário florestal.

Dessa forma, na área correspondente ao remanescente florestal e na área em restauração, foram selecionadas em cada local 20 espécies (cerca de 40% do total) para tradagem. As espécies selecionadas possuem alta importância ecológica e contribuem com 87% da área basal total de cada área avaliada. Em cada área de estudo foram tradadas 50 árvores, perfazendo um total de 14% dos indivíduos amostrados no caso do remanescente florestal e 16% na área em restauração.

2.4 Coleta das amostras de madeira

Nas árvores selecionadas, foram retiradas amostras sem casca (baguetas) de 5 mm de diâmetro a 1,30 m do solo com o auxílio de um trado de incremento introduzido no tronco da árvore em pé até uma profundidade igual à metade do diâmetro (Figura 2a).

As amostras retiradas (Figura 2b) foram acondicionadas em sacos plásticos contendo água, os quais foram armazenados em caixa de isopor, para evitar a perda de umidade das amostras e para mantê-las inteiras (Figura 2c). Cada saco foi, previamente, identificado com o número da amostra, o local e a data de coleta.

Após a retirada da amostra, a lesão foi borrifada com calda bordalesa para prevenir possíveis contaminações da árvore por patógenos. A seguir, foi introduzido um pedaço de madeira no orifício feito no tronco (Figura 2d).



Figura 2 Etapas da coleta das amostras: a) Retirada da amostra com o trado de incremento; b) Amostra coletada; c) Amostras acondicionadas em sacos plásticos; d) Aplicação de calda bordalesa no orifício do tronco

2.5 Estimativa da biomassa

A estimativa da massa de matéria seca lenhosa do estrato arbóreo (MS) foi obtida com base nas variáveis dendrométricas diâmetro à altura do peito (DAP) e altura total, coletadas no inventário florestal nas áreas de estudo. Uma equação alométrica, desenvolvida por Scolforo et al. (2008b), para uma Floresta Estacional Semidecidual nas bacias hidrográficas dos rios Grande e Piracicaba foi utilizada para esse fim (Eq. 1):

$$\ln(MS) = -10,9532786932 + 2,5464820134 \times \ln(DAP) + 0,4667754371 \times \ln(H) \quad (1)$$

$$(\bar{R}^2 = 95,71; S_{yx} = 41,74\%)$$

Em que:

DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm);

H = altura total (m).

2.6 Determinação da densidade básica

A densidade básica da madeira foi determinada para as espécies tratadas, por meio da razão entre a massa da matéria seca (g) e o seu volume saturado (cm³; Eq.: 2):

$$Db = \frac{\text{Massa seca (Ms)}}{\text{Volume saturado (Vs)}} \quad (2)$$

Em que:

Db = Densidade básica da madeira, g cm⁻³;

Ms = Massa de matéria seca em estufa, g;

Vs = volume saturado, cm³.

O volume saturado foi obtido pelo método da imersão que se baseia na variação da massa pela submersão da amostra de madeira em um líquido, nesse caso, a água. Desse modo, foi colocada água dentro de um béquer com dimensão suficiente, para evitar o contato da amostra com as paredes laterais e o fundo, além de permitir a imersão total da amostra. Em seguida, o frasco com água foi colocado em uma balança a qual foi zerada. A amostra saturada foi submersa totalmente no líquido, verificando-se a diferença de massa indicada na balança (Figura 3). Como a densidade da água é de, aproximadamente, 1,0 g cm⁻³ a

diferença da massa em gramas, indicada pela balança, correspondeu ao volume da amostra em centímetros cúbicos.

A densidade básica da madeira de cada espécie amostrada foi obtida pela média aritmética das densidades das amostras da mesma espécie.

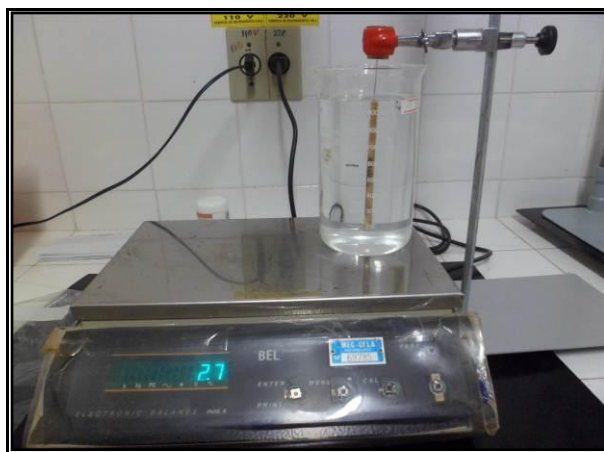


Figura 3 Procedimento de obtenção do volume saturado pelo método da imersão

2.7 Tratamento das amostras para obtenção do teor de carbono

As amostras de madeira coletadas, para determinação da densidade e do teor de carbono, inicialmente, tiveram a sua massa seca determinada. Para tanto, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa com circulação de ar forçada à temperatura de 103 ± 2 °C, até a estabilização do seu peso seco. O material seco em estufa, após pesagem (Figura 4a), foi moído (Figura 4b), macerado com o auxílio de um pistilo (Figura 4c), peneirado em peneira de 60 mesh de granulometria (Figura 4d) e o pó retido nessa foi devidamente armazenado e enviado para análise do teor de carbono, no

Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica no Departamento de Ciências do Solo (DCS) da Universidade Federal de Lavras (UFLA).



Figura 4 Procedimentos para obtenção da massa seca e do material para análise do teor de carbono: a) Pesagem da amostra; b) Moagem da amostra; c) Maceração da amostra; d) Obtenção do pó de madeira

2.8 Determinação do teor de carbono

Baseando-se nas amostras de madeira, previamente, processadas (Figura 5a), foi determinado o teor de carbono. Para tanto, foram utilizadas sub amostras (3 a 5 mg; Figura 5b) acondicionadas em cápsulas de estanho e analisadas (Figura 5c), utilizando-se um analisador do tipo TOC, modelo Vario TOC Cube, da marca Elementar (Figura 5d). No analisador de carbono, as cápsulas de estanho foram injetadas em forno a 950 °C, para combustão a seco. O gás CO₂,

2.9 Estimativa do estoque de carbono

O estoque de carbono total, no remanescente florestal, foi obtido por meio da multiplicação da massa da matéria seca estimada (MS; Eq. 1) pelo teor de carbono obtido em laboratório.

Na área em restauração, o estoque de carbono total foi estimado de três formas distintas. O primeiro método, considerado no presente estudo como gerador da estimativa mais próxima do real, consistiu na multiplicação da MS estimada pelo respectivo teor de carbono das amostras obtido em laboratório. No segundo método, o estoque de carbono foi obtido por meio da multiplicação da MS estimada pelo fator 0,5.

Alternativamente, como o terceiro método, estimou-se o estoque de carbono no estrato arbóreo (C), utilizando uma equação desenvolvida por Scolforo et al. (2008c), para Floresta Estacional Semidecidual das bacias hidrográficas dos rios Grande e Piracicaba (Eq. 3):

$$\ln(C) = -12,3034390630 + 2,6584231780 \times \ln(DAP) + 0,5711719721 \times \ln(H) \quad (3)$$

$$(\bar{R}^2 = 97,25; S_{yx} = 36,40\%)$$

Em que:

DAP = diâmetro a 1,30 m do solo (cm);

H = altura total (m).

Os valores de estoque de carbono obtidos foram extrapolados para hectare.

Foi calculado, também, o incremento periódico anual (IPA; Eq. 4) do estoque de carbono nas áreas de estudo, referentes aos períodos de 2010 e 2013:

$$IPA_c = \frac{C_{2013} - C_{2010}}{n} \quad (4)$$

Em que:

IPA_c = Incremento periódico anual ($t\ ha^{-1}$);

C_{2013} = Estoque de carbono ($t\ ha^{-1}$) em 2013;

C_{2010} = Estoque de carbono ($t\ ha^{-1}$) em 2010;

n = intervalo de medição, no caso, 3 anos.

Para calcular o IPA, os estoques de carbono nos anos de 2010 e 2013 foram obtidos, usando-se a equação 3 (SCOLFORO et al., 2008c), uma vez que a estimativa de estoque de carbono, obtida no ano de 2010, foi realizada usando-se essa equação (FARIA, 2012).

2.10 Análises estatísticas

Na área em restauração, foi realizada a análise de variância e o teste de médias Tukey ao nível de 5% de significância para comparação dos três métodos de quantificação do estoque de carbono.

No remanescente florestal, fez-se a análise de correlação de Pearson, considerando o nível de 5% de significância, para verificar se existe correlação entre os dados de teor de carbono e densidade básica da madeira e de estoque de carbono e área basal.

Realizou-se, também, a espacialização dos dados de estoques de biomassa e carbono no remanescente florestal e na área em restauração, usando-se ferramentas de geoestatística, com base nas coordenadas cartesianas X e Y de 50 árvores amostradas em cada área de estudo. É importante salientar que a geoestatística não se preocupa com a independência das amostras, pois nesta

metodologia considera-se a correlação espacial entre as observações para realizar as análises.

Para a efetivação da análise espacial dos dados, procedeu-se um estudo exploratório, analisando estatísticas descritivas e valores discrepantes. Posteriormente, foi realizado um estudo para verificar a existência de tendência nos dados em relação às suas respectivas coordenadas. Em caso positivo, a mesma foi removida, antes de continuar a análise, passando-se a utilizar os resíduos para a detecção da estrutura de variabilidade.

Após o estudo exploratório, realizou-se a construção do semivariograma experimental, utilizando o estimador de semivariâncias das Medianas, proposto por Cressie (1993; Eq. 5):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\text{med} \left[|Z(x_i+h) - Z(x_i)|^2 \right]^{\frac{1}{2}}}{2(0,457)} \quad (5)$$

Em que:

$\gamma(h)$ é o valor da estimativa da semivariância;

$Z(x_i)$ é o valor da variável no ponto x_i ;

$Z(x_i + h)$ é o valor da variável no ponto $x_i + h$;

$N(h)$ é o número de pares separados por uma determinada distância h ;

$\text{med}\{\cdot\}$ denota a mediana da sequência $\{\cdot\}$.

As semivariâncias, obtidas com os estimadores, geraram uma nuvem de pontos, sobre a qual foi ajustado um modelo teórico de semivariograma, pois é necessária uma representação contínua da dependência espacial. Neste trabalho, foram adotados os modelos esférico, exponencial e o gaussiano. Para o ajuste do modelo teórico, a princípio, foram obtidos os valores dos parâmetros por meio

de um ajuste a sentimento. Posteriormente, foi utilizado o método dos mínimos quadrados ordinários para determinar o ajuste final.

Para escolher qual modelo teórico melhor representa a estrutura de dependência espacial, foi utilizada a validação cruzada. Nela assume-se que determinada amostra não foi coletada e, com base na vizinhança, seu valor é estimado. O modelo escolhido foi o que apresentou o menor Erro Quadrático Médio (EQM). Ao final foram gerados os mapas dos estoques de biomassa e carbono por meio da krigagem.

O estudo das variáveis foi realizado utilizando o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013). Para a análise geoestatística foi usado o pacote geoR (RIBEIRO JUNIOR; DIGGLE, 2001) e o pacote gstat (PEBESMA, 2004).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Remanescente Florestal

A seguir são apresentados os resultados referentes ao remanescente florestal.

3.1.1 Caracterização fitossociológica do remanescente de Floresta Estacional Semidecidual

Com base no inventário florestal, foi possível contabilizar 50 espécies arbóreas, pertencentes a 26 famílias botânicas. As famílias com maior número de espécies no levantamento foram Fabaceae (10), Lauraceae (6) e Myrtaceae (4). Nessa área verificaram-se valores médios de 12,95 cm para DAP, 31,85 m² ha⁻¹ de área basal e uma densidade média de 1.790 indivíduos por hectare.

Na literatura encontram-se publicados alguns estudos fitossociológicos, desenvolvidos na mesma região do presente estudo, ou seja, em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual e empregando o mesmo critério de inclusão (DAP \geq 5 cm). Souza et al. (2003), ao estudarem um fragmento às margens do rio Capivari, Lavras-MG, obtiveram uma área basal de 31,03 m² ha⁻¹ e uma densidade de 1.487 ind ha⁻¹. Espírito-Santo et al. (2002), ao pesquisarem um remanescente de floresta no Campus da Universidade Federal de Lavras, constataram uma área basal de 27,24 m² ha⁻¹ e uma densidade de 1.500 ind ha⁻¹. Vilela et al. (2000), ao estudarem a caracterização estrutural de uma floresta ripária do Alto Rio Grande, em Madre de Deus de Minas, MG, obtiveram uma área basal de 22,92 m² ha⁻¹ e uma densidade de 322 ind ha⁻¹. Ao comparar os dados de densidade e área basal dos trabalhos citados e os do presente estudo,

nota-se que não há uma uniformidade entre as comunidades arbóreas, o que indica que os fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual da região podem apresentar diferenças estruturais marcantes (SOUZA et al., 2003).

Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros fitossociológicos que caracterizam a estrutura horizontal das espécies de maior importância ecológica no remanescente florestal avaliado. Observa-se que as espécies que apresentam um maior índice de valor de importância (IVI) são a *Copaifera langsdorffii* (Fabaceae Caesalpinioideae) e a *Tapirira obtusa* (Anacardiaceae). Oliveira Filho e Ratter (2000) destacam que essas espécies são caracterizadas como de ocorrência comum em áreas ripárias e consideradas como generalistas de ampla distribuição.

Tabela 1 Parâmetros fitossociológicos das espécies de maior índice de valor de importância em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

Espécie	N	DR	DoR	FR	IVI	AB
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	102	28,49	34,06	0,05	62,60	2,17
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	41	11,45	12,86	0,05	24,35	0,82
<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez.	24	6,70	7,91	0,04	14,65	0,50
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marcha.	31	8,66	5,10	0,05	13,81	0,32
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	8	2,24	3,21	0,04	5,48	0,20
<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Be.	8	2,24	2,51	0,04	4,78	0,16
<i>Persea willdenowii</i> Kosterm.	1	0,28	4,15	0,01	4,43	0,26
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	4	1,12	3,20	0,01	4,32	0,20
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	6	1,68	2,26	0,03	3,96	0,14
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	6	1,68	1,91	0,02	3,60	0,12
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	10	2,79	0,68	0,04	3,51	0,04
<i>Protium warmingianum</i> Marchand	8	2,24	1,23	0,05	3,51	0,08
<i>Nectandra nitidula</i> Nees	6	1,68	1,73	0,03	3,43	0,11
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	8	2,24	0,50	0,03	2,76	0,03
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	6	1,68	0,72	0,03	2,43	0,05
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	7	1,96	0,29	0,03	2,28	0,02
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	4	1,12	1,11	0,02	2,25	0,07
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	1	0,28	1,76	0,01	2,04	0,11
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	5	1,40	0,56	0,02	1,97	0,04
<i>Guazuma crinita</i> Mart.	2	0,56	1,33	0,01	1,90	0,08

Nota: N = número de indivíduos; DR = densidade relativa (%); DoR = dominância relativa (%); FR = frequência relativa (%); IVI = índice de valor de importância (%); AB = área basal (m²).

O parâmetro que mais contribuiu para a determinação do valor de importância das espécies foi, no geral, a dominância relativa (DoR), a qual expressa a proporção da área basal total da comunidade arbórea que cada espécie possui. Espécies com alta DoR possuem muitos indivíduos e/ou muitos indivíduos com elevada área basal (MORO et al., 2011). Isso é observado, por exemplo, para a espécie *Copaifera langsdorffii* a qual possui uma alta densidade relativa e a maior DoR entre as espécies amostradas na área de estudo.

Para a caracterização da estrutura diamétrica do remanescente florestal, os indivíduos foram divididos em 11 classes de diâmetro, com amplitude de classe igual a 5 cm. De acordo com a Figura 6, a distribuição diamétrica apresenta-se como um J-invertido, ou exponencial negativo, em que, 44% dos indivíduos estão presentes na primeira classe (5-10 cm). O modelo exponencial negativo sugere que as populações que compõem uma comunidade são autoregenerativas e estáveis, existindo um balanço entre mortalidade, crescimento e recrutamento dos indivíduos (FELFILI, 1995).

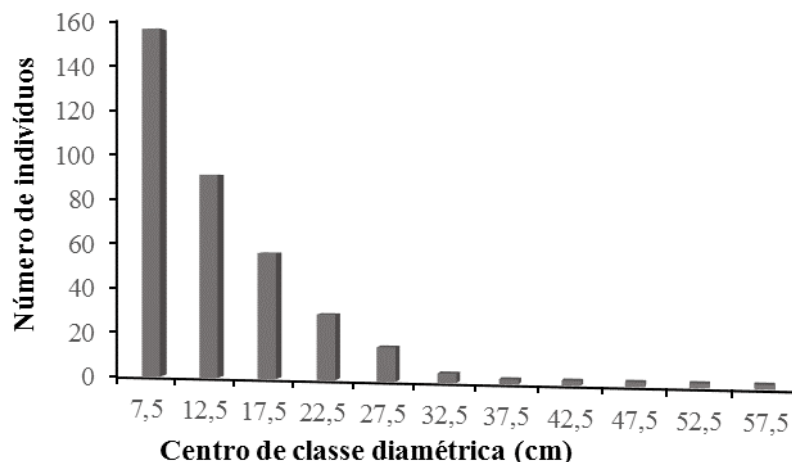


Figura 6 Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados na área de remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

3.1.2 Teor de carbono e densidade básica da madeira

Os valores médios referentes ao teor de carbono e a densidade básica da madeira das espécies amostradas na área de remanescente florestal estão apresentados na Tabela 2. Verifica-se que houve uma variação entre as espécies

de 41,85% e 46,57% para o teor de carbono e $0,38 \text{ g cm}^{-3}$ a $0,77 \text{ g cm}^{-3}$ para a densidade básica da madeira. A espécie que apresentou o menor teor de carbono foi a *Casearia decandra* Jacq.; já para a densidade básica da madeira o menor valor foi encontrado para a espécie *Nectandra lanceolata* Nees. Por outro lado, a espécie que apresentou o maior teor de carbono foi a *Nectandra oppositifolia* Nees e para a densidade básica da madeira o maior valor foi verificado na espécie *Machaerium villosum* Vogel.

Tabela 2 Valores médios de teor de carbono e densidade básica da madeira das espécies amostradas em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

Espécie	Teor de Carbono (%)	Densidade Básica da Madeira (g cm^{-3})
<i>Casearia decandra</i> Jacq.	41,85	0,61
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	42,92	0,56
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	45,40	0,68
<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez.	43,44	0,58
<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	44,35	0,75
<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	42,14	0,65
<i>Guazuma crinita</i> Mart.	43,77	0,48
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	44,20	0,69
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	46,27	0,77
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	44,80	0,64
<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	42,51	0,38
<i>Nectandra nitidula</i> Nees	45,10	0,39
<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	46,57	0,53
<i>Ormosia arborea</i> (Vell.) Harms	43,40	0,70
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	44,70	0,63
<i>Persea willdenowii</i> Kosterm.	46,15	0,60
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	43,39	0,52
<i>Protium warmingianum</i> Marchand	42,89	0,53
<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J.D.Mitch.	43,66	0,47
<i>Vismia brasiliensis</i> Choisy	45,04	0,64
Média (DP)	44,13 (1,37)	0,59 (0,11)
Intervalo de Confiança	44,13 \pm 0,64	0,59 \pm 0,05

Nota: DP = desvio padrão.

Na Figura 7 é apresentado o comportamento do teor de carbono em função da densidade básica da madeira. Nota-se que há pouca relação entre o teor de carbono e a densidade básica da madeira, visto que o coeficiente de correlação entre essas variáveis apresentou-se baixo ($r = 0,217$). Resultados semelhantes foram observados por Sanquetta et al. (2013) que, ao estudarem os teores de carbono e a densidade básica da madeira de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.), D. Don observaram um coeficiente de 0,003 para amostra do cerne e 0,250 para o alburno, verificando que não há uma associação entre essas variáveis mesmo quando se relacionam os valores de cerne e alburno separadamente.

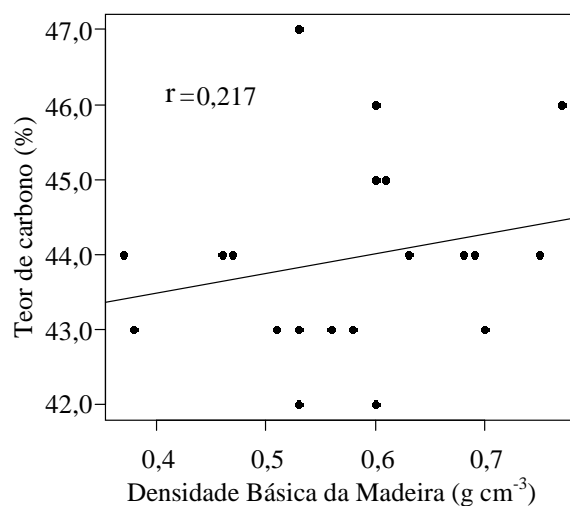


Figura 7 Relação entre o teor de carbono e a densidade básica da madeira para as espécies encontradas em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

Outros trabalhos que avaliaram a relação do teor de carbono com outras variáveis dendrométricas apontam que o mesmo, também, não apresentou uma

relação direta com a variável idade da árvore (MARCENE et al., 2006; SETTE JUNIOR; NAKAJIMA; GEROMINI, 2006). Thomas e Martin (2012) fizeram um levantamento na literatura visando gerar uma ampla base de dados sobre o teor de carbono arbóreo em diferentes biomas e tipologias florestais. Os autores verificaram que a variação dos teores de carbono na madeira ocorre, principalmente, em função da espécie e do bioma no qual a mesma se encontra. Assim, sugere-se que as diferenças dos teores de carbono não estão relacionadas a fatores isolados, mas, sim, ao efeito conjunto de características intra e interespecíficas, além da influência de condições ambientais.

3.1.3 Estoque de carbono e área basal

Os estoques de biomassa e carbono totais, obtidos no remanescente florestal avaliado no presente estudo, foram de 126,92 t ha⁻¹ e 55,91 t ha⁻¹, respectivamente. Ribeiro et al. (2009), ao quantificarem a biomassa do fuste sem casca e o carbono estocado em uma floresta madura, localizada no município de Viçosa, MG, constataram uma estimativa de estoque de biomassa de 166,67 t ha⁻¹, o que correspondeu a 83,34 t ha⁻¹ de carbono. Amaro et al. (2013), ao avaliarem o estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta Estacional Semidecidual em Viçosa, MG, verificaram uma estimativa dos estoques de biomassa e carbono para os fustes sem casca de 103,49 t ha⁻¹ e 49,50 t ha⁻¹, respectivamente.

Ao comparar os estoques de biomassa e carbono totais, obtidos no remanescente florestal deste estudo com os trabalhos supracitados, observa-se que, apesar das áreas estudadas apresentarem a mesma tipologia florestal, essas diferem entre si na quantidade de carbono fixada. Todavia, deve-se considerar que foram utilizados diferentes métodos de amostragem, distintas formas de estimativa do estoque de carbono, além de fatores relacionados à diferença na

composição de espécies e condições edáficas e microclimáticas. Dessa forma, nota-se que, para realizar estudos comparativos de estoque de biomassa e carbono em áreas de vegetação florestal, é necessária uma padronização das metodologias de amostragem e de geração de estimativas.

A relação entre o estoque de carbono e a área basal das espécies amostradas no remanescente florestal está apresentada na Figura 8.

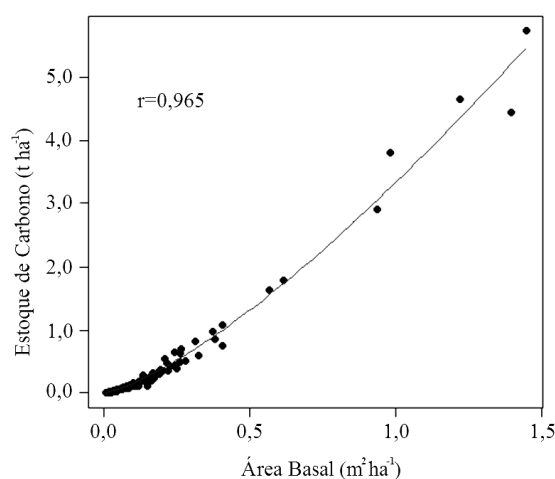


Figura 8 Relação entre o estoque de carbono e a área basal das espécies encontradas em um remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

Observa-se que a área basal tem uma tendência semelhante ao estoque de carbono, ou seja, conforme se aumenta a área basal, o estoque de carbono, também, aumenta. Isso denota o alto grau de correlação entre as variáveis ($r = 0,965$), o que é um fato esperado uma vez que tanto a área basal quanto a biomassa, a partir da qual se obtém o estoque de carbono, possuem grande correlação com a variável diâmetro.

O fato das variáveis estoque de carbono e área basal serem altamente correlacionadas permite inferir que a variável área basal pode ser incluída nos modelos de predição da biomassa e estoque de carbono. Alamgir e Al-Amin (2008), ao avaliarem modelos alométricos, para estimar a biomassa e o estoque de carbono orgânico na vegetação florestal em Bangladesh, constataram que o modelo que utilizou a área basal como variável independente foi o melhor preditor da biomassa e estoque de carbono para árvores dominadas e dominantes. Ribeiro et al. (2011), ao estudarem a biomassa acima e abaixo do solo no Cerrado brasileiro, ajustaram vários modelos alométricos, para predição da biomassa, utilizando como variáveis independentes o diâmetro a altura do peito (DAP), a altura (H), DAP^2H , a densidade básica da madeira e a área basal. Os autores verificaram que o modelo que utilizou apenas a área basal, como variável independente, apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,934$) e menor erro padrão da estimativa ($S_{yx} = 0,224$) representando, assim, uma opção viável para predição da biomassa acima do solo.

3.1.4 Incremento do estoque de carbono entre os períodos de 2010 e 2013

No remanescente florestal, o incremento periódico anual (IPA) variou entre $0,22 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $1,11 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ entre as unidades amostrais, com um valor médio de $0,61 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Souza et al. (2011), ao avaliarem o estoque e crescimento em volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono, em uma Floresta Estacional Semidecidual no Vale do Rio Doce, MG, verificaram na área em estágio avançado de sucessão um incremento periódico anual de carbono de $1,19 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em um período de cinco anos. Souza et al. (2012), ao estudarem a estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono, em uma Floresta Estacional Semidecidual no leste de Minas Gerais,

constataram na área em estágio médio avançado de sucessão um IPA em estoque de carbono de $0,77 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em um intervalo de cinco anos. As diferenças verificadas no potencial de fixação de carbono, entre as diferentes áreas florestais, refletem a variação de inúmeros fatores, incluindo a composição da comunidade arbórea, o histórico de perturbação, o estágio sucessional, além de condições climáticas e edáficas (NGO et al., 2013).

3.1.5 Espacialização dos estoques de biomassa e carbono no remanescente florestal

O melhor modelo espacial ajustado para retratar a continuidade dos dados encontrados na área do remanescente florestal foi o exponencial para os estoques de biomassa (EQM = 18,0978) e carbono (EQM = 9,5329).

Os mapas de krigagem, mostrando a distribuição dos estoques de biomassa e carbono no remanescente florestal, estão apresentados na Figura 9. Nota-se que tons mais escuros indicam os maiores valores de estoques de biomassa e carbono e os tons mais claros representam os valores mais baixos. Os pontos amostrados são representados por círculos e os maiores círculos representam os valores mais altos de biomassa e carbono e os menores os valores mais baixos.

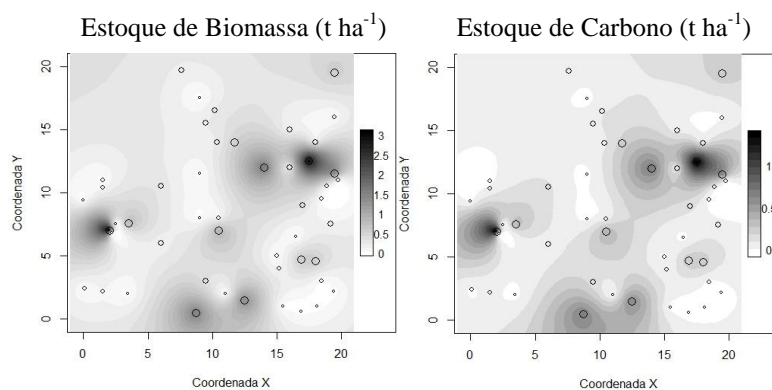


Figura 9 Krigagem ajustada para as variáveis estoque de biomassa ($t\ ha^{-1}$) e estoque de carbono ($t\ ha^{-1}$), presente no estrato arbóreo das espécies mais representativas no remanescente florestal, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

Verifica-se que a distribuição espacial dos estoques de biomassa e carbono, dentro das unidades amostrais, apresentou-se heterogênea, concentrando altos valores em indivíduos de grande porte, mas pouco frequentes. Weber, Sanquetta e Eisfeld (2005), ao analisarem o estoque de carbono, em um fragmento de Floresta Ombrófila Mista, verificaram um comportamento semelhante ao obtido neste trabalho.

3.2 Área em Restauração

A seguir são apresentados os resultados referentes à área em restauração.

3.2.1 Caracterização do estrato arbóreo da área em restauração

No inventário florestal na área em restauração foram encontradas 48 espécies distribuídas em 26 famílias botânicas e uma densidade média de 1.283 indivíduos por hectare. As cinco espécies de maior ocorrência na área foram:

Syzygium jambos (L.) Alston, *Schinus terebinthifolius* Raddi, *Lithraea molleoides* (Vell.) Engl, *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. e *Acacia mangium* Willd., nessa sequência.

Na Tabela 3 estão apresentados os parâmetros fitossociológicos que caracterizam a estrutura horizontal das espécies de maior importância ecológica na área em restauração. Observa-se que a *Acacia mangium* (Leguminosae Mimosoideae) foi a espécie com maior índice de valor de importância (IVI). Essa espécie apresenta rápido crescimento e, conseqüentemente, uma rápida cobertura do solo. Por isso, a *A. mangium* é comumente utilizada na restauração de áreas degradadas (BALIEIRO et al., 2004). No entanto, a espécie apresenta um ciclo de vida curto (FERREIRA et al., 2009), o que não é interessante, ao longo prazo, se a restauração tiver como um de seus objetivos promover o armazenamento do carbono.

No geral, o parâmetro que mais contribuiu para a determinação do valor de importância das espécies foi a dominância relativa (DoR), parâmetro que expressa a proporção da área basal total da comunidade que determinada espécie possui. Espécies com alta DoR possuem muitos indivíduos e/ou muitos indivíduos com elevada área basal (MORO et al., 2011). Isso é evidenciado, por exemplo, para a espécie *Piptadenia gonoacantha* a qual possui um alto valor de área basal e uma baixa densidade relativa.

Tabela 3 Parâmetros fitossociológicos das espécies de maior índice de valor de importância em área de restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

Espécie	N	DR	DoR	FR	IVI	AB
<i>Acacia mangium</i> Willd.	18	5,84	22,04	0,03	27,91	1,26
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.M.	7	2,27	15,68	0,03	17,99	0,90
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	26	8,44	7,75	0,04	16,24	0,44
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	15	4,87	8,17	0,04	13,09	0,47
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	19	6,17	6,16	0,05	12,38	0,35
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	20	6,49	5,43	0,05	11,97	0,31
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	23	7,47	3,51	0,05	11,03	0,20
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	17	5,52	2,28	0,03	7,84	0,13
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) M.	10	3,25	3,60	0,03	6,87	0,21
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	14	4,55	1,33	0,04	5,92	0,08
<i>Lafoensia vandelliana</i> Cham. & Schtdl.	13	4,22	1,40	0,02	5,63	0,08
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	12	3,90	1,63	0,03	5,56	0,09
<i>Rapanea ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Mez.	13	4,22	0,64	0,04	4,90	0,04
<i>Nectandra nitidula</i> Nees	8	2,60	1,19	0,04	3,83	0,07
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	5	1,62	2,18	0,03	3,83	0,12
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	8	2,60	0,95	0,02	3,56	0,05
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	7	2,27	0,84	0,03	3,15	0,05
<i>Inga marginata</i> Willd.	3	0,97	1,70	0,01	2,68	0,10
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	6	1,95	0,45	0,03	2,42	0,03
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	6	1,95	0,29	0,03	2,26	0,02

Nota: N = número de indivíduos; DR = densidade relativa (%); DoR = dominância relativa (%); FR = frequência relativa (%); IVI = índice de valor de importância (%); AB = área basal (m²).

Os valores médios do DAP e da área basal na área foram de 12,18 cm e 23,79 m² ha⁻¹, respectivamente. Para a distribuição diamétrica, os indivíduos foram divididos em 13 classes de diâmetro, com amplitude de classe igual a 5 cm (Figura 10).

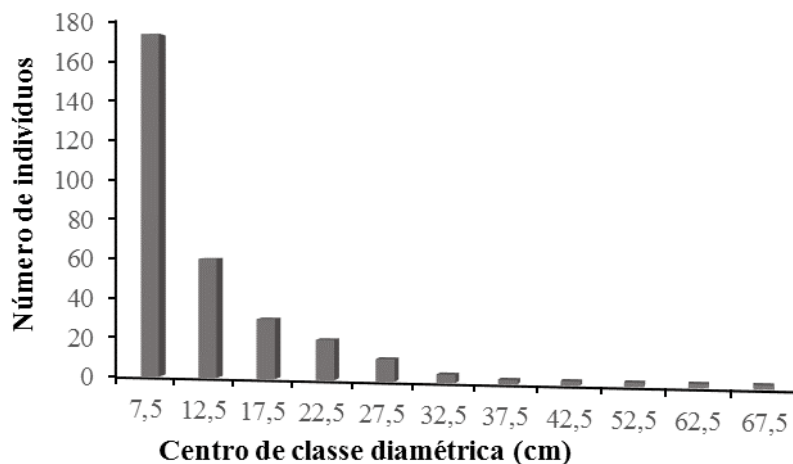


Figura 10 Distribuição diamétrica dos indivíduos amostrados na área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

A distribuição diamétrica apresenta-se como um J-invertido, ou exponencial negativo, em que 56% dos indivíduos estão presentes na primeira classe (5-10 cm). Essa distribuição é característica de florestas naturais, em que a frequência de indivíduos segue uma tendência decrescente com o aumento dos diâmetros (CAMPOS; LEITE, 2013).

3.2.2 Teor de carbono e densidade básica da madeira

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios do teor de carbono e densidade básica da madeira para as espécies de maior importância ecológica na área em restauração. O teor de carbono das espécies amostradas variou entre 43,70% e 46,60%. As espécies que apresentaram o menor e o maior teor de carbono foram, respectivamente, *Lafoensia vandelliana* Cham. & Schltdl. e *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. Já para a densidade básica da madeira as espécies que apresentaram o menor e o maior valor foram, respectivamente,

Cecropia pachystachya Trécul (0,31 g cm⁻³) e *Anadenanthera peregrina* (L.) Speg. (0,72 g cm⁻³).

Tabela 4 Valores médios do teor de carbono e densidade básica da madeira das espécies amostradas na área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

Espécie	Teor de Carbono (%)	Densidade Básica da Madeira (g cm⁻³)
<i>Acacia mangium</i> Willd.	46,30	0,56
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	46,60	0,72
<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	43,80	0,31
<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	44,20	0,41
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	45,40	0,66
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) M.	44,00	0,45
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	43,90	0,41
<i>Inga marginata</i> Willd.	46,40	0,65
<i>Lafoensia vandelliana</i> Cham. & Schtdl.	43,70	0,58
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.	44,20	0,61
<i>Myrcia venulosa</i> DC.	44,80	0,66
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	44,20	0,62
<i>Nectandra nitidula</i> Nees	45,10	0,41
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	44,70	0,55
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr	45,20	0,57
<i>Rapanea ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Mez.	44,40	0,58
<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	44,80	0,52
<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	45,40	0,59
<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	45,80	0,67
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	45,10	0,46
Média (DP)	44,90 (0,88)	0,55 (0,11)
Intervalo de Confiança	44,90 ± 0,41	0,55 ± 0,05

Nota: DP = desvio padrão.

Em trabalho realizado por Amaro et al. (2013) em um fragmento de Floresta Estacional Semidecidual foram apresentados os teores de carbono para quatro espécies em comum com as referidas no presente trabalho:

Anadenanthera peregrina (49,18%), *Copaifera langsdorffii* (47,25%), *Piptadenia gonoacantha* (48,08%) e *Tapirira guianensis* (46,54%). Observa-se que os valores de teor de carbono apresentados pelos autores são superiores aos encontrados no presente trabalho (Tabela 4). Essa diferença pode ser resultado de diversas variáveis, tais como condições de sítio, material genético, tipo de manejo e método de quantificação do teor de carbono e/ou da interação desses fatores (SETTE JUNIOR; NAKAJIMA; GEROMINI, 2006).

Nota-se, com base na Tabela 4, que os valores de teor de carbono para todas as espécies amostradas foram inferiores ao fator 0,5, o qual é comumente utilizado nos trabalhos que visam à quantificação do estoque de carbono. Desse modo, os resultados apresentados atestam que não é recomendado fazer generalizações com relação ao teor de carbono. Assim, é imprescindível determinar com precisão esses valores para as espécies ocorrentes em regiões e biomas distintos, pois diferenças, aparentemente, pouco expressivas podem repercutir em erros na quantificação do estoque de carbono.

Com relação à densidade básica da madeira, os valores das espécies aqui estudadas foram comparados com os dados fornecidos pela *Global Wood Density Database* (ZANNE et al., 2009). Verificou-se que as mesmas espécies apresentaram valores de densidade da madeira distintos. A densidade básica da madeira é uma variável de difícil determinação, uma vez que esta varia entre gêneros, entre espécies de um mesmo gênero e entre árvores de uma mesma espécie (LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000), além da variação determinada por fatores do meio, como clima, solo e topografia. Desse modo, faz-se relevante determinar a densidade básica da madeira para espécies em distintas condições ambientais.

3.2.3 Comparação dos diferentes métodos para estimativa do estoque de carbono

Na área em restauração, os estoques de biomassa e carbono totais foram de 109,40 t ha⁻¹ e 49,73 t ha⁻¹, respectivamente. Na tabela 5 estão apresentados os valores médios de estoque de carbono, obtidos pelos diferentes métodos de estimativa do estoque de carbono testados no presente estudo. Observa-se que os métodos que consistiram na multiplicação da massa de matéria seca (MS) pelo fator 0,5 e no uso da equação desenvolvida por Scolforo et al. (2008c) são estatisticamente iguais, apresentando as maiores estimativas de estoque de carbono. Por outro lado, o método no qual a MS foi multiplicada pelo teor de carbono, obtido em laboratório, é, estatisticamente, diferente dos demais métodos e é o que apresenta a menor estimativa do estoque de carbono. Dessa forma, observa-se que o uso da equação alométrica e de um teor de carbono genérico levou a superestimativa do estoque de carbono na área avaliada.

Tabela 5 Valores médios de estoque de carbono (t ha⁻¹), obtidos pelos diferentes métodos

Métodos	Estoque de carbono (t ha⁻¹)*
MS x 0,5	55,65 a
Scolforo et al. (2008c)	54,70 a
MS x Teor de carbono	49,73 b
CV (%)	4,0

*Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Koehler et al. (2005), ao avaliarem as fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono, fixado em uma Floresta Ombrófila Mista, verificaram que a utilização de equações e de teores de carbono não apropriados levam a estimativas, consideravelmente, diferentes dos valores obtidos em campo. Dessa

forma, verifica-se a importância do uso do teor de carbono das espécies, obtido em laboratório, em vez de um valor genérico. Essa prática contribuiu para aumentar a precisão das estimativas de estoque de carbono geradas considerando métodos indiretos de obtenção da biomassa. Em áreas em restauração, nas quais muitas vezes não é possível realizar o abate das árvores, esse fato é de grande relevância, visto que se insere na estimativa uma maior especificidade ao associar um valor de teor de carbono que reflete as características daquele ambiente.

O uso de uma equação, para estimar o estoque de carbono, mesmo tendo sido desenvolvida para uma mesma tipologia florestal, pode gerar valores não representativos sobre a capacidade das árvores em estocar carbono, uma vez que, principalmente condições ambientais como clima e solo podem influenciar no estoque de biomassa e carbono. Assim, para reverter essa condição, poderiam ser incluídos no modelo de predição variáveis dendrométricas que refletissem as condições ambientais, tais como a densidade básica da madeira (CHAVE et al., 2005; WILLIAMSON; WIEMANN, 2010).

Corte, Silva e Sanquetta (2012) efetuaram a comparação das estimativas de biomassa em *Pinus* spp. utilizando o fator de expansão da biomassa (FEB) e a razão raiz-parte aérea (R) *default* do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006), o FEB e R médios obtidos em campo e o FEB e R obtidos por meio de equações matemáticas desenvolvidas pelos autores. Eles verificaram que, ao utilizar os valores *default* do IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006), em comparação com os obtidos com as equações ajustadas, ocorrem divergências de resultados da ordem de 28,46% nas estimativas de CO₂ equivalente fixadas pelo povoamento florestal. Dessa forma, os autores concluíram que não devem ser utilizados valores *default* para estimativas da biomassa, do carbono fixado e de CO₂, tendo em vista as sérias implicações que elas podem acarretar, por

exemplo, no desenvolvimento de um projeto florestal no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Torres et al. (2013) realizaram um trabalho a fim de quantificar a biomassa e o armazenamento de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, empregando duas metodologias distintas, uma com equações regionais e outra sugerida pelo IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2006). Foi verificado que a metodologia do IPCC apresentou tendência de subestimar a biomassa e o carbono, em comparação com as equações regionais. Os autores destacaram, também, a necessidade da realização de estudos em outros ecossistemas florestais e da padronização das metodologias de quantificação dos estoques de biomassa e carbono na vegetação, para aumentar a qualidade dos bancos de dados e possibilitar a comparação entre diferentes estudos.

3.2.4 Incremento do estoque de carbono entre os períodos de 2010 e 2013

O incremento periódico anual médio do estoque de carbono, nos anos de 2010 a 2013 foi de $3,72 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na área em restauração. Já o incremento médio anual (IMA) do estoque de carbono foi de $2,60 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Melo e Durigan (2006), ao avaliarem a fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares implantados em região de Cerrado, aos nove anos, constataram que esses apresentaram um incremento médio anual de fixação de carbono de $1,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Melo et al. (2009), ao quantificarem os estoques de biomassa e carbono em áreas de Cerrado em restauração, aos seis anos, verificaram um IMA de $2,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Tal fato evidencia que a área, apesar de já estar há 21 anos em processo de restauração, possui um alto incremento em estoque de carbono e, assim, vem conseguindo cumprir as suas funções ambientais como sumidouro de carbono.

3.2.5 Espacialização dos estoques de biomassa e carbono na área em restauração

O melhor modelo espacial ajustado, para retratar a continuidade dos dados encontrados na área em restauração, foi o Esférico (EQM = 1,2692) para o estoque de biomassa e o Exponencial para o estoque de carbono (EQM = 1,2866).

Na Figura 11 estão apresentados os mapas de krigagem, nos quais se observa a distribuição dos estoques de biomassa e carbono na área em restauração. Nota-se que tons mais escuros indicam os maiores valores de estoques de biomassa e carbono e os tons mais claros representam os valores mais baixos. Os pontos amostrados são representados por círculos e os maiores círculos representam os valores mais altos de biomassa e carbono e, os menores, os valores mais baixos. Desse modo, constata-se no mapa que a maioria das regiões possui valores de estoques de biomassa e carbono mais baixos, o que indica um maior número de árvores com menor diâmetro evidenciando, assim, a distribuição diamétrica do tipo “J” invertido.

É possível identificar regiões de destaque, com altas concentrações de biomassa e carbono. Essas regiões são referentes aos locais mais próximos à barragem, fato que explica essas altas concentrações, uma vez que às margens de corpos d’água a capacidade das árvores em acumular biomassa e carbono é superior à capacidade das árvores localizadas mais distantes (MELO; DURIGAN, 2006).

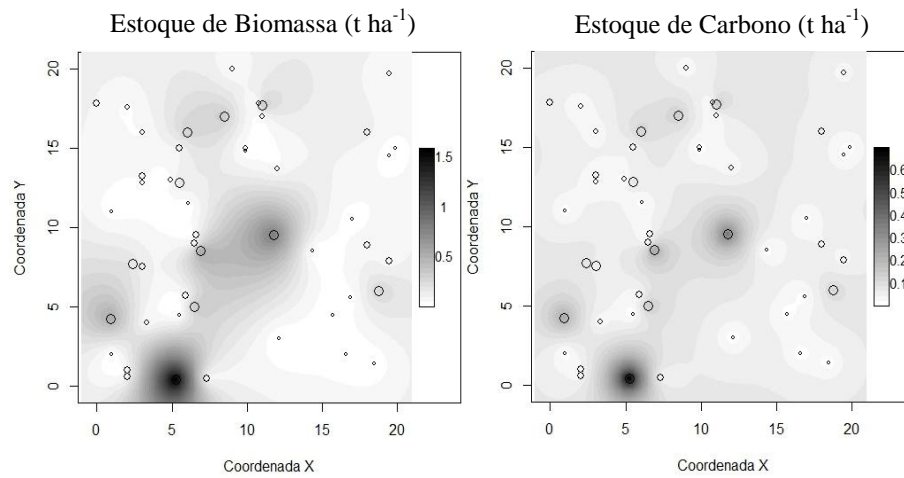


Figura 11 Krigagem ajustada para as variáveis estoque de biomassa (t ha⁻¹) e estoque de carbono (t ha⁻¹), presente no estrato arbóreo das espécies mais representativas na área em restauração, no entorno do reservatório de Camargos, Itutinga, MG

4 CONCLUSÕES

- a) Estimou-se, no remanescente florestal, um estoque de biomassa de $126,92 \text{ t ha}^{-1}$, o que corresponde a $55,91 \text{ t ha}^{-1}$ de carbono e um IPA em carbono de $0,61 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.
- b) Os estoques de biomassa e carbono, na área em restauração, foram de $109,40 \text{ t ha}^{-1}$ e $49,73 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente.
- c) Na área em restauração, o incremento periódico anual em estoque de carbono foi de $3,72 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O incremento médio anual do estoque de carbono foi de $2,60 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.
- d) Na comparação dos teores médios de carbono, obtidos em laboratório com o fator de conversão amplamente utilizado de 0,5, constatou-se que esse superestima o teor de carbono das espécies avaliadas gerando, assim, valores não representativos do estoque de carbono.
- e) O uso do teor de carbono, determinado em laboratório, contribui para aumentar a precisão da estimativa de estoque de carbono.
- f) O teor de carbono possui baixa relação com a densidade básica da madeira.
- g) As variáveis estoque de carbono e área basal apresentam alta correlação.
- h) Entre os métodos de estimativa do estoque de carbono, analisados no presente estudo, verificou-se que o uso da equação alométrica e de um teor de carbono genérico levaram a superestimativas do estoque de carbono na área.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estoques de biomassa e carbono foram de 126,92 t ha⁻¹ e 55,91 t ha⁻¹ no remanescente florestal e de 109,40 t ha⁻¹ e 49,73 t ha⁻¹ na área em restauração. Verificou-se, no remanescente florestal e na área em restauração, um incremento periódico anual em carbono de 0,61 t ha⁻¹ ano⁻¹ e de 3,72 t ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente.

Ao comparar o incremento periódico anual de carbono do remanescente florestal e da área em restauração, constata-se que, na área em restauração, o incremento em estoque de carbono foi maior que no remanescente florestal, o que pode ser atribuído, principalmente, à composição de espécies e ao estágio sucessional das florestas. Tal fato evidencia que a área em processo de restauração, aos 21 anos de idade, apresenta um alto incremento em estoque de carbono e demonstra que, apesar da área ter passado por processos de degradação, esta vem conseguindo cumprir suas funções ambientais, como sumidouro de carbono.

Visto a importância que a variável teor de carbono possui na estimativa dos estoques de carbono, presentes na biomassa florestal e, em função das diferenças de teores de carbono, encontrados entre as espécies, torna-se necessária a realização de mais estudos que visem à determinação dos teores de carbono, para cada espécie, em diferentes regiões e biomas, fornecendo, assim, um maior suporte para a formulação de projetos de créditos de carbono florestal.

As informações geradas por este estudo podem fornecer subsídios para programas de restauração de áreas degradadas que visem promover um aumento do estoque de carbono no local e a comercialização de créditos de carbono florestal. Por outro lado, podem fornecer, também, suporte para implementação de políticas de baixo carbono, assim como na predição da quantidade de dióxido

de carbono que poderá ser emitida para a atmosfera por florestas naturais em caso de desmatamento ou incêndios, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ALAMGIR, M.; AL-AMIN, M. Allometric models to estimate biomass organic carbon stock in forest vegetation. **Journal of Forestry Research**, Nova York, v. 19, n. 2, p. 101-106, June 2008.
- ALMEIDA, E. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; FINGER, Z. Determinação do estoque de carbono em Teca (*Tectona grandis* LF) em diferentes idades. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 559-568, out./dez. 2010.
- AMARO, M. A. et al. Estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 849-857, set./out. 2013.
- ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, n. 138, p. 9-13, 1986.
- ASHTON, M. S. et al. **Managing forest carbon in a changing climate**. Londres: Springer, 2012.
- AZEVEDO, L. G. Tipos de vegetação do Sul de Minas e Campos da Mantiqueira (Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 2, p. 225-234, 1962.
- BAKER, T. R. et al. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 1, p. 545-562, Jan. 2004.
- BALIEIRO, F. de C. et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium* Willd. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 59-65, jan./mar. 2004.
- BOMBELLI, A. et al. **Biomass: assessment of the status of the development of standards for the terrestrial essential climate variables**. Roma: FAO, 2009.
- BOTELHO, S. A. et al. **Implantação de mata ciliar**. Belo Horizonte: CEMIG, 1995.

BRASIL. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. 2009. **Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.htm>. Acesso em: 10 fev. 2014.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: a primer.** Roma: FAO, 1997.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas.** 4. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2013.

CHAVE, J. et al. Error propagation and scaling for tropical forest biomass estimates. **The Royal Society**, Londres, v. 359, n. 3, p. 409-420, Mar. 2004.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, Alemanha, v. 145, n. 1, p. 87-99, Aug. 2005.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, Nova York, v. 320, n. 1, p. 1458-1460, June 2008.

CORTE, A. P. D.; SILVA, F. da; SANQUETTA, C. R. Fator de expansão de biomassa e razão de raízes-parte aérea para *Pinus* spp. plantadas no Sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 755-768, out./dez. 2012.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data.** Nova York: John Wiley, 1993.

DALLAGNOL, F. S. et al. Teores de carbono de cinco espécies florestais e seus compartimentos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 4, p. 310-316, out./dez. 2011.

DAVIDE, A. C.; SCOLFORO, J. R. S.; FARIA, J. M. R. Adaptação de 12 espécies florestais em área de empréstimo. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1. CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS, 1993.

DJOMO, A. N.; KNOHL, A.; GRAVENHORST, G. Estimations of total ecosystem carbon pools distribution and carbon biomass current annual increment of a moist tropical forest. **Forest ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 8, p. 1448-1459, Apr. 2011.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B. et al. Variáveis ambientais e a distribuição de espécies arbóreas em um remanescente de floresta Estacional Semidecídua Montana no campus da Universidade Federal de Lavras, MG. **Acta Botânica Brasília**, Feira de Santana, v. 16, n. 3, p. 331-356, jul./set. 2002.

FARIA, R. A. V. B. **Estoque de carbono e atributos florísticos e edáficos de ecossistemas florestais em processo de restauração**. 2012. 168 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

FELFILI, J. M. Growth, recruitment and mortality in the Gama gallery forest in central Brazil over a six-year period (1985-1991). **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 11, n. 1, p. 67-83, Feb. 1995.

FERREIRA, W. C. et al. Estabelecimento de mata ciliar às margens do reservatório da usina Hidrelétrica de Camargos, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 69-81, jan./mar. 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Good practice guidance for land use, land-use change and forestry**. Japão: IGES, 2003.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the national greenhouse gas inventories programme**. Japão: IGES, 2006.

KOEHLER, H. S. et al. Fontes de erros nas estimativas de biomassa e carbono fixado na Floresta Ombrófila Mista. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 2, n. 1, p. 69-77, jan./mar. 2005.

LATORRACA, J. V. de F.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan./mar. 2000.

LOSI, C. J. et al. Analysis of alternative methods for estimating carbon stock in young tropical plantations. **Forest ecology and Management**, Amsterdam, v. 184, n. 1, p. 355-368, Oct. 2003.

MARCENE, E. A. et al. Variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de *Gmelina arborea* Roxb. na região litorânea do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 55-63, ago. 2006.

MELO, A. C. G. et al. Biomassa, fixação de carbono e estrutura da vegetação de cerrado em restauração aos seis anos, Assis, SP. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 73-78, jun. 2009.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. Fixação de carbono em reflorestamentos de matas ciliares no Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 149-154, ago. 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2007. **Levantamento da cobertura vegetal nativa do bioma Mata Atlântica**. Rio de Janeiro: MMA, Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm>>. Acesso em: 10 fev. 2014.

MIRANDA, D. L. C.; MELO, A. C. G.; SANQUETTA, C. R. Equações alométricas para estimativa de biomassa e carbono em árvores de reflorestamentos de restauração. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 679-689, jul./set. 2011.

MORO, M. F. et al. **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de caso: volume 1**. Viçosa: Editora da UFV, 2011.

MÜELLER-DAMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. Nova York: John Wiley y Sons, 1974.

NGO, K. M. et al. Carbon stocks in primary and secondary tropical forests in Singapore. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, n. 296, p. 81-89, May 2013.

OLIVEIRA FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Padrões florísticos das matas ciliares da região dos cerrados e a evolução das paisagens do Brasil Central durante o Quaternário tardio. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Editora da EDUSP, 2000. p. 73-89.

PEBESMA, E. J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. **Computers & Geosciences**, Nova York, v. 30, n. 7, p. 683-691, Aug. 2004.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 04 jan. 2014.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. R.; DIGGLE, P. J. GeoR: a package for geostatistical analysis. **R News**, Nova York, v. 1-2, p. 14-18, June 2001.

RIBEIRO, S. C. et al. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, n. 3, p. 491-499, Aug. 2011.

RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 5, p. 917-926, set./out. 2009.

SANQUETTA, M. N. I. et al. Teores de carbono e densidade básica da madeira de *Cryptomeria japonica* (Thunb. ex L. f.) D. Don em povoamentos no município de Rio Negro - PR. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 2450-2458, jul./dez. 2013.

SCHNEIDER, P. R. et al. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 391-402, out./dez. 2005.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Equações para a quantidade de carbono das fisionomias, em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W.(Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais**: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Lavras: Editora da UFLA, 2008c. Cap. 9, p. 198-216.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Equações para o peso de matéria seca das fisionomias, em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W.(Ed.). **Inventário Florestal de Minas Gerais**: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Lavras: Editora da UFLA, 2008b. Cap. 3, p. 103-114.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Volumetria, peso de matéria seca e carbono para o domínio atlântico em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; MELLO, J. M.; SILVA, C. P. de C.(Ed.). **Inventário florestal de Minas Gerais**: floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila: florística, estrutura, similaridade, distribuição diamétrica e de altura, volumetria, tendências de crescimento e manejo florestal. Lavras: Editora da UFLA, 2008a. Cap. 8, p. 461-630.

SCOLFORO, J. R. S.; THIERSCH, C. R. **Biometria florestal**: medição, volumetria e gravimetria. Lavras: Editora da UFLA, 2004.

SETTE JUNIOR, C. R.; NAKAJIMA, N. Y.; GEROMINI, M. P. Captura de carbono orgânico em povoamentos de *Pinus taeda* L. na região de Rio Negrinho, SC. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 33-44, jan./mar. 2006.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. de. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora da UFV, 2011.

SOUZA, A. L. de. et al. Estoque e crescimento em volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1277-1285, nov./dez. 2011.

SOUZA, A. L. de. et al. Estrutura fitossociológica, estoques de volume, biomassa, carbono e dióxido de carbono em Floresta Estacional Semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 169-179, jan./fev. 2012.

SOUZA, J. S. et al. Análise das variações florísticas e estruturais da comunidade arbórea de um fragmento de floresta semidecídua às margens do rio Capivari, Lavras, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 185-206, mar./abr. 2003.

THOMAS, S. C.; MARTIN, A. R. Carbon content of tree tissues: a synthesis. **Forests**, Canadá, v. 3, n. 2, p. 332-352, Feb. 2012.

TORRES, C. M. M. E. et al. Quantificação de biomassa e estocagem de carbono em uma Floresta Estacional Semidecidual, no Parque Tecnológico de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 647-655, out./dez. 2013.

VILELA, E. de A. et al. Caracterização estrutural de floresta ripária do Alto Rio Grande, em Madre de Deus de Minas, MG. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 2, p. 41-54, abr./jun. 2000.

WATZLAWICK, L. F. et al. Variação nos teores de carbono orgânico em espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18, n. 3, p. 248-258, jul./set. 2011.

WEBER, K. S.; SANQUETTA, C. R.; EISFELD, R. L. Variação volumétrica e distribuição espacial do estoque de carbono em Floresta Ombrófila Mista. **Revista Acadêmica**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 77-85, abr./jun. 2005.

WILLIAMSON, G. B.; WIEMANN, M. C. Age-dependent radial increases in wood specific gravity of tropical pioneers in Costa Rica. **Biotropica**, Flórida, v. 42, n. 5, p. 590-597, set. 2010.

ZANNE, A. E. et al. Data from: towards a worldwide wood economics spectrum. [S.l]: Global wood density database, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10255/dryad.235>>. Acesso em: 12 jan. 2014.