

FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

MODELOS DE REGRESSÃO E DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA
QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO E BIOMASSA LENHOSA EM FLORESTA
ESTACIONAL DECIDUAL NO BRASIL CENTRAL

JOÃO FELIPE NUNES DE MIRANDA

Engenheiro Florestal

ORIENTADOR: Prof^a. Dr^a. ALBA VALÉRIA REZENDE

CO-ORIENTADOR: Prof^o. Dr. ÉDER PEREIRA MIGUEL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL – UnB

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM-261/2015

BRASÍLIA/DF JULHO DE 2015


UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“MODELOS DE REGRESSÃO E DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS NA
QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO E BIOMASSA LENHOSA EM FLORESTA
ESTACIONAL DECIDUAL NO BRASIL CENTRAL”


JOÃO FELIPE NUNES DE MIRANDA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.


APROVADA POR:



Profª Dra. ALBA VALÉRIA REZENDE (Departamento de Engenharia Florestal-
EFL/UnB);
(Orientadora)



Profº Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE (Departamento de Engenharia
Florestal-EFL/UnB);
(Examinador Interno)



Profº Dr. SAMUEL DE PÁDUA CHAVES E CARVALHO (Universidade Federal
do Mato Grosso – UFMT);
(Examinador Externo)

Profº Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPAR (Departamento de Engenharia
Florestal-EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 26 de junho de 2015.

Á minha família e minha companheira.
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela saúde para caminhar, pela paciência para esperar e pela força para lutar.

A minha família, fonte inesgotável de inspiração, em especial meus pais Jorge Eduardo e Sandra Maria.

A minha companheira Ana Cecília, pelo amor, paciência e apoio, fundamentais para o sucesso dessa jornada. Que possamos trilhar nossos caminhos sempre ao lado um do outro.

A professora Alba e ao professor Éder, pela orientação, amizade e todos os ensinamentos, dois exemplos de profissionalismo.

Aos amigos da pós-graduação que fizeram parte dessa caminhada rica em aprendizado.

Aos amigos de Taguatinga, fonte de conselhos imprescindíveis.

Aos professores pelas lições ensinadas.

Aos funcionários da secretaria de pós-graduação, sempre solícitos.

A CAPES, pela bolsa de mestrado concedida.

Aos professores Ailton Teixeira do Vale, Ricardo de Oliveira Gaspar e Samuel de Pádua Chaves e Carvalho, pelas contribuições e apontamentos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a concretização dessa jornada.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

MODELOS DE REGRESSÃO E DE REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS NA QUANTIFICAÇÃO DE CARBONO E BIOMASSA LENHOSA EM FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL NO BRASIL CENTRAL.

Autor: João Felipe Nunes de Miranda

Orientador(a): Alba Valéria Rezende

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília, junho de 2015.

O presente estudo avaliou e comparou a qualidade de ajuste de modelos alométricos (Spurr, Schumacher & Hall e Husch) e de redes neurais artificiais na estimativa de estoque de biomassa seca e de carbono de árvores com diâmetro a altura do peito (DAP) igual ou superior a 5 cm, em área de floresta estacional decidual, localizada no Município de Campos Belos – GO, no Brasil central. Um total de 74 árvores pertencente a diferentes espécies registradas na área e distribuído em diferentes classes de diâmetro foram cubadas rigorosamente. Tanto para a biomassa seca (total e do fuste) quanto para o carbono (total e do fuste), o modelo de Schumacher & Hall foi o que apresentou melhores medidas de precisão. Foram treinadas 300 RNAs, do tipo MLP (*multilayer perceptron*) para cada variável dependente e as 10 redes com melhores resultados foram retidas para a análise das medidas de precisão. Todas as melhores redes encontradas apresentaram medidas de precisão sensivelmente melhores do que as alcançadas pelo modelo de Schumacher & Hall. Os estoques de biomassa seca total e do fuste foram iguais a respectivamente $65,61 \pm 15,52 \text{ t.ha}^{-1}$ e $34,17 \pm 7,85 \text{ t.ha}^{-1}$. Para carbono, os estoques total e do fuste foram $29,47 \pm 6,93 \text{ t.ha}^{-1}$ e $15,16 \pm 3,48 \text{ t.ha}^{-1}$. *Guazuma ulmifolia*, *Callisthene fasciculata*, *Myracrodruon urundeuva* e *Dilodendron bipinnatum*, além de se destacarem na área por apresentarem maiores valores de IVI (índice de Valor de Importância), também se destacaram por apresentarem maiores estoques de biomassa e carbono.

Palavras chave: Redes neurais artificiais, regressão, biomassa e carbono.

ABSTRACT

REGRESSION MODELS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN THE MEASUREMENT OF CARBON AND WOODY BIOMASS FOR A DECIDUOUS FOREST IN CENTRAL BRAZIL.

Author: João Felipe Nunes de Miranda

Supervisor: Alba Valéria Rezende

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais

Brasília, June 2015.

The aim of this study was to evaluate and compare the quality of the adjustments from the use of allometric models (Spurr, Schumacher & Hall and Husch) and artificial neural networks, and generate stock estimates of dry biomass and carbon from the best method. 15 permanent plots located in a fragment of dry seasonal forest, located in the municipality of Campos Belos - GO were inventoried of 737 individuals sampled 74 were strictly cubed. The model that presented best precision measurements, R^2 adjusted (0.88 to 0.96) and Syx% (9.2% to 28.0%) for both dry biomass (total and bole) and for Carbon (total and bole), was the template of Schumacher & Hall. 300 ANNs of the MLP type (multilayer perceptron) for each dependent variable were trained and the 10 networks with best results were retained for the analysis of precision measurements. All the best networks found had significantly better accuracy measures than those achieved by the Schumacher and Hall model. The stocks of dry biomass, total and bole, and carbon, total and bole, were respectively $65.61 \pm 15.52 \text{ t ha}^{-1}$, $34.17 \pm 7.85 \text{ t ha}^{-1}$, $29,47 \pm 6,93 \text{ t.ha}^{-1}$ e $15,16 \pm 3,48 \text{ t.ha}^{-1}$. The species with highest values of IVI and stock of dry biomass and carbon were *Guazuma ulmifolia*, *Callisthene fasciculata*, *Myracrodruon urundeuva*, *Dilodendron bipinnatum*.

Keywords: Artificial neural networks, regression, biomass, carbon.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo Geral.....	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. O Bioma Cerrado	3
2.2. Floresta Estacional Decidual (Mata Seca).....	5
2.3. Áreas de Transição Savana/Floresta.....	6
2.4. Estoque de Carbono	8
2.5. Redes Neurais Artificiais	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1. Descrição da área de estudo	13
3.2. Coleta de dados	15
3.2.1. Inventário florestal	15
3.2.2. Determinação da amostra para o cálculo do volume.....	16
3.2.3. Determinação do volume	17
3.2.4. Determinação da biomassa verde e seca	18
3.2.5. Determinação do carbono.....	19
3.3. Análise dos Dados.....	20
3.3.1. Ajuste de modelos alométricos para estimativa dos estoques de biomassa e carbono de árvores individuais com $DAP \geq 5$ cm	20
3.3.2. Ajuste de Redes Neurais Artificiais para estimativa para estimativa dos estoques de biomassa e carbono de árvores individuais com $DAP \geq 5$ cm	20
3.3.3. Critérios de seleção dos ajustes.....	21
3.3.4. Validação dos resultados.....	22
3.3.5. Análise de variância dos resultados de validação	22
3.3.6. Análise das principais espécies a partir do Índice de Valor de Importância	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1. Ajuste de modelos alométricos para estimar a biomassa seca (total e do fuste)	24
4.2. Ajuste de modelos alométricos para estimar estoque de carbono (total e do fuste).....	30
4.3. Ajuste de modelos de redes neurais artificiais para estimativa de biomassa seca (total e do fuste).....	35
4.4. Ajuste de modelos de redes neurais artificiais para estimativa de estoque de carbono (total e do fuste)	40
4.5. Validação dos modelos a partir de análises de variância	47

4.6.	Avaliação do inventário florestal	48
4.7.	Estimativas dos estoques de biomassa seca e carbono da vegetação	49
4.8.	Estimativa do estoque em volume de madeira	52
4.9.	Caracterização das principais espécies florestais	53
5.	CONCLUSÕES.....	60
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa demonstrativo da abrangência geográfica original do bioma Cerrado e os estados brasileiros compreendidos por sua vegetação. (Fonte: Ratter *et al.*, 2006). ... 4
- Figura 2:** Distribuição geográfica das Florestas Estacionais Deciduais no Brasil com destaque para a localização da bacia do Rio Paranã, onde foi realizado o presente estudo (Fonte: SCARIOT e SEVILHA, 2005). 6
- Figura 3:** Representatividade das áreas de transição savana-floresta na porção sul do continente americano, com destaque para a região do Cerrado (Fonte: SILVA e BATES, 2002). 7
- Figura 4:** Modelo não linear de um neurônio (Fonte: CARVALHO, 2004). 11
- Figura 5:** Localização geográfica do fragmento de floresta estacional decidual, foco do presente estudo, localizada no Município de Campos Belos – GO. 15
- Figura 6:** Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada a partir das equações ajustadas para estimar a biomassa seca total (BT) e biomassa seca do fuste (BF), considerando árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos - GO. 28
- Figura 7:** Gráficos de resíduos (%) em função do DAP, das equações utilizadas para estimar o carbono total (CT) e carbono do fuste (CF), ajustados para árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos - GO. 34
- Figura 8:** Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada pelas 10 melhores RNAs ajustadas para estimar a biomassa seca total (BT), considerando árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO. 37
- Figura 9:** Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de biomassa seca total (BT), para as árvores amostradas em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO. 38
- Figura 10:** Gráficos de resíduos (%) em função do DAP, das 10 melhores RNAs utilizadas para estimar a biomassa seca do fuste (BF), ajustadas para árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos - GO. 39

Figura 11: Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de biomassa seca do fuste (BF), para os indivíduos amostrados em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã - Campos Belos - GO.....	40
Figura 12: Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada pelas 10 melhores RNAs ajustadas para estimar estoque de carbono total (CT), considerando árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.	42
Figura 13: Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de carbono total (CT), para as árvores amostradas em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.	43
Figura 14: Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada pelas 10 melhores RNAs ajustadas para estimar estoque de carbono do fuste (CF), considerando árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.	45
Figura 15: Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de carbono do fuste (CF), para as árvores amostradas em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.....	46
Figura 16: (a) Distribuição da densidade de árvores amostradas, (b) do estoque em biomassa seca ($kg \cdot ha^{-1}$) e (c) do estoque de carbono ($kg \cdot ha^{-1}$) por classes de diâmetro da comunidade arbórea em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos (GO).	54

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1:** Modelos alométricos ajustados para estimar os estoques de biomassa seca e carbono de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em área de floresta estacional decidual localizada na região nordeste do Estado de Goiás. 20
- Tabela 2:** Distribuição da frequência absoluta por classe de diâmetro das árvores com $DAP \geq 5$ cm e da frequência de árvores cubadas e utilizadas nos ajustes dos modelos de biomassa (total e do fuste) e carbono (total e do fuste) para o fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos – GO. 25
- Tabela 3:** Estimativa dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos testados para estimar o estoque de biomassa total (BT) e biomassa do fuste (BF) das árvores com $DAP \geq 5$ cm amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos - GO. 26
- Tabela 4:** Estimativas por classe de diâmetro da quantidade de biomassa seca (Kg) estocada no fuste e na copa dos indivíduos amostrados no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos - GO. 29
- Tabela 5:** Teor de carbono por espécie utilizado no cálculo dos valores observados de carbono aéreo dos indivíduos amostrados na área de floresta estacional decidual da Fazenda Canaã - Campos Belos - GO. 32
- Tabela 6:** Estimativa dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos testados para estimar o estoque de carbono total (CT) e do fuste (CF) das árvores com $DAP \geq 5$ cm amostradas no fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO. 33
- Tabela 7:** Estimativas por classe de diâmetro dos estoques de carbono (Kg) no fuste e na copa das árvores amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO. 33
- Tabela 8:** Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa da biomassa seca total de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã - Campos Belos - GO. 35
- Tabela 9:** Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa da biomassa seca do fuste de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO. 38
- Tabela 10:** Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa do estoque de carbono total de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO. 41

Tabela 11: Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa do estoque de carbono do fuste de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.	44
Tabela 12: Comparação das medidas de precisão encontradas nos ajustes dos melhores modelos de regressão e das melhores redes neurais artificiais para cada variável dependente analisada.	46
Tabela 13: Análise de variância (fator único) para os resultados obtidos nos testes de validação dos modelos e RNAs com melhores medidas de precisão, utilizadas na geração de estimativas de biomassa total (BT) e do fuste (BF) e carbono total (CT) e do fuste (CF).	47
Tabela 14: Estimadores dos parâmetros da população amostrada para as variáveis densidade e dominância.	48
Tabela 15: Estimadores dos parâmetros das variáveis biomassa seca (toneladas) e carbono (toneladas) para a comunidade ($DAP \geq 5$ cm) amostrada em fragmento de floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.	50
Tabela 16: Estimadores dos parâmetros da população amostrada em fragmento de floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO para a variável volume.	53
Tabela 17: Estoques de biomassa seca total e carbono ($kg \cdot ha^{-1}$) para fuste, copa e total, por espécie para todas as árvores com $DAP \geq 5$ cm, amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.	56
Tabela 18: Estoques de biomassa seca total e carbono ($kg \cdot ha^{-1}$) para fuste, copa e total, das dez espécies de maior IVI, amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.	57

1. INTRODUÇÃO

As florestas vêm se destacando cada vez mais pelo importante papel que desempenham no processo de mitigação do aquecimento global, pois, estocam em sua biomassa aérea e subterrânea, mais carbono do que o existente na atmosfera (VIEIRA *et al.*, 2008; IPCC, 2000), exercendo assim, importante serviço ambiental, já que, a partir do processo fotossintético, retiram o CO₂ da atmosfera, fixando-o em sua biomassa (DIAS-FILHO, 2006).

No entanto, no mundo inteiro, extensas áreas cobertas por florestas e outras formações vegetais naturais vêm, ao longo do tempo, sendo totalmente devastadas ou fragmentadas para dar espaço a outros usos, como agricultura, pastagens, expansão de infraestrutura (transporte), expansão urbana, entre outros.

Nesse contexto e particularmente no Brasil, o Cerrado tem tido grande destaque. Este ecossistema tropical, que é considerado a maior savana neotropical, vem perdendo grande parte da sua cobertura vegetal original. Originalmente, o Cerrado ocupava cerca de 2 milhões de km², ou seja, 23% da área total do Brasil, ficando atrás, em termos de área, apenas da Floresta Amazônica (RATTER *et al.*, 2006), mas, o levantamento mais recente, visando monitorar o desmatamento nos biomas brasileiros por meio de imagens de satélite e realizado por meio de um acordo de cooperação técnica entre o Ministério do Meio Ambiente e o IBAMA, detectou que em 2010, a área remanescente do Cerrado era equivalente a 50,9% de sua cobertura original, embora tenha sido observada significativa redução nas taxas anuais de desmatamento, ou seja: 0,69% ao ano, entre 2002 e 2008; 0,37% ao ano entre 2008 e 2009 e 0,32% ao ano entre 2009 e 2010 (MMA/IBAMA, 2011).

Além de apresentar elevada riqueza e diversidade florística, decorrentes, especialmente, da grande diversidade de paisagens e tipos fisionômicos (MENDONÇA *et al.*, 1998), o Cerrado também tem importante papel no fluxo de carbono, atuando como importante sumidouro na época das chuvas e como relevante fonte no período final da estação seca (BUSTAMANTE *et al.*, 2008). Registros indicam que as savanas, de um modo geral, atuam como reservatórios de biodiversidade (PINHEIRO, 2010), armazenam cerca de 13% do carbono global e, em termos de área, representam aproximadamente 15% dos ecossistemas terrestres (CAMPOS, 2001).

A capacidade de ecossistemas emitirem ou sequestrarem carbono atmosférico é determinada por uma gama de processos físico-químicos e bióticos que atuam em

direções e intensidades diferentes, sendo necessário para o entendimento do papel atual e futuro de um ecossistema no balanço de carbono atmosférico, conhecer e quantificar todos esses processos (ADUAN *et al.*, 2003). Os autores salientam ainda que para o caso específico do Cerrado, objeto deste estudo, a maneira pela qual o carbono é ciclado dentro deste ecossistema, o tamanho de seus principais estoques e a velocidade dos fluxos entre estes estoques, estão longe de serem compreendidos em sua real magnitude, portanto, estudos quantitativos dos teores de carbono nesse ecossistema são fundamentais para a valorização deste importante serviço ambiental prestado pelo bioma.

A quantificação dos estoques de carbono em formações vegetacionais nativas é um processo que demanda além de tempo, uma quantidade elevada de recursos financeiros. Portanto, a utilização de métodos ou técnicas precisas para estimar estes estoques é de fundamental importância para atender diversos objetivos, tanto de uso quanto de conservação da vegetação nativa.

1.1. Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do uso da modelagem por rede neural artificial e por modelos de regressão na quantificação dos estoques de biomassa seca e carbono acima do nível do solo para a vegetação arbórea em floresta estacional decidual na região norte do Estado do Goiás, bem como estimar esses estoques a partir do modelo que apresentar melhores medidas de precisão.

1.2. Objetivos Específicos

- Testar diferentes modelos de regressão para estimar o estoque de biomassa seca e carbono e indicar o melhor modelo ajustado;
- Testar a aplicação da modelagem de rede neural artificial (RNA) para estimar o estoque de biomassa seca e carbono e indicar as melhores arquiteturas de rede;
- Comparar a eficiência do uso dos modelos de regressão e das redes neurais artificiais na estimativa do estoque de biomassa seca e carbono da vegetação por hectare;

- Quantificar as concentrações de carbono para as espécies registradas na floresta estacional decidual.
- Indicar as espécies mais importantes e as que estocam mais biomassa seca e carbono na comunidade vegetal, destacando seus principais usos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Bioma Cerrado

Entre as savanas tropicais do mundo, o Cerrado, que é segundo maior bioma brasileiro, se destaca por possuir uma das floras mais rica e diversa, e com elevado grau de endemismo (RIBEIRO e WALTER, 2008).

O Cerrado está localizado principalmente na região do Brasil Central (Figura 1). O clima que abrange essa região é estacional, com clara diferenciação entre um período chuvoso (outubro a março) e um período seco (abril a setembro). A precipitação média anual é de 1.500 mm e as temperaturas médias são geralmente amenas ao longo do ano, entre 22°C e 27°C (KLINK e MACHADO, 2005).

De uma forma geral, o relevo que abrange a área de cobertura do bioma Cerrado é plano e o solo, na sua grande maioria, é bem drenado e de baixa fertilidade. A vegetação predominante tem porte baixo, mas, também ocorrem fisionomias florestais ocupando áreas com maior disponibilidade de recursos hídricos ou nutricionais. Pastagens sazonais são comuns em locais onde períodos de elevado déficit hídrico são seguidos por períodos de encharcamento do solo (OLIVEIRA FILHO e RATTER, 2002).

Ribeiro e Walter (2008) dividem a vegetação do Cerrado em onze principais fitofisionomias ou tipos vegetacionais, distribuídos em quatro categorias: campestre (campo limpo, campo sujo e campo rupestre), savânica (cerrado *sensu stricto*, parque de cerrado, palmeiral e vereda) e florestal (mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão). O fogo é considerado um dos principais fatores que determinam a distribuição da vegetação no bioma, interferindo fortemente na relação vegetação-ambiente, em particular em áreas de transição floresta-cerrado (OLIVEIRA FILHO e RATTER, 2002).

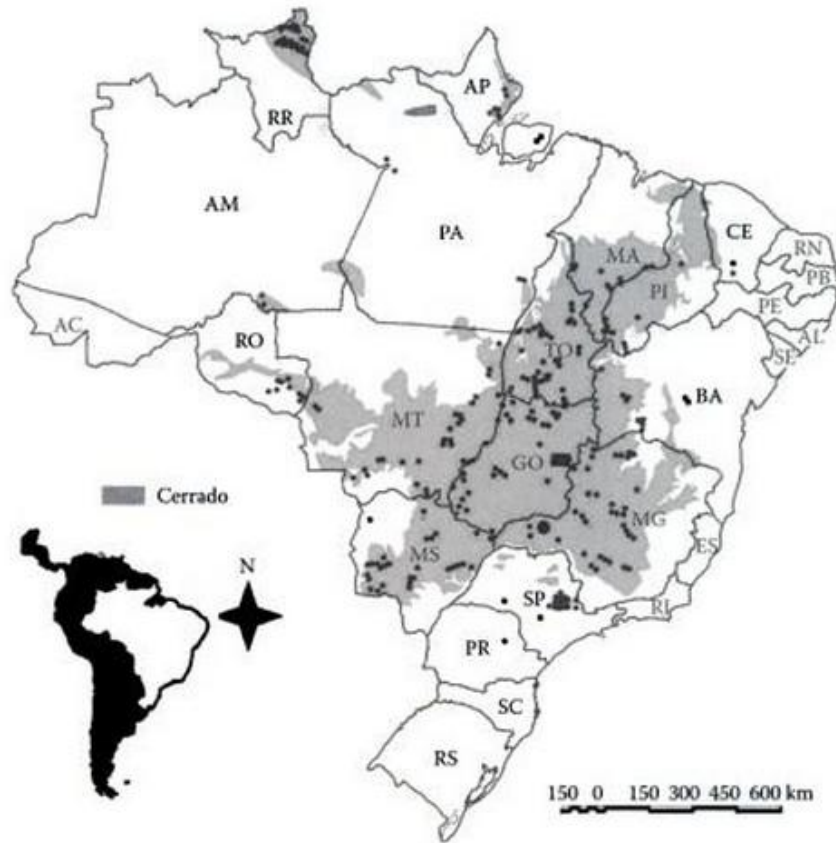


Figura 1: Mapa demonstrativo da abrangência geográfica original do bioma Cerrado e os estados brasileiros compreendidos por sua vegetação. (Fonte: Ratter *et al.*, 2006).

Atualmente, apenas uma pequena área representativa do Cerrado encontra-se protegida em Unidades de Conservação e esta área corresponde a, aproximadamente 2% do bioma (KLINK e MACHADO, 2005). Segundo Carvalho *et al.* (2009), um dos maiores entraves para a conservação do Cerrado está relacionado à fragmentação de seus ecossistemas, que tem sido causada, principalmente, pela desenfreada expansão das fronteiras agrícolas, e que tem acarretado não apenas perdas significativas de habitat, como também a extinção de diversas espécies da fauna e da flora. Para Laurence e Vasconcelos (2009), fragmentação pode ser caracterizada como uma das maiores ameaças à biodiversidade e a principal responsável pelas alterações na composição florística e também pela redução da riqueza de espécies em determinado local.

2.2. Floresta Estacional Decidual (Mata Seca)

As florestas estacionais decíduais ou matas secas recebem esse nome por apresentar alto grau de deciduidade foliar do componente arbóreo (SCARIOT e SEVILHA, 2005). Na estação seca, a perda de cobertura foliar é superior a 50% do total (VELOSO *et al.*, 1991). Essa deciduidade é fortemente influenciada pela estacionalidade climática, pois, o crescimento da floresta ocorre principalmente durante a estação chuvosa, quando a serapilheira depositada sobre o solo durante o período seco se decompõe gerando, conseqüentemente, um aporte nutricional significativo (SCARIOT e SEVILHA, 2005).

Segundo Rizzini (1979), as florestas estacionais decíduais estão distribuídas, principalmente, pelos estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso e Bahia e são geralmente encontradas como fragmentos ou manchas vegetacionais na região do Brasil Central (Figura 2). São encontradas geralmente sobre solos derivados de rochas ricas em minerais que são compostos, principalmente, por ferro e magnésio (REATTO *et al.*, 2008) e sobre rochas calcárias com baixa resistência ao intemperismo, que em função dessa fragilidade estrutural, desenvolvem-se com teores mais elevados de bases trocáveis, como por exemplo, cálcio e magnésio (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Essa formação apresenta fisionomia e composição florística variáveis, em função das condições edáficas dos sítios (IVANUSKAS e RODRIGURS, 2000) e, apesar de possuírem peculiaridade florística acentuada, são áreas com baixa representatividade em unidades de conservação (SILVA e SCARIOT, 2003), o que revela sua importância e a necessidade de intensificação de estudos a cerca de suas características.

Cestaro e Soares (2004) apontam que a avaliação precisa da dinâmica desses ecossistemas pode ser alcançada a partir do desenvolvimento de pesquisas relacionadas à sua composição, riqueza e diversidade de espécies.



Figura 2: Distribuição geográfica das Florestas Estacionais Deciduais no Brasil com destaque para a localização da bacia do Rio Paranã, onde foi realizado o presente estudo (Fonte: SCARIOT e SEVILHA, 2005).

2.3. Áreas de Transição Savana/Floresta

Além do Cerrado apresentar grande diversidade biológica e estar entre os 34 *hotspots* mundiais, ou seja, ser um bioma considerado prioritário para a conservação da natureza (MITTERMEIER *et al.*, 2005), um outro fator que o torna ainda mais relevante é a existência de diversos ecótonos (Figura 3), que, segundo Coutinho (2006), podem ser caracterizados como interpenetrações das floras de duas ou mais formações fitoecológicas, onde a identidade florística é em nível de espécie, não sendo possível determinar a dominância de uma região sobre a outra.

Os ecótonos, também denominados de áreas de transição e áreas de contato (ODUM, 1988), são formações vegetacionais que funcionam como abrigo tanto para as

plantas e animais característicos de cada uma das comunidades sobrepostas, quanto para as espécies exclusivas que sustentam uma comunidade com características distintas das adjacentes (ODUM, 1988; DURIGAN *et al.*, 2008).

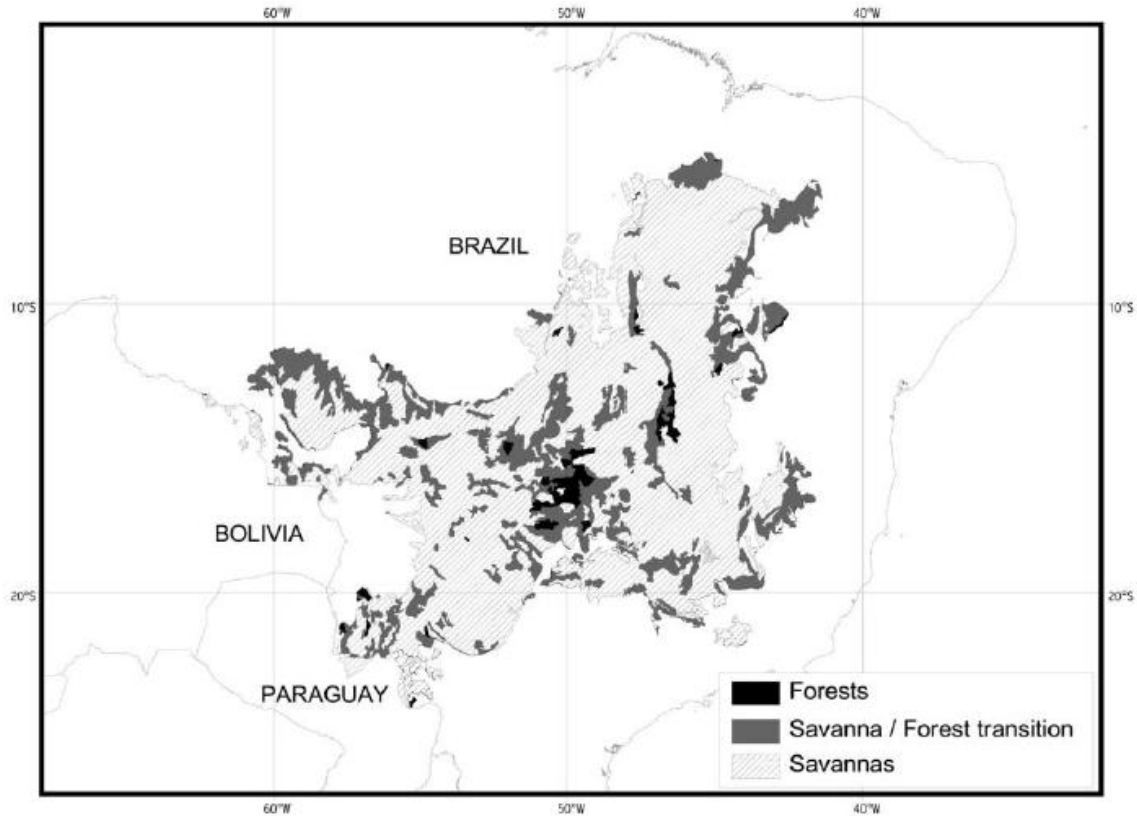


Figura 3: Representatividade das áreas de transição savana-floresta na porção sul do continente americano, com destaque para a região do Cerrado (Fonte: SILVA e BATES, 2002).

Como o Cerrado, de maneira geral, se apresenta em forma de mosaicos vegetacionais, é natural que áreas de contato savana-floresta ocorram, já que a sobrevivência de várias espécies depende tanto da presença da savana quanto da floresta (SILVA *et al.*, 2006). Porém, o acelerado desenvolvimento de centros urbanos e o avanço desenfreado das fronteiras agrícolas têm acentuado progressivamente a deterioração dessas importantes áreas naturais, o que, segundo Guilherme e Nakajima (2007), mostra a necessidade de investigação e monitoramento desses remanescentes, possibilitando assim a formulação de metodologias para diferentes estudos, além de subsidiar a formulação de políticas públicas de conservação e manejo.

2.4. Estoque de Carbono

Estudos envolvendo quantificação do estoque de carbono tanto na biomassa lenhosa, aérea e subterrânea, quanto no solo das formações vegetacionais dos biomas brasileiros, ainda são bastante raros. Dos estudos existentes, grande parte está concentrado na Floresta Amazônica, contudo, muitos deles foram realizados em áreas bem pontuais (SCHROEDER e WINJUM, 1995; SANTOS, 1996; HIGUCHI *et al.*, 1998; HIGUCHI *et al.*, 2004; NOGUEIRA *et al.*, 2008; SOUZA *et al.*, 2012b).

No caso do bioma Cerrado, que é o objeto desta pesquisa, as informações sobre estoque de carbono na vegetação e no solo ainda são bem mais raras (CASTRO e KAUFFMAN, 1998; OTTMAR *et al.* 2001; REZENDE, 2002; ADUAN, 2003; GRACE *et al.*, 2006; REZENDE *et al.*, 2006; SCOLFORO *et al.*, 2008; PAIVA *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2011). Dos estudos existentes, a maioria mostra resultados bem distintos (MIRANDA e SATO, 2005), o que, segundo os mesmos autores pode ser devido, principalmente, a sazonalidade climática na região, as grandes variações na estrutura da vegetação e, também, as diferentes abordagens metodológicas utilizadas na quantificação do estoque de carbono. O fogo também é considerado um dos principais fatores de modificação dos estoques de carbono em ambientes de Cerrado, e sua influência pode variar em função da intensidade e frequência dos incêndios florestais (MIRANDA e SATO, 2005).

Castro e Kauffman (1998) quantificaram o estoque de carbono em quatro fitofisionomias do Cerrado (campo limpo, campo sujo, cerrado aberto e cerrado denso) no Distrito Federal e verificaram elevada variação no estoque de carbono entre as fitofisionomias, tanto para a biomassa aérea quanto para a biomassa subterrânea. Para a biomassa aérea, o estoque variou de 5,5 a 29,4 t C ha⁻¹ (t C = tonelada de carbono) e, para a biomassa subterrânea, o estoque ficou entre 16,3 e 52,9 t C ha⁻¹. Os maiores e menores valores de biomassa subterrânea e aérea foram registrados, respectivamente, em áreas cobertas por cerrado denso e por campo limpo e, a biomassa subterrânea foi a mais representativa do que a aérea.

Ottmar *et al.* (2001) também obtiveram valores bem variáveis para o estoque de carbono aéreo (vivo e morto) em cinco fitofisionomias do Cerrado espalhadas pela região central do país, ou seja: 3,78 a 16,57 t C ha⁻¹ para campo limpo, 6,68 a 15,77 t C ha⁻¹ para campo sujo, 12,55 a 39,05 t C ha⁻¹ para cerrado ralo; 20,9 a 58,01 t C ha⁻¹ para cerrado *sensu stricto* e 29,9 a 71,89 t C ha⁻¹ para cerrado denso.

Rezende (2002), estudando uma área de cerrado *sensu stricto*, localizada no Distrito Federal, encontrou valores estimados de biomassa aérea e subterrânea, iguais a, respectivamente, 11,6 t C ha⁻¹ e 18,6 t C ha⁻¹. Para o solo, essa autora estimou um estoque de 202 t C ha⁻¹.

No estudo realizado por Castro (1996), em diferentes fitofisionomias de cerrado *lato sensu* no Distrito Federal, foram estimados estoques de carbono no solo que variaram de 229,50 t C ha⁻¹, em área de campo sujo, a 293,34 t C ha⁻¹, em área de cerrado denso. Castro (1996) também verificou que o maior estoque de carbono estava concentrado no solo (>86%), seguido pelos estoques de carbono na biomassa de raízes e na biomassa aérea.

Scurlock e Hall (1998) observaram que para ecossistemas savânicos, os teores de carbono no solo ultrapassam a proporção de quatro quintos do carbono total, porém ressaltaram que a distribuição de carbono nesses ambientes é bastante irregular. Ainda, segundo esses autores, o desmatamento de ambientes de savana pode levar a um rápido declínio no teor de carbono no solo, mas, o aumento da biomassa arbórea a partir de plantio de mudas nativas poderia aproximar os valores típicos dessas áreas (67 t C ha⁻¹) dos valores médios de florestas tropicais (149 t C ha⁻¹).

Segundo Grace *et al.* (2006), as savanas tropicais podem ser notavelmente produtivas, com uma produtividade líquida primária que varia de 1 a 12 t C ha⁻¹ ano⁻¹. Os valores mais baixos são encontrados em savanas áridas e semi-áridas, que ocorrem em regiões extensas da África, Austrália e América do Sul. A média global dos casos revisados pelos autores foi de 7,2 t C ha⁻¹ ano⁻¹. Esses autores ainda acrescentam que a taxa média de sequestro de carbono nas savanas tropicais é estimada em 0,14 t C ha⁻¹ ano⁻¹, o que corresponde a 0,39 Gt C ano⁻¹, ou seja, aproximadamente 15% do carbono fixado pela vegetação de todo o planeta.

Coutinho (1990) e Miranda *et al.* (2002) constataram elevado acúmulo de biomassa morta durante a estação seca, o que reflete a importância da sazonalidade climática na determinação de ciclos sazonais do fluxo de CO₂ (MIRANDA *et al.*, 1997; PINTO *et al.* 2002). A sazonalidade é também responsável pelo ciclo anual de substituição das folhas e produção de serapilheira por espécies lenhosas (OLIVEIRA, 1998).

Miranda *et al.* (1997) estudaram um cerrado denso localizado na Estação Ecológica de Águas Emendadas – ESEC-AE e verificaram que na estação seca o mesmo se comportava como fonte de carbono para a atmosfera e na estação chuvosa,

esse acumulou em média 15 Kg de carbono por hectare por dia, com uma assimilação líquida resultante igual a 2 toneladas de carbono por hectare.

Estudos realizados em formações savânicas e campestres pelo mundo indicam que as mesmas possuem juntas uma assimilação líquida resultante de aproximadamente $0,5 \text{ Pg C ano}^{-1}$ (SCURLOCK e HALL, 1998).

As savanas do mundo possuem uma taxa de fixação de carbono anual estimada de 17 Pg C^1 , valor esse que se somado aos 18 Pg C fixados anualmente pelas florestas tropicais, responderiam por aproximadamente 60% de toda a taxa fotossintética do planeta Terra (FIELD *et al.*, 1998).

2.5. Redes Neurais Artificiais

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são modelos matemáticos que usam a inteligência artificial para resolver determinados problemas complexos. São formadas por elementos de processamento simples, ou seja, os neurônios artificiais, que são ativados por uma função, denominada função de ativação, que gera uma única resposta para o ajuste. Os neurônios são ligados entre si por conexões, geralmente, associadas a coeficientes ou pesos, que são ajustados por algoritmos de treinamento/aprendizado. Os neurônios são responsáveis pela retirada das peculiaridades da base de dados e o armazenamento do conhecimento das redes (BRAGA *et al.*, 2007).

Segundo Carvalho *et al.* (1998), o algoritmo de treinamento consiste de um conjunto de regras bem definidas para a solução de um problema de aprendizado. A opção do algoritmo de treinamento interfere especificamente na fuga de mínimos locais, na atuação da tarefa desejada e na duração de treinamento.

O treinamento consiste em um problema de otimização dos parâmetros da rede (seus pesos sinápticos), para que possam responder às entradas conforme esperado, até que o erro, entre os padrões de saída gerados pela rede, alcance valor mínimo desejado (PORTUGAL, 1995).

Um neurônio artificial é a unidade de processamento de informação de uma RNA e é constituído de “n” entradas x_1, x_2, \dots, x_n (dendritos) e uma saída y (axônio). As entradas são associadas a pesos w_1, w_2, \dots, w_n que representam as sinapses, que podem ser negativas ou positivas (BINOTI, 2010).

¹ $1 \text{ Pg} = 10^{15} \text{ g}$

Aconselha-se que no uso de RNA sejam utilizadas configurações mais simples, com o menor número de neurônios possível na camada oculta, para evitar o *overfitting* (sobreajuste), que consiste no aprendizado excessivo das informações contidas nos dados oferecidos à rede. O *overfitting* faz com que as redes se tornem tão bem treinadas sobre o conjunto de dados, que acabam assimilando, não apenas a semelhança estrutural entre as variáveis, mas também o erro da relação, e isto faz com que a rede não possa ser usada na amostra de dados por inteiro, pois, sua capacidade de generalização fica comprometida. As configurações mais simples facilitam o processo de busca e otimização da configuração para determinada tarefa (RUSSELL e NORVIG, 2010).

A arquitetura de uma RNA é definida pelo seu número de camadas, pelo número de neurônios em cada camada e pelo tipo de conexão entre os neurônios. O algoritmo mais conhecido é o de retropropagação do erro ou *back-propagation* (BRAGA *et al.*, 2000).

De acordo com Schoeninger *et al.* (2008), o número de neurônios de saída é fixo em um (Figura 4), pois se considera uma saída exclusiva e não binária. Assim, cada neurônio de saída representa um valor gerado pelo produto dos pesos da matriz.

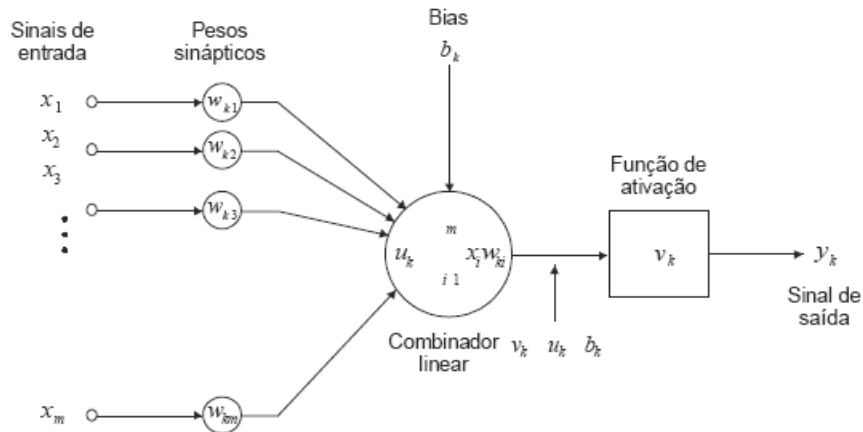


Figura 4: Modelo não linear de um neurônio (Fonte: CARVALHO, 2004).

As RNAs, quando comparadas aos métodos estatísticos tradicionais, têm se mostrado como uma alternativa para representar tanto relações lineares quanto não lineares, comportamento que descreve a grande maioria das relações naturais. Segundo Hakin (2001), a diferença fundamental entre o processamento clássico de informações e o processamento de uma rede neural é que o primeiro exige a formulação de um modelo matemático a partir das observações do ambiente e, em seguida, tem-se a validação do

modelo com dados reais e a estruturação de um projeto baseado nesse modelo. Já o projeto de uma rede neural é baseado diretamente nos dados do ambiente, possibilitando assim que o conjunto de dados fale por si mesmo, ou seja, a rede não só fornece o modelo implícito do ambiente no qual está inserida, como também realiza a função de processamento da informação de interesse.

Braga *et al.* (2000) definem as RNA's como sendo um sistema que possui semelhanças com o cérebro humano, como, por exemplo, no caso da aprendizagem e da generalização de informações, em função do processamento paralelo e da massiva conectividade dos elementos de processamento, que podem ser relacionados aos neurônios, dispostos em uma ou mais camadas.

As RNA's são classificadas principalmente em função de sua forma de aprendizado, ou seja, supervisionada, quando o usuário indica as variáveis de entrada e não supervisionada (ou de saída), quando não existe indicação da resposta desejada para os padrões de entrada por um agente externo (HAYKIN, 2001). Também podem ser classificadas quanto a sua estrutura, e, neste caso, existem as redes de múltiplas camadas (*multilayer feedforward network*), cujo fluxo de dados segue uma única direção, e as redes recursivas (*recurrent network* ou *backpropagation*), onde o fluxo de dados segue várias direções (MEDEIROS, 1999).

Na Ciência Florestal, a RNA mais comumente usada tem sido a supervisionada, onde a solução de determinado problema se dá a partir da repetição de um conjunto de treinamentos da rede. Treinar uma rede significa ajustar a sua matriz de pesos de entrada, de forma que o vetor de saída coincida com certo valor desejado para cada vetor de entrada (SCHOENINGER *et al.*, 2008). De acordo com Braga *et al.* (2000), o treinamento de uma RNA tem como objetivo reconstruir um vetor original e criar um padrão.

Castellanos *et al.* (2007) afirmam que a aplicação das RNAs no manejo de florestas e em técnicas de biometria e inventário florestal, permite maior precisão nas estimativas da produção, respaldando assim diferentes tomadas de decisão.

Silva *et al.* (2009) utilizaram diferentes arquiteturas de RNA's para a estimar volume de árvores de eucalipto e verificaram que o método apresentou boa adequação ao problema, com elevada precisão nas estimativas. Constataram ainda que, como o processo é aleatório, a obtenção da arquitetura adequada da rede neural depende de inúmeras tentativas, tendo em vista que o número de neurônios por camada não se baseia em nenhum critério.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido na região nordeste do Estado de Goiás, Município de Campos Belos (Zona 23 S, coordenadas UTM 331857 Oeste e 8562872 Sul), situado a 700 m de altitude, na Bacia do Rio Tocantins, microrregião da Chapada dos Veadeiros.

O clima na região é do tipo Aw – savana tropical, segundo a classificação de Köppen-Geiger (IBGE, 1995), com duas estações bem definidas: uma chuvosa (verão úmido), de dezembro a abril e uma seca (inverno seco), de maio a novembro. A temperatura média mensal na região oscila entre 20° C e 22° C, com médias máxima e mínima iguais a, respectivamente, 36°C no mês de setembro e 16°C no mês de julho. A pluviosidade média anual é de, aproximadamente, 900 mm, sendo as maiores médias registradas entre os meses novembro e março e, as menores, entre os meses de julho e setembro (SIMEHGO, 2010).

O Estado de Goiás está inserido na área core do Cerrado, mas, se destaca por apresentar o maior déficit de remanescentes do bioma (Sano *et al.*, 2008). O mapeamento mais recente, realizado no âmbito do Projeto de Identificação de áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Estado de Goiás (PDIAP), indicou que 64% da cobertura vegetal nativa do Estado já tinham sido convertidas em pastagens cultivadas (26,5%), áreas agrícolas (10%) e em outras formas de uso (Sano *et al.*, 2008). Atualmente essa perda pode ser ainda maior, tendo em vista que a fronteira agrícola na região continua em franca expansão.

De uma forma geral, a devastação do Cerrado no Estado de Goiás se concentrou mais em algumas regiões. O nordeste do Estado, que é a área de abrangência deste estudo, ainda apresenta remanescentes, pouco fragmentados, de algumas fitofisionomias do Cerrado, apesar de que, ao longo dos anos, esta região também vem sendo degradada, e se consolidando como área produtora de carvão vegetal (Sano *et al.*, 2008).

Muitas das áreas remanescentes na região nordeste de Estado de Goiás estão localizadas em áreas com relevo acidentado e com acentuada declividade, o que dificulta o avanço tanto da agricultura mecanizada quanto da pastagem cultivada, favorecendo, conseqüentemente, a preservação da cobertura vegetal nativa no local.

Nesta região é comum observar encaves de floresta estacional decidual na forma de fragmentos, distribuídos ao longo da paisagem, sendo que a maioria apresenta sinais de distúrbios antrópicos decorrentes de um ou mais eventos como, incêndios florestais, extração de madeiras de interesse comercial para uso local e pastagem de gado.

Destaca-se também na região, a presença de áreas de contato savana-floresta estacional, ou tensão ecológica, que são ainda muito pouco estudadas no âmbito do bioma Cerrado, e que se caracterizam pelo contato das floras de duas ou mais regiões fitoecológicas, que se justapõem e interpenetram-se. No caso da região estudada, o contato ocorre entre a floresta estacional e o cerrado *sensu stricto*.

Para atender este estudo foi selecionado um fragmento de floresta estacional decidual, de 90 ha, pertencente a uma propriedade particular, denominada Fazenda Canaã (Figura 5). Grande parte da área da Fazenda Canaã é ocupada por pasto e cultivo de grãos. As áreas que se encontram preservadas são cobertas por cerrado *sensu stricto* e floresta estacional decidual. O solo predominante da região é do tipo cambissolo (IBGE, 1995).

O fragmento de floresta estacional decidual selecionado encontra-se em uma encosta, com declividade máxima de 24%, sobre afloramento de rochas calcárias e faz contato com a fitofisionomia cerrado *sensu stricto*.

O fragmento apresenta boas condições de preservação, mas, existem evidências na área de extração seletiva de madeiras comerciais. As espécies mais exploradas são *Myracrodon urundeuva* (Aroeira) e *Callisthene fasciculata* (Pau-jacaré), que são utilizadas, principalmente, na construção de cercas e pilares.

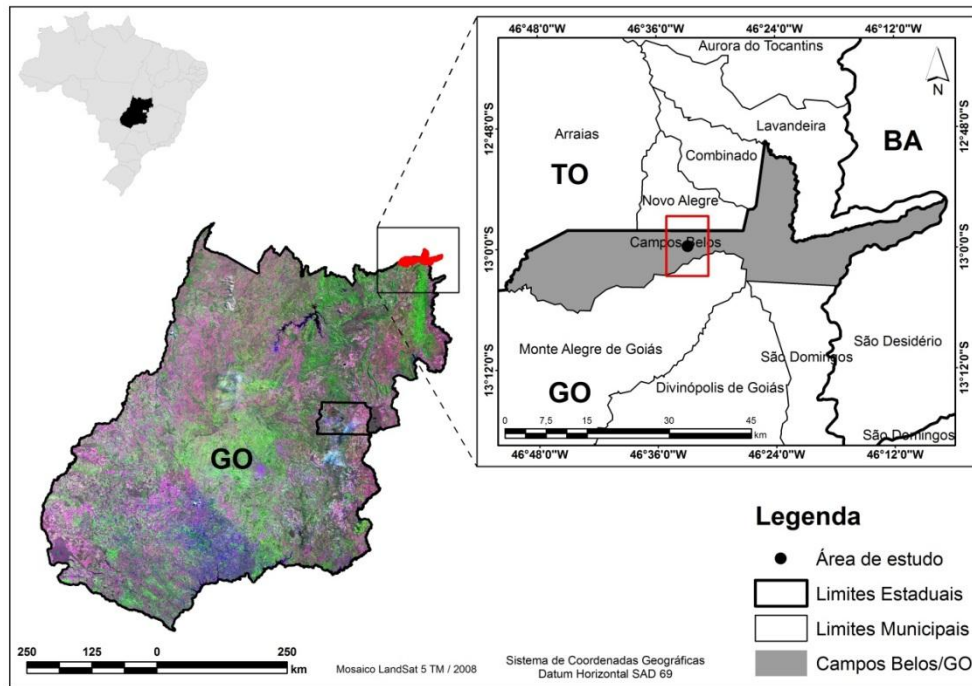


Figura 5: Localização geográfica do fragmento de floresta estacional decidual, foco do presente estudo, localizada no Município de Campos Belos – GO.

3.2. Coleta de dados

3.2.1. Inventário florestal

O inventário florestal no fragmento de floresta estacional decidual foi realizado a partir do processo de amostragem em dois estágios (PÉLLICO NETO e BRENA, 1997). O primeiro estágio consistiu na divisão da área do fragmento em transectos de 20 m x 200 m (unidades primárias), perpendiculares a encosta. Em seguida, procedeu-se a escolha aleatória de três transectos para compor a amostra. O segundo estágio consistiu na subdivisão dos transectos selecionados em subunidades de 20 x 20 m (400 m²) e, em seguida, na amostragem sistemática de cinco dessas subunidades dentro de cada unidade primária ou transecto. A sistematização se deu a partir da seleção aleatória da primeira subunidade dentro de uma unidade primária com posterior seleção alternada das demais subunidades.

No total, foram amostradas no fragmento 0,6 hectares. Em cada subunidade de 400 m² amostrada foram registrados todos os indivíduos arbóreos, vivos e mortos em pé com DAP igual ou superior a 5 cm. Os indivíduos foram etiquetados com placas de alumínio numeradas e identificados botanicamente a partir do sistema de classificação

APG III (2009). As coordenadas X,Y de cada indivíduo foram registradas, bem como seus respectivos valores de DAP e altura total (Ht). Os diâmetros foram tomados com o auxílio de uma suta metálica e as alturas com uma régua telescópica de 15 m. Árvores com mais de um fuste bifurcando-se abaixo do DAP, tiveram cada fuste medido separadamente.

Cada subunidade amostral de cada transecto foi georreferenciada com o uso de um GPS e seus vértices foram demarcados com estacas de ferro, visando o monitoramento contínuo da vegetação.

3.2.2. Determinação da amostra para o cálculo do volume

Para seleção das árvores que seriam cubadas rigorosamente visando a determinação dos estoques de biomassa seca e carbono, foi definido que seriam selecionadas árvores representativas de diferentes classes de diâmetro registradas no inventário florestal e, dentro de cada classe de diâmetro, deveria ser amostrado o maior número de espécies possível, ou seja, sendo indicado pelo menos uma espécie por árvore cubada. Tal procedimento foi tomado para que a cubagem pudesse compreender a maior amplitude de diâmetros possível e também a maior diversidade de espécies registrada na área, em todos os níveis de tamanho.

Desta forma, todas as árvores, vivas e mortas em pé, com $DAP \geq 5$ cm, amostradas no inventário florestal, foram distribuídas em classes de diâmetro, considerando um intervalo de classe de 5 cm.

Em seguida foi determinado, aproximadamente, o número provável de árvores e de espécies a ser cubado por classe de diâmetro, sendo estabelecido um percentual de 10% de árvores para cada classe, bem como o número aproximado de espécies por classe de diâmetro.

A partir do número de árvores por espécie a ser cubado foi verificado junto ao proprietário da Fazenda Canaã, um local apropriado para realização da cubagem rigorosa, já que não era possível abater as árvores na mesma área onde foi realizado o inventário, considerando que o inventário florestal foi realizado com o objetivo de monitorar a dinâmica da vegetação estudada.

Diante disto, a seleção das árvores foi realizada em uma parte do fragmento que não tinha sido considerada no computo da área destinada ao inventário florestal, por ser uma área que o proprietário já tinha a autorização do órgão ambiental competente da

região, para a derrubada da vegetação nativa visando a implantação de pastagem. Tal área apresentava-se bastante degradada, com muitos sinais de exploração. Desta forma, foram identificadas nesta parte do fragmento, as árvores pertencentes a cada classe de diâmetro e a cada espécie, para realização da cubagem rigorosa, considerando, no entanto, o requisito de ter em cada classe de diâmetro, pelo menos um representante de cada espécie registrada no inventário.

3.2.3. Determinação do volume

Após a localização das árvores na área destinada a cubagem, estas foram cortadas ao nível do solo, com o uso de motosserra. Fuste e galhos foram separados, seccionados (quando necessário). Seções de galhos e fustes inferiores a 3 cm de diâmetro não foram incluídas na quantificação do volume da árvore. Como muitos indivíduos apresentavam tortuosidade acentuada tanto ao longo do fuste quanto dos galhos, decidiu-se que a cubagem rigorosa seria realizada em seções de comprimentos variáveis. O volume de cada seção foi determinado pela fórmula de Smalian (SCOLFORO e THIERSCH, 2004; MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2006), que é dada por:

$$v_i = \frac{g_i + g_{i+1}}{2} * l$$

em que:

v_i = Volume da seção i do fuste ou de galhos (m³);

g_i = Área transversal na base da seção i do fuste ou de galhos (m²);

g_{i+1} = Área transversal no topo da seção i do fuste ou de galhos (m²);

l = Comprimento da seção i do fuste ou de galhos (m);

i = Número de seções do fuste ou de galhos (i= 1, 2, 3,.....,n).

O volume total da árvore foi obtido então da seguinte forma (SCOLFORO e THIERSCH, 2004):

$$v = v_c + \sum_{i=1}^n v_i \qquad v_c = g_c * l_c$$

em que:

v = volume total da árvore (m³);

v_i = volume da seção i da tora ou do galho (m³);

v_c = volume da cepa (m³);

g_c = área seccional tomada na base mais fina da cepa (m²);

l_c = altura da cepa (m).

3.2.4. Determinação da biomassa verde e seca

A determinação da biomassa verde de cada árvore foi realizada a partir da pesagem das seções do seu fuste (s) e do (s) seu (s) galho (s). Seções de galhos e fustes inferiores a 3 cm de diâmetro não foram incluídas na quantificação da biomassa. A pesagem foi realizada uma balança com capacidade máxima de 300 kg e sensibilidade de 0,05 kg.

Imediatamente após a obtenção do peso verde total dos componentes, fuste e galhos, de cada árvore, foi retirada uma amostra representativa destes componentes, visando a determinação dos respectivos pesos secos. Para o fuste foram retirados três discos de madeira com cerca de 5 cm de espessura. Tais discos foram retirados nas seguintes posições: à 30 cm da base, no meio e no topo do fuste. Para a amostragem no galho, foi selecionado, entre todos os galhos de uma determinada árvore, somente aquele que tivesse um diâmetro mediano, considerando todos os galhos (finos e grossos). No galho selecionado foi retirada apenas um disco de madeira, com espessura de, aproximadamente, 5 cm.

Em cada amostra do fuste e do galho foi realizada a separação da casca e da madeira. Em seguida, cada porção foi pesada em uma balança digital com sensibilidade de 0,01 g, identificada, acondicionada separadamente em saco plástico para evitar a perda de água e transportada para o Laboratório de Tecnologia de Madeiras da Universidade de Brasília, para obtenção do peso seco.

No laboratório, as amostras já identificadas foram armazenadas em sacos de papel e colocadas em estufa de circulação de ar forçada, para secagem à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até obtenção da massa constante (variação de 1%) (RUFINI, 2008). Após secagem, cada amostra foi pesada novamente para obter o correspondente peso seco, em balança analítica com sensibilidade de 0,01 gramas.

A partir dos valores de peso úmido e peso seco de cada amostra, tanto para a madeira quanto para a casca do fuste e do galho de cada árvore cubada, foi obtido um fator de biomassa a partir da relação entre o seu peso seco e peso úmido, ou seja:

$$Fb = \frac{M_{0\%}}{M_u}$$

em que:

Fb = Fator de biomassa;

M_u = Peso verde da amostra (g ou Kg);

M_{0%} = Peso seco da amostra (g ou Kg).

A biomassa seca de campo foi então obtida a partir do fator de biomassa e a biomassa verde obtida em campo, conforme VALE (2000) e ROCHA (2011), ou seja:

$$M_{sc} = Fb \cdot M_{uc}$$

em que:

M_{sc} = Massa seca de campo;

M_{uc} = Massa úmida de campo.

3.2.5. Determinação do carbono

As amostras secas (madeira e casca de fuste e galho), utilizadas na determinação do teor de umidade, foram, posteriormente, picadas e trituradas utilizando, inicialmente, um Macro Moinho de Rotor Vertical com facas Móveis e Fixas, Modelo MA 680 e, em seguida, um Moinho com Almofariz/Pistilo Motorizado Modelo MA 590, até atingir a granulometria de 200 *Mesh* formando assim um mix de amostras para fuste e outro para galhos. Cada amostra foi acondicionada em frasco de plástico esterilizado e identificado.

O teor de carbono de cada amostra foi obtido por combustão completa, na temperatura de 1.200 °C, aproximadamente, utilizando o Analisador Elementar Vario Macro Cube CHNS, do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. A quantificação do teor de carbono foi realizada em amostras de 3 mg de cada componente moído (madeira e casca de fuste e galho).

Com base nos valores de teor de carbono de cada sub-amostra de 3 mg, foram determinados os estoques de carbono para fuste e galhos de cada árvore amostrada, bem como o estoque total lenhoso da árvore (fuste + galhos), pela expressão:

$$Ec = M_{sc} \cdot C$$

em que:

Ec = Estoque de carbono;

C = Percentual de carbono.

3.3. Análise dos Dados

3.3.1. Ajuste de modelos alométricos para estimativa dos estoques de biomassa e carbono de árvores individuais com $DAP \geq 5$ cm

Modelos alométricos de regressão, linear e não linear, foram ajustados para estimar os estoques de biomassa seca e carbono de árvores com $DAP \geq 5$ cm na floresta estacional decidual (Tabela 1). Para o ajuste desses modelos foram selecionadas cerca de 50% das árvores cubadas rigorosamente, distribuídas proporcionalmente entre as classes de diâmetro.

As variáveis independentes incluídas nos modelos foram DAP (cm) e altura total (m). Foram ajustados modelos tanto para o fuste quanto para a árvore total.

Os modelos ajustados para fuste consideraram apenas a biomassa seca e o estoque de carbono contido no fuste, e, os modelos para árvore total, incluíram também os estoques de biomassa e carbono nos galhos.

O ajuste dos modelos foi realizado utilizando o *Software* Statistica 7.0.

Tabela 1: Modelos alométricos ajustados para estimar os estoques de biomassa seca e carbono de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em área de floresta estacional decidual localizada na região nordeste do Estado de Goiás.

Modelo	Forma de Ajuste	Autor
1	$Y = \beta_0 + \beta_1(X_1^2 X_2) + \varepsilon$	Modelo de Spurr
2	$Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} + \varepsilon$	Modelo de Schumacher & Hall
3	$Y = \beta_0 X_1^{\beta_1} + \varepsilon$	Modelo de Husch

Onde: Y = variável dependente; X_1 = DAP ou DB (cm); X_2 = altura total (m); β_0, \dots, β_n = parâmetros dos modelos; ε = erro aleatório.

3.3.2. Ajuste de Redes Neurais Artificiais para estimativa dos estoques de biomassa e carbono de árvores individuais com $DAP \geq 5$ cm

Para o ajuste das RNAs, a camada de entrada foi constituída de dois neurônios, sendo um para cada variável numérica independente ou de *input* (DAP e Ht). A camada

de saída foi representada por apenas um neurônio, o qual correspondia a variável dependente ou *output* (estoque de biomassa seca ou estoque de carbono para fuste ou árvore total).

O ajuste das RNAs foi realizado pelo *Método Intelligent Problem Solver*, que testa diversas arquiteturas de rede e retorna aquelas que melhor se adaptam ao problema. O *software* utilizado para os ajustes foi STATISTICA 7.

Neste estudo, as redes foram constituídas de apenas uma camada oculta e o número de neurônios nessa camada variou de 1 a 9, *default* do *software*.

O algoritmo de treinamentos utilizado foi o *resilient propagation*, proposto por Riedmiller e Braun (1993), que é a alternativa mais eficiente e recomendada para RNAs do tipo *Multilayer Perceptron* (MLP). Nesse algoritmo, os pesos são baseados em informações dos dados presentes e, para isso, é introduzido para cada peso o valor individual de atualização. Inicialmente os pesos de todas as redes são gerados aleatoriamente (HEATON, 2010) e, sequencialmente, o valor individual de atualização evolui durante o processo de aprendizado baseado na função do erro.

O aprendizado das redes foi do tipo supervisionado, portanto, foram informados para a rede dois conjuntos de valores: o conjunto de valores de entrada e o conjunto de valores de saída.

Foram treinadas 300 redes do tipo *perceptrons*, de múltiplas camadas para cada variável de saída, comumente conhecidas como MLP (*Multilayer Perceptron*). Esse tipo de rede é o mais usual na grande maioria dos trabalhos observados e a sua notoriedade fundamenta-se no fato de ser a generalização de formas, traçados e padrões, sua principal aplicação.

Existem vários métodos para a determinação do momento em que o treinamento de uma rede neural deve ser encerrado, porém na configuração da ferramenta *Intelligent Problem Solver*, o critério de parada utilizado foi a estabilização do erro quadrático médio.

Portanto, após a finalização do treinamento a melhor rede para estimar a biomassa seca (total e do fuste) e o carbono (total e do fuste) foi selecionada.

3.3.3. Critérios de seleção dos ajustes

A qualidade dos ajustes, utilizando os métodos de equações alométricas e redes neurais artificiais, foi verificada a partir do erro padrão da estimativa relativo ($S_{yx}\%$),

do coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e da análise gráfica dos resíduos (DRAPPER e SMITH, 1981).

3.3.4. Validação dos resultados

Para a validação dos modelos foram selecionados aleatoriamente 25% do total de árvores cubadas e que não foram incluídas no ajuste dos modelos. A validação dos ajustes foi realizada por meio do teste t. Foi realizado também um teste de acuracidade, que avalia as estimativas para os dados que não foram usados nos ajustes (CARDOSO, 1989), nesse sentido, foi utilizado o método da diferença agregada, que segundo Spurr (1951) indica a inexistência de tendências e é dado por:

$$D.A. = \frac{Y_{est.} - Y_{obs.}}{Y_{est.}} \cdot 100$$

em que:

$Y_{est.}$ = valor estimado para a variável dependente;

$Y_{obs.}$ = valor real ou observado para a variável dependente.

3.3.5. Análise de variância dos resultados de validação

A partir dos resultados obtidos na validação, foi realizada uma análise de variância, onde cada método utilizado para estimar o estoque de carbono (Regressão e Redes Neurais) foi considerado como um tratamento, a fim de verificar a existência de diferenças significativas entre os procedimentos utilizados quando comparados aos valores reais.

3.3.6. Análise das principais espécies a partir do Índice de Valor de Importância

A análise das principais espécies de uma comunidade vegetal parte da avaliação de sua estrutura, a qual pode ser obtida a partir dos parâmetros que expressam sua estrutura horizontal (MUELLER-DOMBOIS e ELLEMBERG, 1974; KENT e COKER, 1992), ou seja: densidade, dominância e frequência.

A densidade reflete a quantidade de indivíduos em uma comunidade por unidade de área e pode ser obtida da seguinte forma:

Densidade Absoluta

$$DA_i = n_i$$

em que:

DA_i = Densidade Absoluta da espécie i ;

n_i = Número de indivíduos da espécie i por hectare;

Densidade Relativa

$$DR_i = (DA_i/DA) \times 100$$

em que:

DR_i = Densidade Relativa da espécie i ;

DA = Somatório da densidade absoluta de todas as espécies

A dominância reflete o grau de ocupação das árvores em uma comunidade e é dada pelo somatório das áreas seccionais das árvores de cada espécie amostrada por unidade de área. A dominância pode ser obtida da seguinte forma:

Dominância Absoluta

$$DoA_i = \sum(g_i)$$

em que:

DoA_i = Dominância Absoluta da espécie i ;

g_i = Área seccional dos indivíduos da espécie i .

Dominância Relativa

$$DoR_i = (DoA_i / DoA) \times 100$$

em que:

DoR_i = Dominância Relativa da espécie i ;

DoA = Somatório das Dominâncias Absolutas de todas as espécies.

A frequência é um conceito estatístico que revela a uniformidade de distribuição das espécies, essa uniformidade é indicada pelo número de ocorrências de uma determinada espécie nas parcelas monitoradas, onde a presença ou ausência das espécies é averiguada (ROSOT *et al.*, 1982).

Frequência Absoluta

$$FA_i = (P_i/P) \times 100$$

em que:

FA_i = Frequência Absoluta da espécie i ;

P_i = Número de parcelas com ocorrência da espécie i ;

P = Número total de parcelas.

Frequência Relativa

$$FR_i = (FA_i/FA) \times 100$$

em que:

FR_i = Frequência Relativa da espécie i ;

FA = Somatório da frequência absoluta de todas as espécies

O Índice de Valor de Importância reflete o grau de importância de uma determinada espécie dentro de uma determinada comunidade e pode ser obtido a partir do somatório das variáveis fitossociológicas relativas, ou seja:

$$IVI = DR_i + DoR_i + FR_i$$

em que:

DR_i = densidade relativa;

DoR_i = dominância relativa;

FR_i = frequência relativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ajuste de modelos alométricos para estimar a biomassa seca (total e do fuste)

Do total de árvores inventariadas, 74 foram selecionadas para cubagem rigorosa, estando as mesmas distribuídas entre a maior quantidade possível de classes de diâmetro e entre a maioria das espécies registradas no inventário (Tabela 2). Das árvores cubadas, 59 foram selecionadas aleatoriamente e utilizadas no ajuste dos modelos e 15 foram separadas para a validação do modelo que apresentou as melhores medidas de precisão.

Vale ressaltar que nem todas as classes de diâmetro registradas no inventário florestal foram contempladas na amostra para cubagem, particularmente aquelas classes de maiores diâmetros, cujas densidades registradas foram bem baixas. Além disso, é importante destacar também que como o local onde foi executada a cubagem das árvores não foi o mesmo onde foram alocadas as parcelas permanentes, não foram encontradas árvores pertencentes a estas classes.

Tabela 2: Distribuição da frequência absoluta por classe de diâmetro das árvores com $DAP \geq 5$ cm e da frequência de árvores cubadas e utilizadas nos ajustes dos modelos de biomassa (total e do fuste) e carbono (total e do fuste) para o fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos – GO.

Centro de Classe	Frequência Absoluta	Nº de Árvores Cubadas
7,5	554	45
12,5	112	16
17,5	20	4
22,5	13	4
27,5	16	3
32,5	8	1
37,5	5	1
42,5	4	0
47,5	2	0
52,5	2	0
57,5	0	0
62,5	1	0
Total	737	74

A partir dos dados das 59 árvores cubadas rigorosamente, foram ajustados os três modelos alométricos (Spurr, Schumacher & Hall e Husch), para estimativa dos estoques de biomassa e carbono para as árvores da floresta estacional decidual. Todos os modelos ajustados foram significativos ($p < 0,05$) e os resultados de seus ajustes são apresentados na Tabela 3

Tabela 3: Estimativa dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos testados para estimar o estoque de biomassa total (BT) e biomassa do fuste (BF) das árvores com DAP \geq 5 cm amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos - GO.

Modelo	Parâmetros			R ²	R ² ajustado	Syx (kg)	Syx%
	β_0	β_1	β_2				
Modelo de Spurr (BT)	-3,2974	0,0397	-	0,83	0,83	60,90	93,38
Modelo de Spurr (BF)	6,6954	0,0163	-	0,87	0,87	21,04	60,50
Modelo de Schumacher & Hall (BT)	0,0013	1,6837	2,7608	0,97	0,96	28,02	42,96
Modelo de Schumacher & Hall (BF)	0,0701	1,4882	1,1329	0,89	0,89	19,76	56,81
Modelo de Husch (BT)	0,4122	1,9984	-	0,65	0,65	87,44	134,08
Modelo de Husch (BF)	0,3848	1,7954	-	0,84	0,83	24,08	69,23

De uma forma geral, os modelos ajustados tanto para biomassa total quanto para biomassa do fuste apresentaram valores altos para o coeficiente de determinação (R² ajustado), os quais foram superiores a 0,8. A única exceção foi o modelo ajustado de Husch, para biomassa total. Amaro (2010), ao estimar o estoque de biomassa de uma floresta estacional semidecidual no Município de Viçosa – MG, encontrou valores de R² que variaram entre 0,92 e 0,95, enquanto Vogel *et al.* (2006), ao analisarem a contribuição dos diferentes compartimentos da árvore para a biomassa total de uma floresta estacional decidual, localizada no Município de Itaara – RS, encontraram valores de R² variando entre 0,81 e 0,98. Valores elevados de R² indicam que as variáveis DAP e altura explicam de maneira eficiente o comportamento da biomassa das árvores.

O erro padrão da estimativa foi bastante alto e variou de 42,96% a 134,08%. Os menores valores foram obtidos pelo modelo de Schumacher & Hall. Silveira (2008) ao comparar diferentes métodos indiretos para estimar estoques de biomassa e carbono em um fragmento de floresta ombrófila densa localizada nos municípios de Apiúna e Presidente Nereu – SC encontrou, para os modelos utilizados na geração de estimativas de biomassa, valores de erro padrão da estimativa variando entre 26,37% e 87,33%. De acordo com Miguel (2014), altos valores de erro padrão da estimativa encontrados em ajustes de equações para comunidade florestais nativas são comuns, e isto se deve, principalmente, a elevada riqueza de espécies encontrada em florestas tropicais e também a baixa correlação existente entre as principais variáveis dendrométricas relacionadas a produção florestal. Esta baixa correlação pode ser decorrente da complexa interação edafoclimática existente nos ecossistemas tropicais.

A partir da análise gráfica dos resíduos (Figura 6) é possível verificar que o modelo de Schumacher & Hall foi o que apresentou as melhores estimativas de biomassa, com distribuição de resíduos mais homogênea para árvores de diferentes classes de diâmetro.

Portanto, com base nas medidas de precisão apresentadas (Tabela 3 e Figura 6), o modelo de Schumacher & Hall foi o selecionado para estimar tanto a biomassa total quanto a do fuste para a floresta estacional decidual estudada.

A validade do modelo de Schumacher & Hall, selecionado para estimar o estoque de biomassa seca, total e do fuste, foi testada a partir do teste t, ao nível de 5% de significância, não sendo detectada qualquer diferença estatística significativa entre os valores observados e os estimados pelo modelo. Tal resultado demonstra a confiabilidade das estimativas geradas pelo modelo de Schumacher & Hall ajustado.

Para evitar possíveis inconsistências geradas pela independência dos ajustes de biomassa seca para a copa por meio de modelos estatísticos, seus valores foram estimados a partir da diferença entre os valores estimados para biomassa seca total e biomassa seca do fuste (Tabela 4), pois caso o valor de biomassa seca da copa fosse gerado por meio de ajustes de modelos alométricos, ao somar com o valor estimado para a biomassa seca do fuste, o resultado seria incompatível com os valores obtidos para a biomassa seca total.

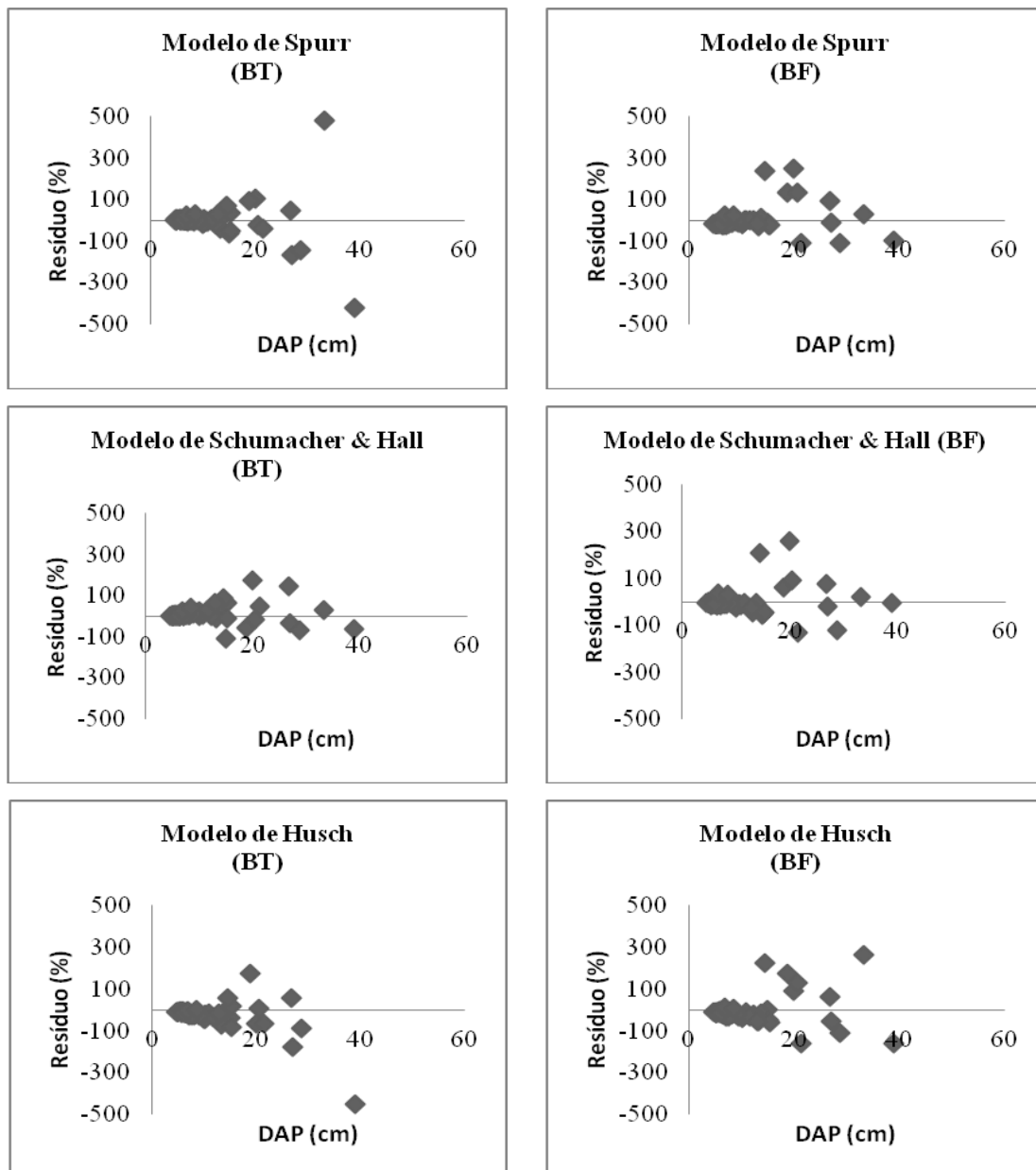


Figura 6: Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada a partir das equações ajustadas para estimar a biomassa seca total (BT) e biomassa seca do fuste (BF), considerando árvores com DAP ≥ 5 , em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos - GO.

Tabela 4: Estimativas por classe de diâmetro da quantidade de biomassa seca (Kg) estocada no fuste e na copa dos indivíduos amostrados no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos - GO.

Centro de Classe	Biomassa Total (Kg)	Biomassa Total (%)	Biomassa Fuste (Kg)	Biomassa Fuste (%)	Biomassa Copa (Kg)	Biomassa Copa (%)
7,5	506,1777	12,0	348,0873	69	158,0904	31
12,5	653,7003	15,5	456,0539	70	197,6465	30
17,5	453,4268	10,7	223,1961	49	230,2307	51
22,5	489,7138	11,6	260,2473	53	229,4665	47
27,5	793,0161	18,8	409,0999	52	383,9163	48
32,5	998,1571	23,6	299,3936	30	698,7635	70
37,5	327,9605	7,8	220,2665	67	107,6940	33
Média	-	-	-	56	-	44
Total	4222,1525	100	2216,3446	-	2005,8078	-

A Tabela 4 mostra que, de uma forma geral, a distribuição de biomassa seca total entre as diferentes classes de diâmetro ocorre de forma equilibrada, especialmente para árvores menores que 25 cm de diâmetro. Para classes de diâmetro maiores, observa-se um desbalanceamento na distribuição dos estoques de biomassa, ocorrendo tanto altos quanto baixos estoques. A distribuição dos estoques totais de biomassa não segue a mesma tendência de distribuição de densidade de árvores por classe de diâmetro, ou seja, nas menores classes de diâmetro não estão concentrados os maiores estoques de biomassa.

Contudo, é importante destacar que o estoque médio de biomassa seca por árvore tende a aumentar das menores para as maiores classes de diâmetro. Por exemplo, para árvores com diâmetros variando entre 5 e 10 cm, o estoque médio de biomassa seca total é de 0,57 kg e para árvores com diâmetros variando de 35 a 40 cm, o estoque médio estimado é de, aproximadamente, 54,7 kg. A única exceção quanto a esse comportamento crescente no valor média da biomassa seca com o aumento do diâmetro da árvore foi registrada na classe de diâmetro, cujas árvores variam de 30 a 35 cm de diâmetro. Nesta classe, o estoque médio de biomassa seca foi igual a 100,9 kg e, esta discrepância foi causada por uma única árvore que apresentou um elevado estoque de biomassa na sua copa.

Altas concentrações de estoque de carbono nas diferentes classes de diâmetro estão relacionadas tanto com a densidade de árvores nas classes, como é o caso das menores classes, quanto com as dimensões das árvores, como é o caso das classes de maiores. Além disso, outros fatores afetam os estoques de biomassa nas diferentes

classes de diâmetro, como, por exemplo, as espécies dominantes na classe, a densidade básica da madeira das espécies, e a forma do fuste e copa das árvores, entre outros.

Nota-se ainda pelos resultados (Tabela 4), que, de uma forma geral, as classes de menor diâmetro concentram a sua biomassa seca total no fuste de suas árvores, mas, isto se deve, sobretudo a alta densidade de árvores nestas classes.

Vale destacar também que tanto para biomassa seca do fuste quanto para a biomassa seca da copa, o estoque médio de biomassa por árvore aumenta com o aumento da classe de diâmetro.

Do total de biomassa seca estocada no fragmento florestal estudado, 52% estão estocados nos fustes das árvores e 48% nas suas copas. Contudo, esses valores podem ser alterados com a inclusão da biomassa foliar, que sofre forte influência da sazonalidade climática, por se tratar de uma floresta estacional decidual. Durante o período de amostragem a cobertura foliar da área era mínima, o que justificou a não inclusão de tal componente na estimativa da biomassa total.

4.2. Ajuste de modelos alométricos para estimar estoque de carbono (total e do fuste)

Os teores de carbono para madeira das espécies registradas no fragmento de floresta estacional (Tabela 5) variaram de 42,46% (*Combretum duarceanum*) a 50,83% (*Handroanthus impetiginosus*) da biomassa. Em média, os teores de carbono das espécies ficaram em torno de 45%, ou seja, menor que os 50% proposto pelo IPCC para geração de estimativas de carbono. Apenas a espécie *Handroanthus impetiginosus* apresentou teor de carbono que se aproximou dos valores indicados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, com uma concentração observada de 50,83% de carbono em sua biomassa seca. Para as árvores mortas o teor de carbono foi igual a 44,47%.

A Tabela 6 apresenta os resultados dos ajustes dos modelos de regressão para estimar o estoque de carbono total e do fuste das árvores da floresta estacional decidual estudada. Todos os parâmetros foram significativos ($p < 0,05$).

O coeficiente de determinação (R^2 ajustado) das equações ajustadas para o carbono variou de 0,63 a 0,96. O limite inferior observado para os ajustes de carbono do presente estudo foi ligeiramente menor do que o encontrado para a variável biomassa seca. Rezende *et al.* (2006), estudando uma área de cerrado *sensu stricto* no DF,

testaram diferentes modelos matemáticos para estimar volume, biomassa e carbono, e encontraram valores acima de 0,93 para todos os modelos.

Breugel *et al.* (2011), em estudo realizado em florestas secundárias próximas ao Canal do Panamá, encontraram coeficientes de determinação (R^2 ajustado) variando entre 0,96 e 0,98, sendo que o limite superior foi estimado pela forma linearizada do modelo de Schumacher & Hall.

O erro padrão da estimativa percentual ($Sy_x\%$) variou de 45,5 % a 136,7 %, sendo estes valores ligeiramente piores do que os encontrados para o ajuste da biomassa seca.

O modelo que apresentou as melhores medidas de precisão foi o de Schumacher & Hall. A distribuição dos resíduos (Figura 7) também indica que o modelo de Schumacher & Hall foi o que apresentou a melhor distribuição, o que garante a confiabilidade das estimativas geradas pelo modelo e a ausência de tendências.

Assim como para as estimativas de biomassa seca total e do fuste, o modelo de Schumacher & Hall também foi o mais indicado para estimar o carbono total e do fuste. O carbono das copas foi obtido a partir da diferença entre o carbono total e o carbono do fuste (Tabela 7).

Tabela 5: Teor de carbono por espécie utilizado no cálculo dos valores observados de carbono aéreo dos indivíduos amostrados na área de floresta estacional decidual da Fazenda Canaã - Campos Belos - GO.

Espécies	Teor de Carbono
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	44,02%
<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.	44,73%
<i>Andira</i> sp	44,51%
<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	43,42%
<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart.	44,15%
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	46,68%
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott	44,38%
<i>Bauhinia rufa</i> (Bong.) Steud.	45,11%
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss.	44,19%
<i>Callisthene fasciculata</i> Mart.	44,52%
<i>Campomanesia velutina</i> (Cambess.) O. Berg	45,38%
<i>Casearia rupestris</i> Eichler	43,23%
<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	47,62%
<i>Combretum duarceanum</i> Cambess.	42,46%
<i>Cordia</i> sp.	44,32%
<i>Cybistax antisiphilitica</i> (Mart.) Mart.	44,81%
<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	43,49%
<i>Diospyros hispida</i> A. DC.	43,35%
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	45,14%
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	44,66%
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	44,73%
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	46,20%
<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J. F. Macbr.	45,09%
<i>Platymiscium floribundum</i> Vogel	43,25%
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	45,50%
<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart. & Zucc.) Robyns	42,13%
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	42,58%
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	44,68%
<i>Randia armata</i> (SW.) DC.	44,91%
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	44,36%
<i>Simarouba versicolor</i> A. St.-Hil.	45,76%
<i>Sterculia striata</i> A. St.-Hil. & Naudin	44,10%
<i>Syagrus oleracea</i> (Mart.) Becc.	47,20%
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	46,21%
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	50,83%
<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	48,22%
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	44,86%
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	48,14%
<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K. Schum.	46,09%
Média	44,98%

Tabela 6: Estimativa dos parâmetros e medidas de precisão dos modelos testados para estimar o estoque de carbono total (CT) e do fuste (CF) das árvores com DAP ≥ 5 cm amostradas no fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

Modelo	Parâmetros			R ²	R ² ajustado	Syx (kg)	Syx%
	β_0	β_1	β_2				
Modelo de Spurr (CT)	-1,2395	0,0176	-	0,82	0,82	28,17	96,76
Modelo de Spurr (CF)	3,1704	0,0072	-	0,86	0,85	10,00	64,35
Modelo de Schumacher & Hall (CT)	0,0006	1,6364	2,8187	0,96	0,96	13,23	45,46
Modelo de Schumacher & Hall (CF)	0,0310	1,4161	1,2302	0,88	0,88	9,23	59,39
Modelo de Husch (CT)	0,1998	1,9715	-	0,64	0,63	39,81	136,75
Modelo de Husch (CF)	0,1926	1,7578	-	0,82	0,81	11,37	73,15

Tabela 7: Estimativas por classe de diâmetro dos estoques de carbono (Kg) no fuste e na copa das árvores amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

Centro de Classe	Carbono Total (Kg)	C por Classe (%)	Carbono Fuste (Kg)	% Fuste	Carbono Copa (Kg)	% Copa
7,5	227,7113	11,7418	155,9377	68	71,7736	32
12,5	295,7319	15,2493	207,3416	70	88,3903	30
17,5	203,4806	10,4924	99,8981	49	103,5825	51
22,5	272,8577	14,0698	168,5559	62	104,3017	38
27,5	354,9478	18,3027	183,0857	52	171,8620	48
32,5	446,4383	23,0203	133,9075	30	312,5307	70
37,5	138,1534	7,1238	92,7873	67	45,3661	33
Média	-	-	-	57	-	43
Total	1939,3209	-	1041,5138	-	897,8070	-

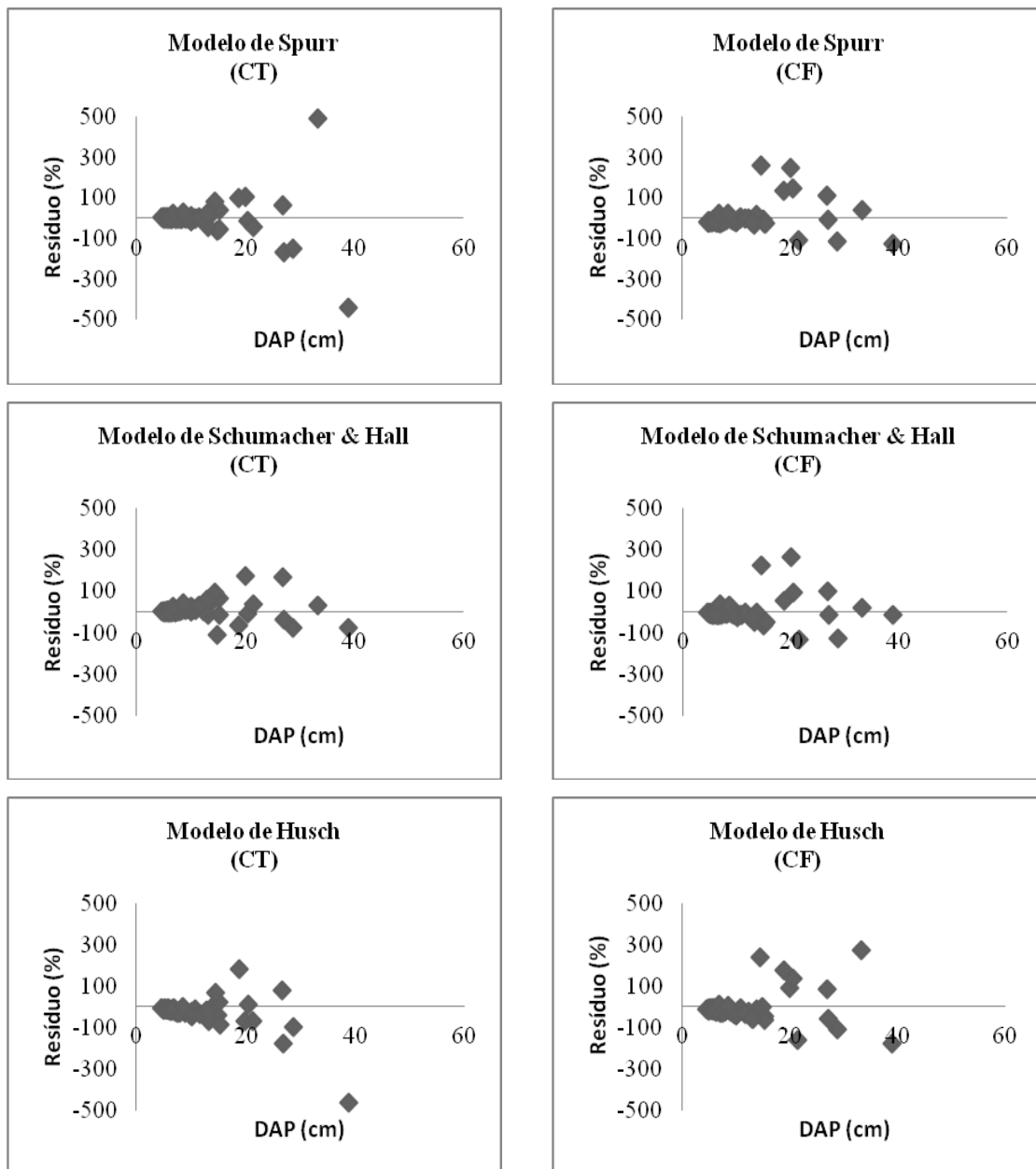


Figura 7: Gráficos de resíduos (%) em função do DAP, das equações utilizadas para estimar o carbono total (CT) e carbono do fuste (CF), ajustados para árvores com DAP ≥ 5 , em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos - GO.

O teste t para validação do modelo, ao nível de 95% de probabilidade, verificou que não existe diferença estatística significativa entre os valores de carbono observados e estimados pelo modelo, o que demonstra a confiabilidade das estimativas geradas.

A distribuição do carbono nos diferentes compartimentos da parte aérea das árvores amostradas segue basicamente o mesmo padrão encontrado para a biomassa

seca, ou seja, a penúltima classe diamétrica continua sendo a mais representativa, com 23% do carbono total. A porcentagem de carbono no fuste foi, em média, 1% maior que o percentual médio de biomassa seca no fuste, 57% e 56% respectivamente. Como consequência os valores percentuais médios de carbono na copa foram 1% menores, 43% e 44% para a biomassa seca na copa.

4.3. Ajuste de modelos de redes neurais artificiais para estimativa de biomassa seca (total e do fuste)

Para o ajuste das RNAs foi utilizado o conjunto de 59 árvores das 74 cubadas rigorosamente e foram treinadas 300 RNAs para estimativa de biomassa seca total e 300 RNAs para estimativa de biomassa seca do fuste. Para cada vetor de saída foram retidas as 10 redes que apresentaram as melhores medidas de precisão.

Para a biomassa seca total, as melhores RNAs ajustadas apresentaram coeficientes de determinação (R^2) que variaram de 0,67 a 0,98 e erro padrão da estimativa (Syx%) variando de 19,75% a 62,31% (Tabela 8). Nota-se que tais resultados são sensivelmente melhores que os encontrados para o modelo alométrico selecionado para ajustar essa mesma variável (Schumacher & Hall).

Tabela 8: Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa da biomassa seca total de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã - Campos Belos - GO.

RNA	Biomassa Seca Total			
	Syx (kg)	Syx%	R	R^2
1	40,64	62,31	0,82	0,67
2	15,26	23,40	0,99	0,98
3	22,53	34,55	0,97	0,94
4	19,87	30,47	0,95	0,91
5	21,93	33,63	0,95	0,90
6	18,97	29,09	0,98	0,96
7	24,39	37,40	0,93	0,87
8	14,09	21,61	0,99	0,96
9	21,57	33,07	0,94	0,89
10	12,88	19,75	0,99	0,97

A RNA 10 foi a que apresentou as melhores medidas de precisão, seguida pela RNA 8, porém, ao analisar os valores preditos pelas redes, verificou-se que a RNA 10 apresentou estimativas negativas, e, portanto, foi descartada.

A análise gráfica dos resíduos percentuais das 10 melhores redes ajustadas (Figura 8) corroborou os resultados apontados pelas medidas de precisão apresentadas na Tabela 8, e, desta forma, a RNA 8 foi selecionada por apresentar melhor ajuste. A Figura 9 apresenta a arquitetura da RNA 8, com dois neurônios na camada de entrada, três neurônios na camada oculta e um neurônio na camada de saída.

De acordo com o teste t, aplicado na validação das estimativas geradas pela RNA 8, não existe diferença estatística significativa, ao nível de 5% de significância, entre os valores estimados e os valores observados de biomassa seca total obtidos para as árvores da floresta estacional decidual estudada. A Diferença Agregada detectou que a RNA 8 superestimou cerca de 42,04 kg ou 8,5% da biomassa seca total real, indicando que as estimativas da RNA 8 foram satisfatórias.

A Tabela 9 apresenta as medidas de precisão das 10 melhores RNAs ajustadas para os dados de biomassa seca do fuste. O erro padrão da estimativa em porcentagem, variou de 25,37% a 35,38% e o coeficiente de determinação, de 0,85 a 0,91, indicando, desta forma que, igualmente observado para a biomassa seca total, as RNAs apresentam estatísticas superiores as obtidas pelo modelo alométrico de Schumacher & Hall.

As medidas de precisão geradas pelas dez melhores redes (Tabela 9), indicam ligeira superioridade das redes 4 e 5 em relação as demais. Comparando a distribuição dos resíduos das redes (Figura 10), é possível observar que, de uma maneira geral, as dez redes apresentam semelhantes padrões de distribuição residual, embora, para as redes 4 e 5, tal distribuição tenha sido um pouco mais homogênea. Portanto, considerando todas as medidas de precisão analisadas, a RNA 4 foi escolhida por apresentar melhores medidas de precisão. A RNA 4 apresenta dois neurônios na camada de entrada, dois na camada oculta e um na camada de saída (Figura 11).

O teste t (95% de probabilidade) indicou que os dados observados e estimados pela RNA 4 são estatisticamente iguais e de acordo com a Diferença Agregada, a rede 4 subestimou em 8,95 kg (3,2%) o total de biomassa seca do fuste.

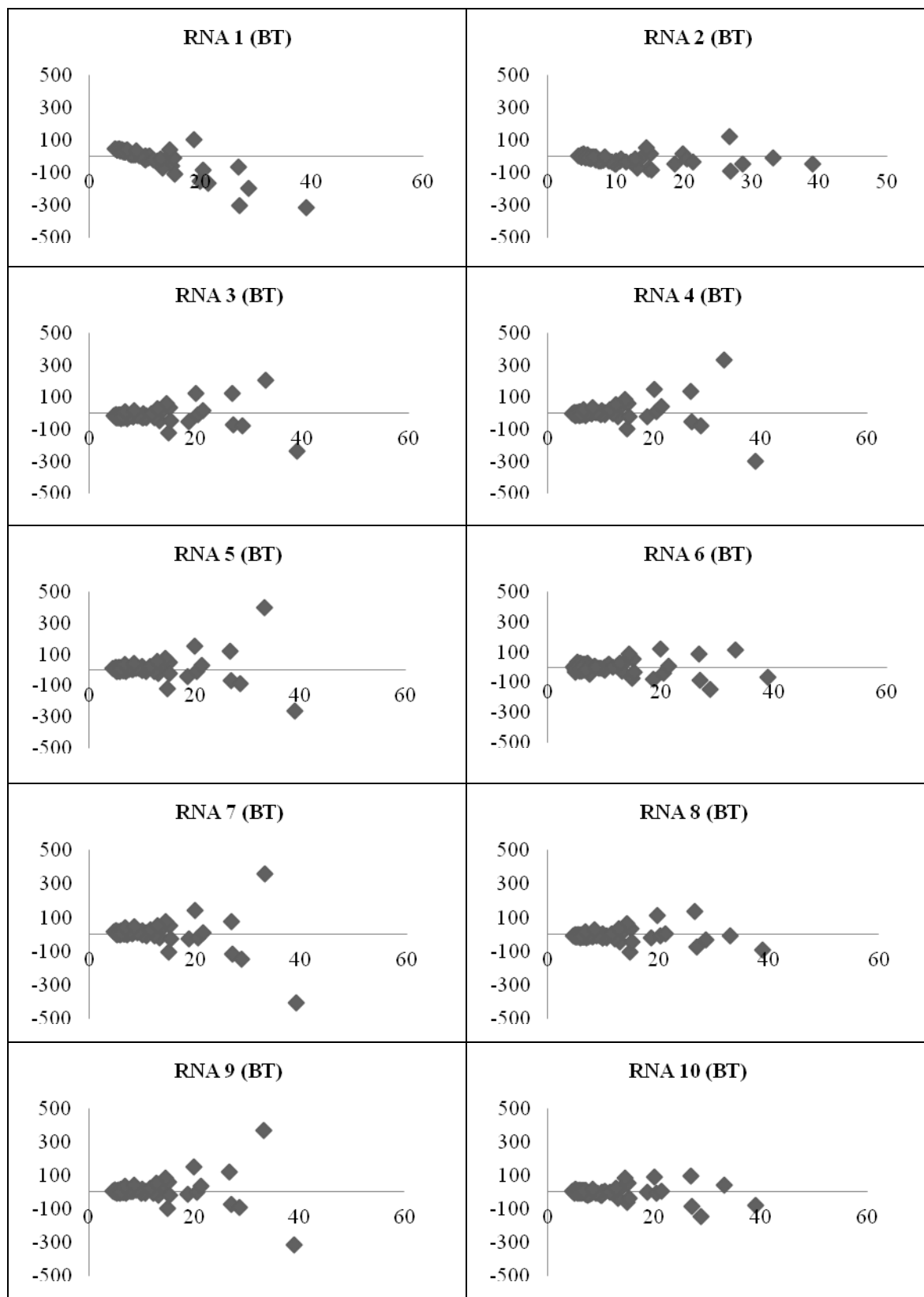


Figura 8: Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada pelas 10 melhores RNAs ajustadas para estimar a biomassa seca total (BT), considerando árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

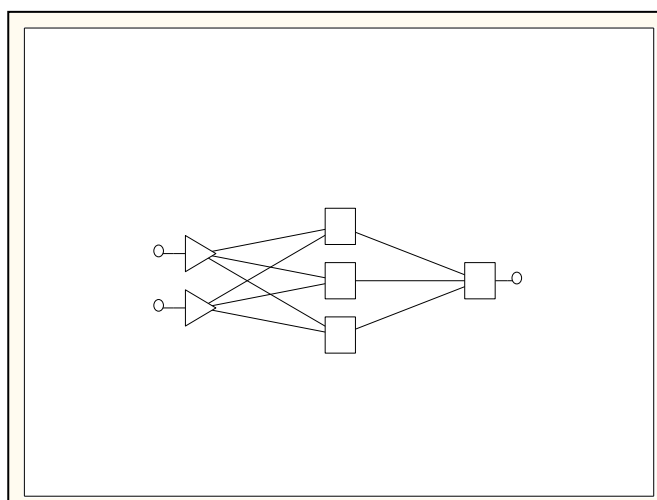


Figura 9: Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de biomassa seca total (BT), para as árvores amostradas em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

Tabela 9: Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa da biomassa seca do fuste de árvores com $DAP \geq 5$ cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

RNA	Biomassa Seca Fuste			
	Syx (kg)	Syx%	R	R ²
1	11,97	34,40	0,92	0,85
2	12,31	35,38	0,92	0,85
3	9,04	25,99	0,95	0,91
4	8,82	25,37	0,96	0,91
5	8,87	25,49	0,96	0,91
6	9,56	27,49	0,95	0,90
7	9,44	27,13	0,95	0,91
8	9,27	26,65	0,96	0,91
9	10,10	29,05	0,95	0,91
10	9,52	27,36	0,95	0,91

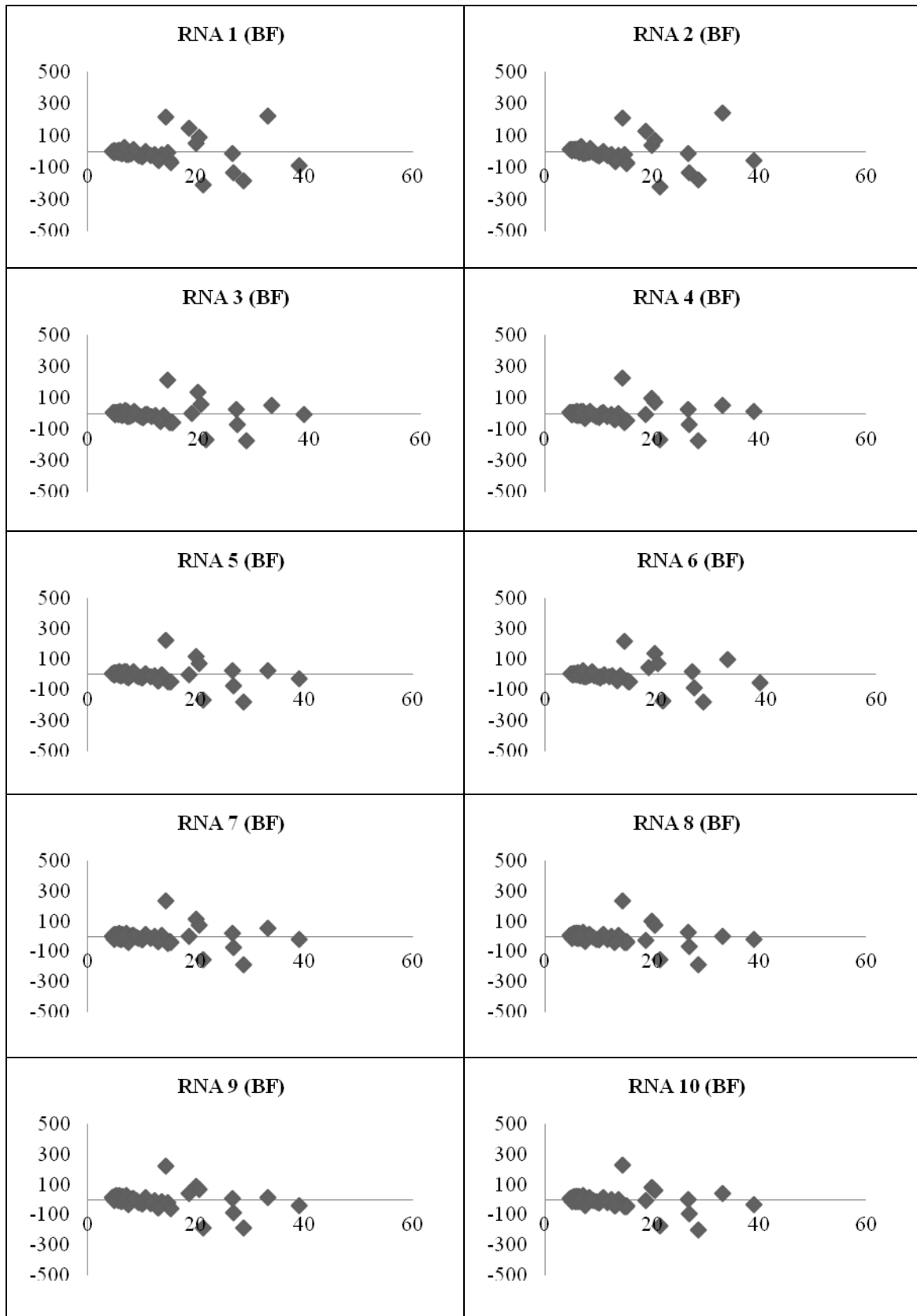


Figura 100: Gráficos de resíduos (%) em função do DAP, das 10 melhores RNAs utilizadas para estimar a biomassa seca do fuste (BF), ajustadas para árvores com DAP ≥ 5 , em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos - GO.

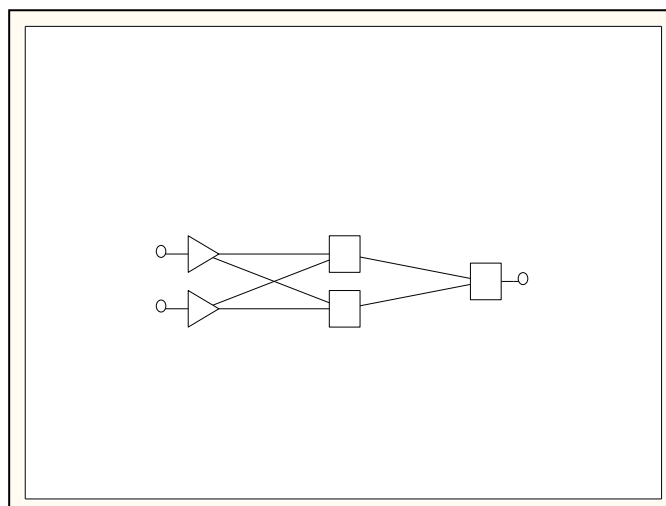


Figura 11: Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de biomassa seca do fuste (BF), para os indivíduos amostrados em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã - Campos Belos - GO.

4.4. Ajuste de modelos de redes neurais artificiais para estimativa de estoque de carbono (total e do fuste)

Assim como para o treinamento das redes neurais artificiais utilizadas na geração de estimativas de biomassa seca total e do fuste, foram treinadas 300 RNAs para o ajuste do estoque de carbono total e 300 RNAs para ajuste do estoque de carbono do fuste, e as dez melhores ajustadas para cada variável foram separadas.

Para a estimativa do estoque de carbono total (Tabela 10), as redes ajustadas apresentaram coeficiente de determinação (R^2) variando de 0,68 a 0,97, enquanto o erro padrão da estimativa variou de 19,16% a 47,26%. As RNAs 7, 9 e 10 apresentaram medidas de precisão bem próximas, com leve superioridade da RNA 10, seguida pelas RNA 7 e RNA 9. Os valores encontrados, tanto para o coeficiente de determinação quanto para o erro padrão da estimativa das três melhores redes, superaram os valores estimados pelo modelo alométrico, ajustado e selecionado, utilizando o mesmo conjunto de dados (Schumacher & Hall).

Tabela 10: Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa do estoque de carbono total de árvores com DAP ≥ 5 cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

RNA	Estoque de Carbono Total			
	Syx (kg)	Syx%	R	R ²
1	13,76	47,26	0,82	0,68
2	12,67	43,51	0,87	0,76
3	7,67	26,36	0,98	0,96
4	6,43	22,09	0,98	0,97
5	7,63	26,22	0,98	0,96
6	6,51	22,38	0,98	0,97
7	5,70	19,60	0,99	0,97
8	7,20	24,74	0,97	0,93
9	5,80	19,93	0,99	0,97
10	5,58	19,16	0,99	0,97

Para determinar qual rede apresentou melhor ajuste foi analisada a distribuição dos resíduos percentuais (Figura 12). A distribuição dos resíduos das RNAs 7, 9 e 10 foi bastante similar, não sendo possível decidir qual rede apresentou menor tendenciosidade. Desta forma, foi realizada a análise da validação das três redes a partir do conjunto de dados separados para validação. As redes 9 e 10, apesar de terem aderido melhor aos dados, apresentaram estimativas de carbono total negativas, e, portanto, foram descartadas, e a RNA 7 foi a selecionada

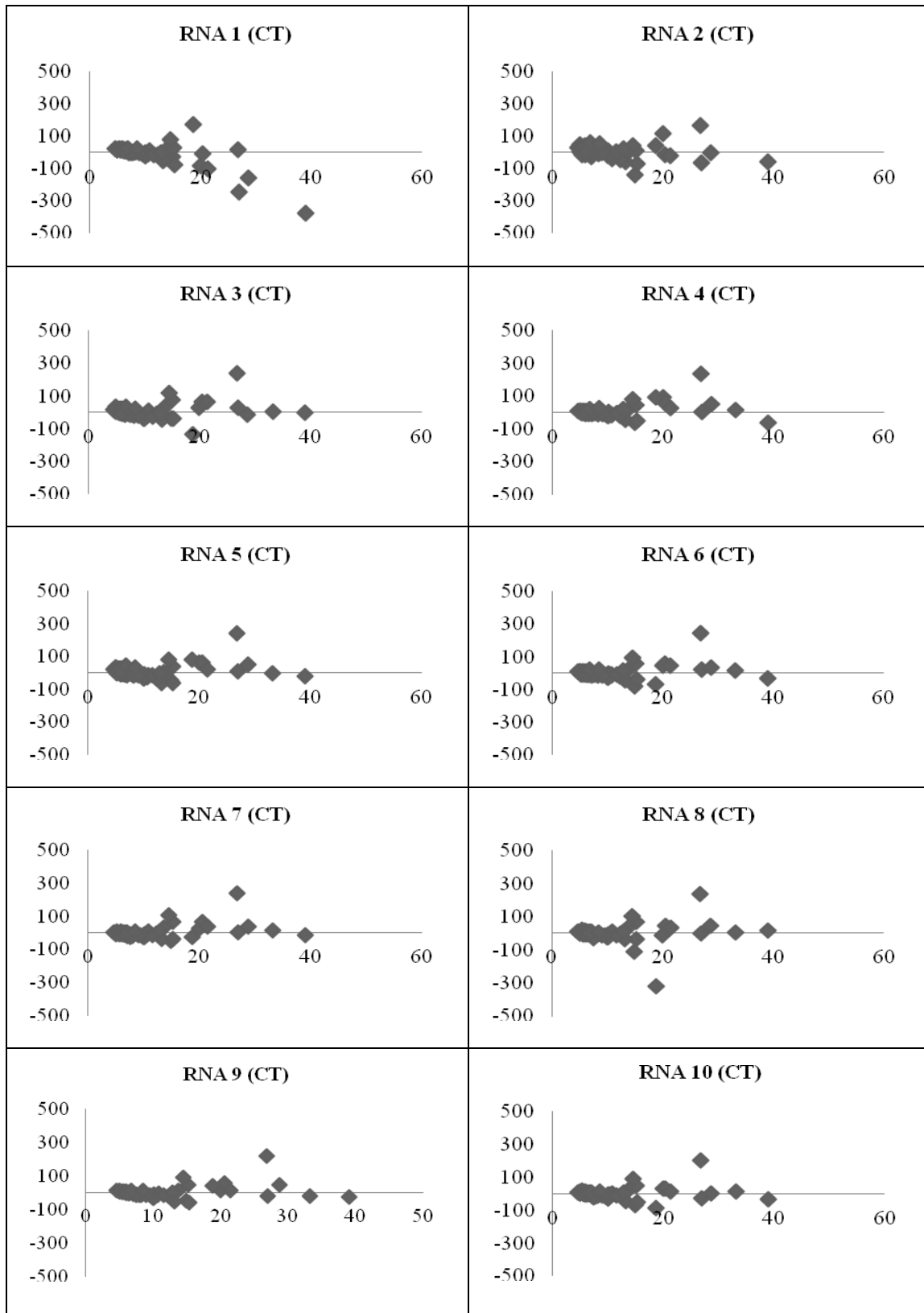


Figura 12: Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada pelas 10 melhores RNAs ajustadas para estimar estoque de carbono total (CT), considerando árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

A aplicação do teste t (95% de probabilidade) mostrou que não existe diferença significativa entre os valores reais de estoque de carbono total e os estimados pelo treinamento da RNA 7, porém, segundo a análise da Diferença Agregada, esta rede subestimou o estoque de carbono total, para o conjunto de dados de validação, em 35,81 kg (16,15%). A arquitetura da RNA 7 é apresentada na Figura 13. A rede apresenta dois neurônios na camada de entrada e um na camada de saída, porém a camada oculta, ou camada de pensamento, onde acontece a multiplicação dos valores de entrada pelos pesos sinápticos, apresenta 5 neurônios.

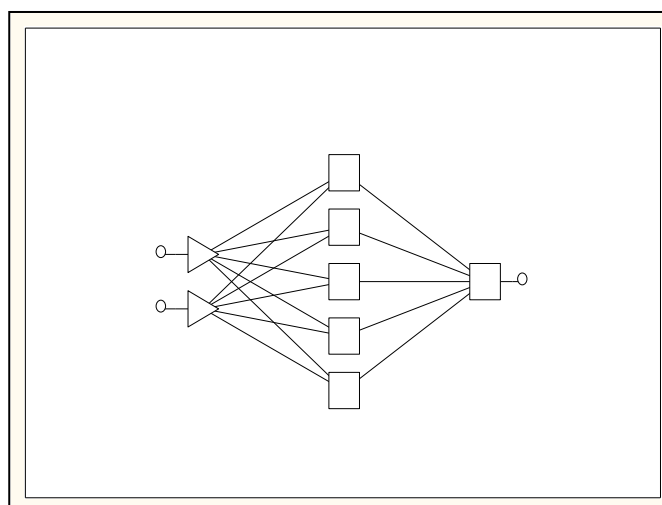


Figura 13: Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de carbono total (CT), para as árvores amostradas em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

As medidas de precisão das dez melhores redes treinadas para estimar o estoque de carbono no fuste estão apresentadas Tabela 11. O coeficiente de determinação (R^2) das redes treinadas variou de 0,64 a 0,87, enquanto o erro padrão da estimativa em porcentagem ($Syx\%$) apresentou variação da ordem de 29,87% a 61,25%.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 11, verifica-se que o modelo alométrico ajustado e selecionado para estimativa do estoque de carbono no fuste (Schumacher & Hall), aplicado ao mesmo conjunto de dados, apesar de apresentar medidas de precisão mais próximas as das redes, ainda foi menos eficiente do que as redes neurais artificiais na geração de estimativas para esta variável.

Tabela 11: Medidas de precisão das dez melhores RNAs treinadas para estimativa do estoque de carbono do fuste de árvores com DAP ≥ 5 cm, em um fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

RNA	Estoque de Carbono do Fuste			
	Syx	Syx%	R	R ²
1	4,81	30,95	0,93	0,87
2	4,68	30,11	0,935	0,87
3	4,75	30,59	0,93	0,87
4	4,79	30,84	0,93	0,87
5	5,01	32,26	0,93	0,87
6	4,64	29,87	0,93	0,87
7	4,99	32,09	0,93	0,87
8	5,03	32,34	0,93	0,86
9	4,78	30,73	0,93	0,87
10	9,52	61,25	0,80	0,64

A classificação hierárquica das dez melhores redes em ordem decrescente de qualidade do treinamento foi, RNA 6; RNA 2; RNA 3; RNA 9; RNA 4; RNA 1; RNA 7; RNA 5; RNA 8 e RNA 10, porém, as quatro melhores redes estimaram valores negativos para o carbono do fuste e foram descartadas. As redes 4 e 1 apresentaram medidas de precisão muito próximas, portanto, procedeu-se a análise gráfica dos resíduos percentuais (Figura 14) para a seleção da rede que melhor estimou os valores de carbono no fuste para o conjunto de dados amostrados.

As redes 1 e 4 apresentaram distribuição de resíduos bastante semelhante, portanto, as duas redes foram submetidas a análise de validação e a RNA 1 foi a que apresentou melhor aderência ao conjunto de dados, apresentando Diferença Agregada de 20,52 kg (16,5%) do total observado. O teste t, a 95% de probabilidade, mostrou que não existe diferença significativa entre os dados observados e estimados pela rede escolhida. Assim como a RNA que melhor se ajustou aos dados de biomassa seca do fuste, a RNA mais eficiente na geração de estimativas de estoque de carbono no fuste possui dois neurônios na camada oculta (Figura 15).

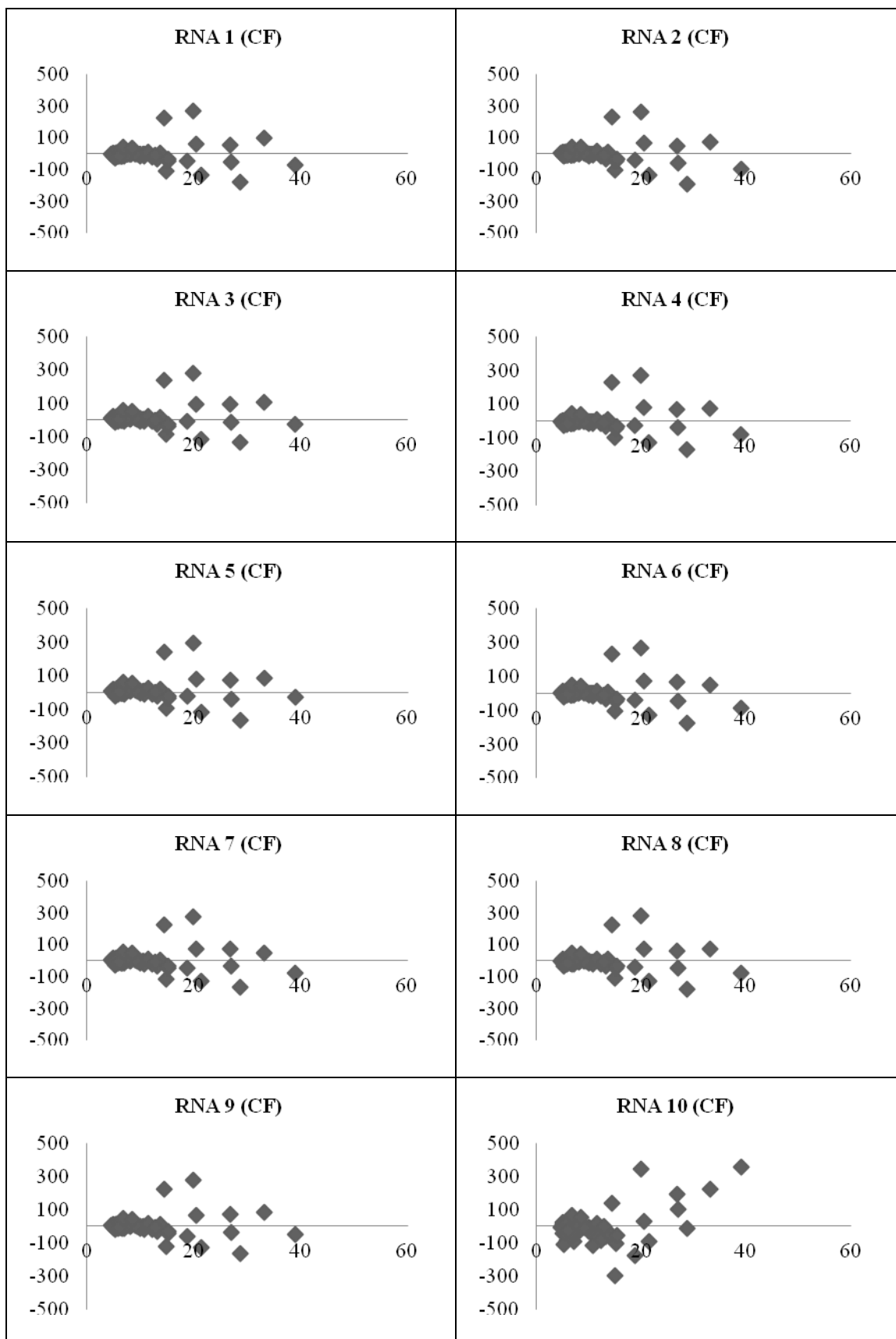


Figura 14: Distribuição gráfica dos resíduos (%) em relação ao DAP, gerada pelas 10 melhores RNAs ajustadas para estimar estoque de carbono do fuste (CF), considerando árvores com $DAP \geq 5$, em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

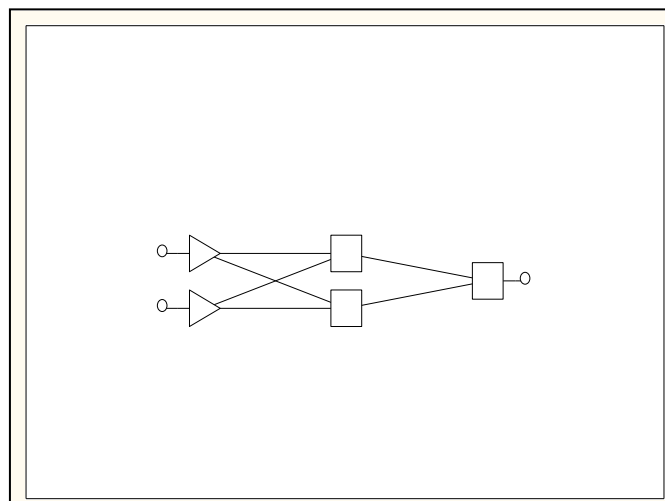


Figura 15: Arquitetura da RNA que melhor se ajustou aos dados de carbono do fuste (CF), para as árvores amostradas em fragmento de floresta estacional decidual localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

A Tabela 12 mostra a superioridade da qualidade dos ajustes gerados pelas melhores redes neurais artificiais quando comparadas as medidas de precisão do modelo de Schumacher & Hall, o qual somente foi melhor no coeficiente de determinação do ajuste do carbono do fuste, embora, com erro padrão da estimativa quase duas vezes maior do que o encontrado pela RNA utilizada no ajuste da mesma variável.

Tabela 12: Comparação das medidas de precisão encontradas nos ajustes dos melhores modelos de regressão e das melhores redes neurais artificiais para cada variável dependente analisada.

Variável	Método	R ²	Syx (kg)	Syx%
Biomassa Total	Schumacher & Hall	0,96	28,0167	42,96
	RNA 8	0,98	14,0949	21,61
Biomassa Fuste	Schumacher & Hall	0,89	19,7592	56,81
	RNA 4	0,91	8,8232	25,37
Carbono Total	Schumacher & Hall	0,96	13,2341	45,46
	RNA 7	0,97	5,7052	19,60
Carbono Fuste	Schumacher & Hall	0,88	9,2311	59,39
	RNA 1	0,87	4,8098	30,95

4.5. Validação dos modelos a partir de análises de variância

Os modelos selecionados para cada variável analisada tanto por regressão quanto por redes neurais artificiais foram submetidos a análise de variância, considerando fator único, sendo cada método de ajuste considerado um tratamento e os dados, as repetições (Tabela 13). De acordo com os resultados, não houve diferença estatística significativa entre os métodos de ajuste (Regressão e RNA) para nenhuma das variáveis analisadas, o que corrobora com a validação dos modelos selecionados por cada método. Portanto, pela ANOVA, os dois métodos de ajuste são estatisticamente iguais ao nível de 5% de significância.

Tabela 13: Análise de variância (fator único) para os resultados obtidos nos testes de validação dos modelos e RNAs com melhores medidas de precisão, utilizadas na geração de estimativas de biomassa total (BT) e do fuste (BF) e carbono total (CT) e do fuste (CF).

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância	F	F crítico	p
BT Observada	15	495,48	33,03	1834,64			
BT S&H	15	329,43	21,96	717,99	0,6804	3,2199	0,5119 ^{ns}
BT Redes	15	537,52	35,83	1005,91			
BF Observada	15	279,65	18,64	483,18			
BF S&H	15	326,56	21,77	373,51	0,0916	3,2199	0,9127 ^{ns}
BF Redes	15	288,60	19,24	497,82			
CT Observado	15	221,79	14,79	372,06			
CT S&H	15	148,84	9,92	143,63	0,3953	3,2199	0,6760 ^{ns}
CT Redes	15	185,97	12,40	157,52			
CF Observado	15	124,53	8,30	96,64			
CF S&H	15	148,59	9,91	73,78	0,1396	3,2199	0,8701 ^{ns}
CF Redes	15	145,05	9,67	71,42			

ns: não significativo ao nível de 95% de probabilidade.

A utilização de redes neurais artificiais (RNAs) vem ganhando notoriedade no meio científico florestal por apresentar ajustes bastante satisfatórios para os mais diversos problemas, como por exemplo, a modelagem do crescimento em nível de árvores individuais (CASTRO, 2011); a geração de estimativas de mortalidade e projeções do diâmetro e da altura de florestas (CASTRO, 2012) e o mapeamento da biomassa e carbono orgânico a partir de imagens de satélite (SCHOENINGER, 2006; ALMEIDA *et al.*, 2009).

4.6. Avaliação do inventário florestal

A avaliação da precisão do inventário florestal realizado no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã (Tabela 14), mostra que, tanto para a variável densidade quanto para a área basal o número de parcelas permanentes amostradas foi suficiente, considerando-se um limite de erro de 20%.

Rocha (2011) destaca que geralmente as florestas tropicais apresentam uma estrutura complexa, com elevadas riqueza e diversidade florística, além de apresentar uma variabilidade acentuada de tamanhos e formas. A mesma autora ressalta ainda que distúrbios naturais e antrópicos como, fogo, herbivoria e o corte seletivo de indivíduos de grande porte afetam diretamente a estrutura da vegetação, o que revela a importância de se considerar as especificidades da comunidade estudada quando da determinação dos níveis de precisão exigidos.

Felfili *et al.* (2005) sugerem um erro máximo admitido de 10%, ao nível de 5% de significância, valor esse, corroborado na legislação, como por exemplo o Decreto nº 6.958, de 29 de dezembro de 2005 (regulamentação da gestão florestal do estado de Mato Grosso) e a norma de execução nº 1 do IBAMA, de 24 de abril de 2007 (diretrizes técnicas para elaboração dos planos de manejo florestal sustentável). Porém, a exigência de uma precisão de 10% pode tornar a execução correta de inventários florestais em formações vegetais nativas inviável (SCOLFORO *et al.*, 2008). Os mesmos autores afirmam que a utilização de um limite de erro equivalente a 20% otimizaria tanto a eficiência estatística quanto os custos, que são muito elevados.

Tabela 14: Estimadores dos parâmetros da população amostrada para as variáveis densidade e dominância.

Estimadores dos parâmetros da população amostrada	Densidade (árv./ha)	Área Basal (m ² /ha)
Média	1.155	12,7219
Coefficiente de Variação (%)	30,83	27,25
Syx	4,0782	0,0401
Syx (%)	18,9325	16,8959
Intervalo de Confiança*	$936,3298 \leq \bar{X} \leq 1.373,6701$	$10,5724 \leq \bar{X} \leq 14,8714$

*Nível de significância de 5%.

Os valores encontrados para a densidade ($1.155 \text{ \acute{a}rv.ha}^{-1}$) s\~{a}o sensivelmente maiores que os encontrados em diversos estudos realizados em fragmentos de floresta estacional decidual na regi\~{a}o centro-oeste do pa\~{i}s (FELFILI *et al.*, 2007; NASCIMENTO *et al.*, 2004; PEREIRA, 2008; SCARIOT e SEVILHA, 2000; SILVA e SCARIOT, 2003; SILVA e SCARIOT, 2004), que variaram de 536 a 1.189 \~{a}rvores por hectare, sendo que, com exce\~{c}\~{a}o do estudo realizado por Pereira (2008) em uma floresta estacional decidual localizada em Bras\~{i}lia-DF, todos encontraram valores inferiores a 1.000 \~{a}rvores por hectare.

Comparando a \~{a}rea basal encontrada no presente estudo ($12,72 \text{ m}^2/\text{ha}$) com os valores encontrados pelos mesmos autores supracitados, a rela\~{c}\~{a}o \~{e} inversa, pois, com exce\~{c}\~{a}o dos estudos realizados por Silva e Scariot (2003) e Silva e Scariot (2004), todos os demais estudos realizados em floresta estacional decidual apresentaram valores bem superiores, variando de 16,37 a 44,81 m^2/ha , indicando que a floresta estacional estudada pode ser uma floresta prim\~{a}ria com regenera\~{c}\~{a}o avan\~{c}ada.

Essa rela\~{c}\~{a}o entre elevada densidade e baixa \~{a}rea basal pode ser explicada a partir da altera\~{c}\~{a}o estrutural causada pelo corte seletivo de \~{a}rvores de grande porte evidenciada durante a coleta de dados, o que, provavelmente, favoreceu a regenera\~{c}\~{a}o natural, fazendo com que a maior parte das \~{a}rvores estejam concentradas nas menores classes de di\~{a}metro.

A menor densidade registrada nas parcelas amostradas foi de 25 \~{a}rvores, enquanto a maior foi de 78, com um coeficiente de varia\~{c}\~{a}o de 30,83%. Para a vari\~{a}vel \~{a}rea basal, os valores por parcela variaram entre 0,26 e 0,75 m^2 , com um coeficiente de varia\~{c}\~{a}o igual a 27,25%.

4.7. Estimativas dos estoques de biomassa seca e carbono da vegeta\~{c}\~{a}o

Os estoques de biomassa seca e carbono (total, do fuste e da copa) estimados para o fragmento estudado est\~{a}o apresentados na Tabela 15. A produ\~{c}\~{a}o de biomassa seca por hectare do fragmento \~{e} de 65,61 ($\pm 15,52$) toneladas, sendo que desse total, aproximadamente 52,09% ($34,17 \pm 7,85$ toneladas) est\~{a}o estocados nos fustes e 47,91% nas copas ($31,43 \pm 9,40$ toneladas) das \~{a}rvores. Miguel (2014), ao avaliar a contribui\~{c}\~{a}o do fuste e da copa para os estoques de biomassa seca em uma \~{a}rea de cerrad\~{a}o, localizada no Parque Estadual do Lajeado, em Palmas-TO, encontrou a rela\~{c}\~{a}o inversa, ou seja, 48% da biomassa seca armazenada no fuste e 52% na copa.

Para a área total de 90 hectares do fragmento, a biomassa seca estocada no componente arbóreo é de $5.904,9 \pm 1.396,8$ toneladas, sendo $3.075,34 \pm 707,42$ toneladas no fuste e $2.828,75 \pm 846,01$ na copa.

Tabela 15: Estimadores dos parâmetros das variáveis biomassa seca (toneladas) e carbono (toneladas) para a comunidade ($DAP \geq 5$ cm) amostrada em fragmento de floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

Variável	Área	Média (ton)	Erro (%)	Intervalo de Confiança
Biomassa Total	Por hectare	65,61	23,66	$50,09 \leq \bar{X} \leq 81,13$
	Total	5.904,9		$4.508,10 \leq \bar{X} \leq 7.301,70$
Biomassa Fuste	Por hectare	34,17	22,98	$26,32 \leq \bar{X} \leq 42,03$
	Total	3.075,3		$2.367,90 \leq \bar{X} \leq 3.782,70$
Biomassa Copa	Por hectare	31,43	29,9	$22,04 \leq \bar{X} \leq 40,83$
	Total	2.828,7		$1.982,70 \leq \bar{X} \leq 3.674,70$
Carbono Total	Por hectare	29,47	23,51	$22,54 \leq \bar{X} \leq 36,4$
	Total	2.652,3		$2.028,60 \leq \bar{X} \leq 3.276,00$
Carbono Fuste	Por hectare	15,16	22,95	$11,68 \leq \bar{X} \leq 18,63$
	Total	1.364,4		$1.052,10 \leq \bar{X} \leq 1.676,70$
Carbono Copa	Por hectare	14,31	29,7	$10,06 \leq \bar{X} \leq 18,56$
	Total	1.287,9		$905,40 \leq \bar{X} \leq 1.670,40$

Nível de probabilidade 95%

Ribeiro *et al.* (2009) estimaram para uma floresta madura localizada no Município de Viçosa-MG, um estoque de biomassa seca de $164,13 \text{ t.ha}^{-1}$, enquanto Ribeiro *et al.* (2010) avaliando os estoques de biomassa seca de um fragmento de capoeira na mesma área encontraram valores de $38,99 \text{ t.ha}^{-1}$.

Vogel *et al.* (2006) encontraram para um fragmento de floresta estacional decidual em Itaara-RS valores equivalentes a 210 t.ha^{-1} , enquanto Brun (2004) para uma floresta estacional decidual secundária em Santa Tereza-RS estimou um estoque de biomassa seca de $157,6 \text{ t.ha}^{-1}$.

No inventário florestal do Estado de Minas Gerais, Scolforo *et al.* (2008) separaram as florestas estacionais deciduais em quatro diferentes estágios de sucessão, ou seja, floresta decidual ciliar madura, floresta decidual de terra firme com regeneração média, floresta decidual de terra firme com regeneração avançada e floresta decidual de terra firme madura. Esses autores quantificaram os estoques de biomassa seca para os diferentes estágios de sucessão e encontraram os seguintes resultados; $188,55 \text{ t.ha}^{-1}$, $32,30 \text{ t.ha}^{-1}$, $54,86 \text{ t.ha}^{-1}$ e $90,45 \text{ t.ha}^{-1}$, respectivamente, sendo a floresta decidual de

terra firme com regeneração avançada ($54,86 \text{ t.ha}^{-1}$) a que apresentou valores mais próximos aos encontrados na floresta estacional analisada nesse estudo ($65,61 \text{ t.ha}^{-1}$).

Para o fragmento florestal estudado estima-se que o estoque de carbono é igual a $29,47 \pm 6,93 \text{ t.ha}^{-1}$, sendo que 51,43% ($15,16 \pm 3,48 \text{ t.ha}^{-1}$) estão estocados no fuste e 48,57% ($14,31 \pm 4,25 \text{ t.ha}^{-1}$) na copa. Estes valores encontram-se bem abaixo dos observados por Amaro (2010) em floresta estacional semidecidual (Viçosa-MG), que foram da ordem de $93,82 \text{ t.ha}^{-1}$ para as árvores vivas e mortas em pé com DAP $\geq 5 \text{ cm}$. Ribeiro *et al.* (2009) estimaram os estoques de carbono em uma floresta madura no Município de Viçosa-MG e encontraram $83,34 \text{ tC.ha}^{-1}$.

Scolforo *et al.* (2008) encontraram para as florestas estacionais decíduais do Estado de Minas Gerais, estoques de carbono variando entre $14,95$ e $90,60 \text{ t.ha}^{-1}$ para os diferentes estágios de sucessão avaliados.

Em estudo conduzido em área de cerradão no Parque Estadual do Lajeado (Palmas-TO), Miguel (2014) alcançou valores próximos aos estimados no presente estudo, $30,83 \text{ tC.ha}^{-1}$, sendo que 48% ($14,80 \text{ t.ha}^{-1}$) estavam estocados no fuste e os outros 52% ($16,03 \text{ t.ha}^{-1}$) na copa. O autor salienta ainda que a diferença entre os valores nos estoques em biomassa e carbono registrados para diferentes comunidades florestais podem ser provenientes da escolha dos componentes de uma floresta (serapilheira, raízes sub-bosque, cipós e palmeiras) a serem abordados.

A produção total de carbono para o fragmento analisado foi de $2.652,3 \pm 623,7$ toneladas, sendo que, $1.364,4 \pm 312,3$ toneladas estão estocadas no fuste e o restante, ou seja, $1.287,9 \pm 382,5$ toneladas estão estocadas na copa.

A proporção de carbono na biomassa seca para o estrato arbóreo da área de estudo foi de 44,92%, ou seja, 5,08% abaixo do valor de 50% indicado pelo IPCC para a geração de estimativas de carbono em ecossistemas tropicais.

A distribuição das árvores em classes de diâmetro (Figura 16a) descreve uma linha de tendência na forma de um “J-invertido” ou exponencial negativa. Esse comportamento foi largamente observado para comunidades vegetais do bioma Cerrado (FELFILI e SILVA JÚNIOR, 1988; ASSUNÇÃO e FELFILI, 2004) e de acordo com os primeiros autores é um formato que indica que a comunidade possui recrutamento contínuo, pois a maior parte das árvores aparece nas primeiras classes de diâmetro, possibilitando assim que uma maior quantidade delas atinja a fase reprodutiva.

A distribuição da produção de biomassa seca total em classes de diâmetro com a contribuição de cada compartimento, ou seja, fuste e copa, para as árvores amostradas

no inventário (Figura 16b) apresentou comportamento bastante incomum, pois, aproximadamente 51% da biomassa total encontra-se nas cinco primeiras classes e os outros 49% nas sete classes subsequentes. Percebe-se ainda que nas quatro primeiras classes, a proporção de biomassa no fuste foi maior do que na copa, porém, essa tendência se inverte para as classes seguintes. Vale ressaltar que as classes mais representativas foram respectivamente, a quinta (14,42%) e a primeira (14,11%), representando assim um percentual somado de 28,53 da biomassa seca total. O comportamento da distribuição do estoque de carbono em classes de diâmetro (Figura 16c) seguiu a mesma tendência que a distribuição da biomassa seca.

4.8. Estimativa do estoque em volume de madeira

O fragmento florestal estudado apresentou produção média estimada de madeira igual a $88,22 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, enquanto que, levando em consideração toda a extensão da área a produção vai a $7.939,57 \pm 1.902,25 \text{ m}^3$ (Tabela 16).

Coelho (2006) ao avaliar o volume total de madeira com casca em florestas preservadas próximas ao município de Viçosa encontrou valores entre 49,61 e 115,00 $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$, para indivíduos com CAP maior que 15cm. Em estudo conduzido na mesma região, Oliveira *et al.* (2005) encontraram volume médio equivalente a $141,43 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$.

Amaro (2010) quantificou o volume de madeira de um fragmento de floresta estacional de 17 hectares, também no município de Viçosa, que encontra-se preservado desde 1936, e encontrou valores da ordem de $282,51 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$, para o volume com casca dos indivíduos com $\text{DAP} \geq 5\text{cm}$. Esse elevado estoque deve-se, ainda segundo o mesmo autor, ao estágio sucessional em que se encontra a vegetação estudada, valor esse, próximo ao encontrado por Ribas (2001), para uma floresta estacional semidecidual localizada no mesmo município, com 30 anos de sucessão secundária ($230,12 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$).

O inventário florestal do Estado de Minas Gerais revelou que as florestas estacionais decíduais encontradas sob seus domínios possuem estoque em volume variando de 56,46 a $338,8 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ distribuídos em quatro estágios sucessionais (SCOLFORO *et al.*, 2008).

Tabela 16: Estimadores dos parâmetros da população amostrada em fragmento de floresta estacional decidual na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO para a variável volume.

Estimadores dos parâmetros da população amostrada	Volume (m ³ .ha ⁻¹)
Média	88,22
Coefficiente de Variação (%)	37,61
Syx	0,39
Syx%	23,96
Intervalo de Confiança*	67,08 ≤ \bar{x} ≤ 109,35

*Nível de significância de 5%.

As espécies que apresentaram os maiores volumes de madeira estocados foram respectivamente: *Guazuma ulmifolia*, *Callisthene fasciculata*, *Pseudobombax tomentosum*, *Myracrodruon urundeuva* e *Dilodendron bipinnatum*, que somadas correspondem a 46,50% de todo o volume amostrado.

4.9. Caracterização das principais espécies florestais

Os estoques de biomassa seca e carbono para as espécies amostradas no fragmento de floresta estacional e, também, das árvores mortas em pé, estão apresentados na Tabela 17. Vale ressaltar que uma das espécies não pode ser identificada botanicamente, pois, quando da realização do inventário florestal, a mesma encontrava-se sem material vegetativo.

Foram amostrados nas 15 parcelas, inventariadas um total de 737 árvores com DAP ≥ 5 cm, pertencentes a 18 famílias, 39 gêneros e 45 espécies. As famílias que mais se destacaram em número de espécies foram Fabaceae (10), Bignoniaceae (6), Malvaceae (5) e Combretaceae (4), sendo responsáveis por 55,55% do total de espécies amostradas.

As espécies *Pseudobombax tomentosum*, *Callisthene fasciculata*, *Guazuma ulmifolia*, *Myracrodruon urundeuva*, *Handroanthus impetiginosus*, *Dilodendron bipinnatum*, *Tabebuia serratifolia*, *Astronium fraxinifolium*, *Tabebuia aurea* e *Sterculia striata* se destacaram na área por estocarem mais biomassa seca, carbono (kg.ha⁻¹) e volume (m³.ha⁻¹) e foram responsáveis por 73,65% da biomassa seca total, 81,85% do carbono total e 69,53% do volume total.

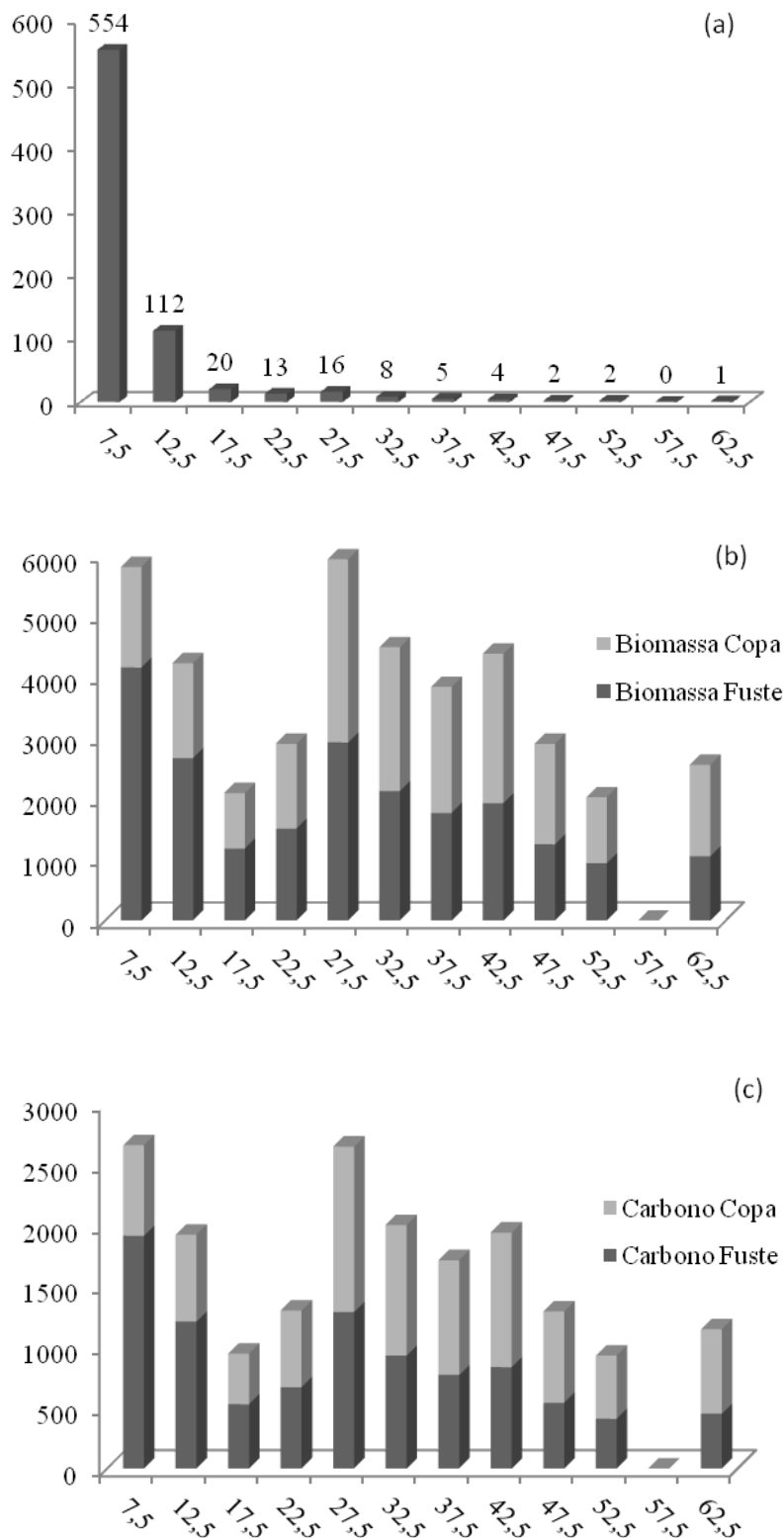


Figura 16: (a) Distribuição da densidade de árvores amostradas, (b) do estoque em biomassa seca (kg.ha⁻¹) e (c) do estoque de carbono (kg.ha⁻¹) por classes de diâmetro da comunidade arbórea em área de floresta estacional decidual, localizada na Fazenda Canaã, Campos Belos (GO).

Comparando os estoques de biomassa seca e carbono por hectare de todas as espécies amostradas (Tabela 17) com a produção de biomassa seca e carbono por hectare das dez espécies de maior IVI (Tabela 18), verifica-se que apesar da mudança de posição no ranking de classificação do IVI em relação ao estoque, 6 das 10 espécies que mais estocam biomassa seca e carbono mantiveram-se entre as 10 mais importantes no fragmento analisado. Dentre elas destaca-se *Pseudobombax tomentosum*, que é a espécie que mais estoca biomassa seca e carbono, mas, que ocupa somente a décima posição no ranking do IVI. Isso se deve ao fato da espécie possuir baixa densidade e baixa distribuição na área. Foram registradas apenas três árvores na área distribuídas em três parcelas, porém, todas com uma área basal elevada, responsável por 7,51% da área basal total.

No geral, todas as espécies de maior IVI encontram-se próximas das dez que mais estocam biomassa seca e carbono, com exceção da *Rhamnidium elaeocarpum*, que subiu da 26ª posição para a 9ª. Essa ascensão se deve principalmente ao fato da espécie estar bem distribuída no fragmento.

A produção em biomassa seca e carbono das 10 espécies de maior IVI, mesmo incluindo a produção de *Rhamnidium elaeocarpum*, foi bastante elevada, representando respectivamente, 62,13% e 62,18% dos totais registrados na área, já com a inclusão da produção da população de árvores mortas. Miguel (2014) destaca que essa relação já era esperada, pois grande parte da produção de florestas tropicais se restringe a um grupo pequeno de espécies, tendo em vista que a maioria das espécies apresenta baixa densidade e pequena área basal, e, conseqüentemente, apresentam baixa produção. Tal fato ficou evidenciado na distribuição das árvores amostradas em classes de diâmetro.

A representatividade das árvores mortas para os estoques de biomassa seca e carbono ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi baixa. A população de árvores mortas foi responsável por, respectivamente, 1,53% e 1,65% dos estoques totais de biomassa seca e carbono registrados no fragmento da floresta. Tais valores são inferiores aos encontrados por Miguel (2014) em área de cerradão no Estado do Tocantins (6,7% para a biomassa seca) e por Amaro (2010) em área de floresta estacional semidecidual (3,5% para a biomassa seca).

Tabela 17: Estoques de biomassa seca total e carbono ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) para fuste, copa e total, por espécie para todas as árvores com DAP ≥ 5 cm, amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

Espécie	Bio. Total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Bio. Fuste ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	Bio. Copa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	C Total ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	C Fuste ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)	C Copa ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$)
<i>Acacia</i> sp.	733,92	365,64	368,27	327,03	161,12	165,92
<i>Anadenanthera colubrina</i>	2556,06	1310,26	1245,80	1141,12	579,98	561,14
<i>Anadenanthera peregrina</i>	1035,97	515,91	520,06	461,48	227,39	234,09
<i>Andira</i> sp	23,12	16,15	6,97	10,56	7,42	3,14
<i>Apeiba tibourbou</i>	168,32	104,99	63,33	77,62	47,39	30,23
<i>Aspidosperma subincanum</i>	12,91	9,68	3,24	5,95	4,48	1,47
<i>Astronium fraxinifolium</i>	3688,23	1813,67	1874,57	1639,30	798,96	840,34
<i>Bauhinia rufa</i>	146,08	101,86	44,22	66,71	46,80	19,91
<i>Buchenavia tomentosa</i>	439,83	226,05	213,79	197,88	99,81	98,08
<i>Byrsonima pachyphylla</i>	48,97	31,39	17,59	22,17	14,27	7,90
<i>Callisthene fasciculata</i>	6744,30	3129,72	3614,58	3008,89	1365,77	1643,12
<i>Campomanesia velutina</i>	14,67	10,96	3,71	6,80	5,07	1,73
<i>Casearia rupestris</i>	1788,31	1255,09	533,22	818,74	576,72	242,03
<i>Celtis iguanaea</i>	35,70	26,60	9,10	16,34	12,32	4,02
<i>Combretum duarteanum</i>	2138,22	1553,56	584,67	979,93	717,15	262,78
<i>Cybistax antisyphilitica</i>	10,16	7,91	2,25	4,73	3,67	1,05
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	4101,40	2238,12	1863,29	1844,01	998,35	845,67
<i>Diospyros hispida</i>	21,01	14,72	6,29	9,56	6,77	2,79
<i>Eugenia dysenterica</i>	49,80	32,45	17,35	22,81	14,76	8,05
<i>Ficus</i> sp.	11,50	8,68	2,82	5,29	4,02	1,26
<i>Guazuma ulmifolia</i>	6415,53	4201,49	2214,04	2924,71	1914,05	1010,65
<i>Guettarda viburnoides</i>	630,74	382,82	247,92	286,53	172,96	113,57
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	4782,92	2243,83	2539,09	2127,39	980,82	1146,58
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	627,20	362,07	265,13	282,50	162,51	119,98
<i>Luehea grandiflora</i>	4,85	4,14	0,71	2,29	1,94	0,34
<i>Machaerium acutifolium</i>	295,18	159,58	135,60	133,83	70,84	62,99
<i>Machaerium hirtum</i>	441,34	228,60	212,75	199,57	100,94	98,63
<i>Machaerium villosum</i>	1413,78	633,34	780,44	626,07	275,23	350,84
<i>Magonia pubescens</i>	429,23	223,73	205,50	193,13	99,00	94,13
<i>Morta</i>	1005,33	581,60	423,72	487,29	257,57	229,72
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	5489,64	2726,89	2762,75	2450,88	1202,36	1248,52
<i>NI 1</i>	83,52	61,06	22,46	38,63	28,15	10,47
<i>Platymiscium floribundum</i>	21,31	15,71	5,60	9,61	7,29	2,33
<i>Platypodium elegans</i>	7,36	5,79	1,57	3,38	2,70	0,68
<i>Pseudobombax tomentosum</i>	7474,70	3196,13	4278,58	3349,12	1377,01	1972,11
<i>Randia armata</i>	23,71	17,91	5,80	10,95	8,30	2,65
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	364,18	266,78	97,41	167,66	123,17	44,49
<i>Simarouba versicolor</i>	780,30	424,58	355,72	350,37	189,08	161,30
<i>Spondias mombin</i>	7,70	6,03	1,67	3,54	2,81	0,73
<i>Sterculia striata</i>	2729,90	1288,26	1441,63	1220,44	562,96	657,48

Continua...

Continuação...

Espécie	Bio. Total (kg.ha ⁻¹)	Bio. Fuste (kg.ha ⁻¹)	Bio. Copa (kg.ha ⁻¹)	C Total (kg.ha ⁻¹)	C Fuste (kg.ha ⁻¹)	C Copa (kg.ha ⁻¹)
<i>Syagrus oleracea</i>	308,09	180,10	127,98	137,93	81,04	56,89
<i>Tabebuia roseoalba</i>	400,31	280,79	119,52	183,31	129,01	54,30
<i>Tabebuia serratifolia</i>	3699,13	1771,76	1927,37	1643,26	776,73	866,53
<i>Terminalia argentea</i>	56,13	35,75	20,38	25,52	16,23	9,30
<i>Terminalia phaeocarpa</i>	746,86	365,30	381,56	332,49	160,58	171,90
<i>Tocoyena formosa</i>	98,84	73,51	25,33	45,43	34,02	11,41
TOTAL GERAL	65607,68	34173,36	31434,32	29470,34	15156,49	14313,85

Tabela 18: Estoques de biomassa seca total e carbono (kg.ha⁻¹) para fuste, copa e total, das dez espécies de maior IVI, amostradas no fragmento de floresta estacional decidual, localizado na Fazenda Canaã, em Campos Belos, GO.

Espécie	Ranking IVI	Ranking Estoque	Bio. Total (kg.ha ⁻¹)	Bio. Fuste (kg.ha ⁻¹)	Bio. Copa (kg.ha ⁻¹)	C Total (kg.ha ⁻¹)	C Fuste (kg.ha ⁻¹)	C Copa (kg.ha ⁻¹)
<i>Guazuma ulmifolia</i>	1	3	6415,53	4201,49	2214,04	2924,71	1914,05	1010,65
<i>Combretum duarteanum</i>	2	12	2138,22	1553,56	584,67	979,93	717,15	262,78
<i>Casearia rupestres</i>	3	13	1788,31	1255,09	533,22	818,74	576,72	242,03
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	4	6	4101,40	2238,12	1863,29	1844,01	998,35	845,67
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	5	4	5489,64	2726,89	2762,75	2450,88	1202,36	1248,52
<i>Callisthene fasciculata</i>	6	2	6744,30	3129,72	3614,58	3008,89	1365,77	1643,12
<i>Astronium fraxinifolium</i>	7	8	3688,23	1813,67	1874,57	1639,30	798,96	840,34
<i>Anadenanthera colubrina</i>	8	11	2556,06	1310,26	1245,80	1141,12	579,98	561,14
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	9	26	364,18	266,78	97,41	167,66	123,17	44,49
<i>Pseudobombax tomentosum</i>	10	1	7474,70	3196,13	4278,58	3349,12	1377,01	1972,11

Guazuma ulmifolia além de ser a espécie mais importante do fragmento estudado, representa segundo Almeida *et al.* (1998) alternativa econômica para as populações rurais, com valor medicinal, cosmético, alimentar e ornamental, podendo ser utilizada ainda na regeneração de ambientes degradados e perturbados. Do ponto de vista da produção, ainda segundo os mesmos autores, sua madeira é utilizada na confecção de carrocerias, na marcenaria, na caixotaria e na produção de pasta de papel e sua casca pode ser utilizada para extração de fibras.

Callisthene fasciculata apesar de ocupar apenas a sexta posição na classificação do IVI, tem sua importância, na comunidade vegetal estudada, aumentada pelo fato de apresentar o segundo maior estoque, tanto de biomassa seca quanto de carbono. Segundo Souza & Silva (2013) os principais usos da espécie são, caixotaria, obras internas em construções rústicas, confecção de canoas, remos, brinquedos,

engradados, *palletes* e peças artesanais, são indicadas também para o reflorestamento de áreas degradadas, pois possuem baixas exigências nutricionais e poucos tratamentos silviculturais.

Outra espécie que obteve posição de destaque foi *Myracrodruon urundeuva*, que possui o quarto maior estoque, tanto de biomassa seca quanto de carbono, e é a quinta espécie em termos de importância no fragmento estudado. Suas raízes e folhas possuem propriedades medicinais, podendo ser usadas nos tratamentos de reumatismo e úlceras respectivamente (CARLINI *et al.*, 2010). Queiroz *et al.* (2002) apontam que sua madeira, por ser pesada, dura e possuir concentração elevada de tanino, o que confere resistência a decomposição, é amplamente utilizada na fabricação de postes, dormentes, mourões e móveis.

Segundo Lorenzi (2002), *Dilodendron bipinnatum*, outra espécie que se destacou no fragmento estudado, possui potencial ornamental e sua madeira é comumente utilizada em construções temporárias e como lenha, seu principal diferencial está no óleo combustível produzido por suas sementes.

O *Pseudobombax tomentosum*, segundo Lorenzi (2002), tem sua madeira utilizada principalmente na confecção de caixas, calçados e aeromodelos, sua casca é empregada na cordoaria rústica (popularmente conhecida como embira). Outra utilidade relevante, porém, segundo o mesmo autor, com suas propriedades pouco estudadas está relacionada às suas sementes (utilizadas como alimento e condimento em algumas partes do mundo) e à paina originada da parede interna do endocarpo dos seus frutos, da qual deve ter-se originado o nome popular “paineira”, como são chamadas em diversas regiões do Brasil (LORENZI, 2002). A espécie, apesar de apresentar os maiores estoques tanto de biomassa quanto de carbono, só foi amostrada em três ocasiões durante o inventário, o que a torna pouco interessante economicamente.

Outra espécie que apresentou relevante importância foi *Astronium fraxinifolium*, que possui madeira pesada (densidade de $1,09 \text{ g.cm}^{-3}$), compacta, rígida, de grande durabilidade sob condições naturais, podendo ser classificada como adequada para uso na construção civil e naval, na marcenaria, para confecção de dormentes e portas de fino acabamento, além de ser uma opção para o paisagismo por seu porte médio e beleza da copa (LORENZI, 2002). Sua utilização em projetos de reflorestamento pode ser bastante explorada (FEITOSA *et al.*, 2011), principalmente devido à qualidade de sua madeira e sua boa distribuição no fragmento estudado, ocupando a sétima posição no ranking do IVI.

As outras quatro principais espécies amostradas, *Combretum duar-teanum*, *Anadenanthera colubrina*, *Casearia rupestris* e *Rhamnidium elaeocarpum*, são utilizadas principalmente na medicina popular e como frutíferas ornamentais (GOUVEIA *et al.*, 2011; WEBER *et al.*, 2011; FLAUSINO JR. *et al.*, 2009; NISHIJIMA, 2010), possuindo assim, do ponto de vista da produção, com exceção da *Casearia rupestris* que pode ser utilizada na construção civil e como lenha (MOREIRA e GUARIM-NETO, 2009), baixo valor econômico.

5. CONCLUSÕES

- O modelo alométrico de Schumacher & Hall apresenta boa precisão em estimativas de estoques de biomassa seca e carbono (total e do fuste) para árvores em floresta estacional decidual;
- As redes MLP (*multilayer perceptron*), testadas e treinadas pela ferramenta *intelligent problem solver* do software STATISTICA 7, para geração de estimativas de biomassa seca e carbono (total e do fuste), com as melhores arquiteturas, apresentam, em geral baixo número de neurônios na camada oculta.
- A utilização de redes neurais artificiais na estimativa de estoques de biomassa seca e carbono de árvores individuais ($DAP \geq 5$ cm) é considerada eficiente, apresentando estimativas bastante precisas, mas, não difere estatisticamente das estimativas geradas pelo modelo de Schumacher e Hall, que também apresentam estimativas razoavelmente precisas para a área.
- Os estoques de biomassa seca (total e do fuste) e de carbono (total e do fuste) foram $65,61 \pm 15,52$ t.ha⁻¹, $34,17 \pm 7,85$ t.ha⁻¹, $29,47 \pm 6,93$ t.ha⁻¹ e $15,16 \pm 3,48$ t.ha⁻¹, respectivamente.
- As espécies mais importantes encontradas no fragmento estudado, tanto em termos de estoque quanto em termos do IVI foram *Guazuma ulmifolia*, *Combretum duarteanum*, *Casearia rupestris*, *Dilodendron bipinnatum*, *Myracrodruon urundeuva*, *Callisthene fasciculata*, *Astronium fraxinifolium*, *Anadenanthera colubrina*, *Rhamnidium elaeocarpum*, *Pseudobombax tomentosum*.
- Dentre as dez espécies mais importantes da comunidade estudada, sete possuem relevante valor econômico relacionado à madeira, e conseqüentemente, podem ser classificadas como prioritárias para plantios de recuperação em áreas adjacentes cujo o foco seja a produção de biomassa e carbono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALA, G.C., CALDAS L.S., HARIDASAN M. & EITEN G. Above and belowground organic matter and root:shoot ratio in a cerrado in Central Brazil. **Brazilian Journal of Ecology**, v.2, p.11-23. 1998.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma ABNT NBR 7190, 107p. CB – 02 – Comitê Brasileiro de Construção Civil. E-02:003.10 – Comissão de Estudos de Estruturas de Madeira, p. 48-51. 1997.
- ADUAN, R.E. Respiração de solos e ciclagem de carbono em cerrado nativo e pastagem no Brasil central. Tese de Doutorado, Universidade de Brasília, Brasília. 2003.
- ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M. & RIBEIRO, J. F. Cerrado: espécies vegetais úteis. Brasília, Embrapa CPAC, 464 pp. 1998.
- ALMEIDA, A. C.; BARROS, P. L. C; MONTEIRO, J. H. A; ROCHA, B. R. P. Estimation of aboveground forest biomass in Amazonia with neural networks and remote sensing. **IEEE Latin America Transactions**, v.7, n.1, p.27-32. 2009.
- AMARO, M. A. Quantificação do estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual no município de Viçosa-MG. 2010. 168 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2010.
- APG III. The Angiosperm Phylogeny Group II. An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of higher plants. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v.161, p.105–121. 2009.

- ASSUNÇÃO, S.L. & FELFILI, J.M. Fitossociologia de um fragmento de cerrado *sensu stricto* na APA do Paranoá, DF, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.18, p.903-909. 2004.
- BARBOSA, R.I. & FERREIRA, C.A.C. Biomassa acima do solo de um ecossistema de “campina” em Roraima, norte da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, v.34, n.4, p.577-586. 2004.
- BINOTI, M. L. M. da S. Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.
- BRAGA, A. P. LUDEMIR, T. B. CARVALHO, A. C. P. F. Redes neurais artificiais – teoria e aplicações. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 237p. 2000.
- BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. P. de L. F. de; LUDEMIR, T. B. Redes Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações. Rio de Janeiro: Editora LTC. 226 p. 2007.
- BRUN, E. J. Biomassa e nutrientes na floresta Estacional Decidual, em Santa Tereza, RS. 2004. 136f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- BREUGEL, M. van; RANSIJIN, J.; CRAVEN, D.; BONGERS, F.; HALL, J. S. Estimating carbon stock in secondary forests: decisions and uncertainties associated with allometric biomass models. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.1648-1657. 2011.
- BUSTAMANTE, M.M; OLIVEIRA, E.L. Impacto das Atividades Agrícolas, Florestais e Pecuárias nos Recursos Naturais, IX Simpósio Nacional Sobre o Cerrado – SNC e II Simpósio Internacional Sobre Savanas Tropicais – SIST, Embrapa Cerrados, Brasília, DF, 2008.

- CAMPOS, C.P. de. A Questão da Conservação de Florestas Tropicais na Mitigação da Mudança do Clima e no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2001.
- CARDOSO, D. J.; MACHADO, S. A.; ROSOT, N. C.; EMERENCIANO, D. B. Avaliação da influência dos fatores idade e sítio na relação hipsométrica para *Pinus taeda* nas regiões centrais do estado do Paraná. **Revista Floresta**, v. 19, n. 1, p. 96-115. 1989.
- CARLINI, E. A.; DUARTE-ALMEIDA, J. M.; RODRIGUES, E.; TABACH, R. Antiulcer effect of the pepper trees *Schinus terebinthifolius* Raddi (aroeira-da-praia) and *Myracrodruon urundeuva* Allemão, Anacardiaceae (aroeira-do-deserto). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.20, n.2, p.140-146. 2010.
- CARVALHO, A.C.P.L.F.; BRAGA, A.P.; T.B. LUDEMIR. Fundamentos de Redes Neurais Artificiais, XI Escola Brasileira de Computação. 1998.
- CARVALHO, L.A.V. Aplicação de redes neurais na implementação de um sistema de auxílio ao diagnóstico em um instrumento médico-hospitalar. **Revista de Física Aplicada e Instrumentação**, v.17, n.1. 2004.
- CARVALHO, A.M. de; BUSTAMANTE, M.M. da C.; ALCÂNTARA, F.A. de; RESCK, I.S.; LEMOS, S.S. Characterization by solid-state CPMAS¹³C NMR spectroscopy of decomposing plant residues in conventional and no-tillage systems in central Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.102, p.144-150. 2009.
- CASTELLANOS, A.; BLANCO, A. M.; PALENCIA, V. Applications of radial basis neural networks for area forest. **International Journal Information Theories and Applications**, v.14, p.218-222. 2007.
- CASTRO, E.A. Biomass, nutrient pool and response to fire in the Brazilian cerrado. MSc Thesis, Oregon State University. 1996.

- CASTRO, E.A. & KAUFFMAN, J.B. Ecosystem structure in Brazilian cerrado: a vegetation gradient of aboveground, root biomass and consumption by fire. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, p.263:283. 1998
- CASTRO, R.V.O. Modelagem do crescimento em nível de árvores individuais utilizando redes neurais e autômatos celulares. 80p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2011.
- CASTRO, R.V.O. Modelagem de árvore individual para uma floresta estacional semidecidual utilizando redes neurais. 116p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2012.
- CESTARO, L. A.; SOARES, J. J. Variações florística e estrutural e relações fitogeográficas de um fragmento de floresta decídua no Rio Grande do Norte, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.18, n.2, p.203- 218. 2004.
- COELHO, D. J. S. Diagnóstico de planos de manejo em áreas de florestas estacionais semidecíduais no estado de Minas Gerais. 237p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2006.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of Brazilian Cerrado. *In* Fire in the tropical biota (G.J., Goldamer ed.). Springer/Verlag, Berlin. p.82-105. 1990.
- COUTINHO, L.M. O conceito de bioma. **Acta Botânica Brasílica**, v.20, n.1, p.:1-11. 2006.
- DIAS-FILHO, M. B. A fotossíntese e o aquecimento global. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 24p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos, 234). 2006.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. Applied regression analysis. New York: J. Wiley. 709 p. 1981.

- DURIGAN, G.; BERNACCI, L.C.; FRANCO, G.A.D.C.; ARBOCZ, G.F.; METZGER, J.P. & CATHARINO, E.L.M. Estádio sucessional e fatores geográficos como determinantes da similaridade florística entre comunidades florestais no Planalto Atlântico, Estado de São Paulo, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v.22, p.51-62. 2008.
- EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: PINTO, M.N. (Ed.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. Brasília, DF: Editora da UnB, 1994. p.17-73.
- FEITOSA, D.G.; MALTONI, K.L.; CASSIOLATO, A.M.R.; PAIANO, M.O. Crescimento de mudas de Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium*) sob diferentes fontes e doses de nitrogênio. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.401-411. 2011.
- FELFILI, J.M.; SILVA JR., M.C. Distribuição de diâmetros numa faixa de Cerrado na Fazenda Água Limpa (FAL) em Brasília - DF. **Acta Botânica Brasileira**, v.2, n.1, p.85-104. 1988.
- FELFILI, J.M.; SILVA JR., M.C.; REZENDE, A.V.; SILVA, M.A. Changes in the floristic composition of cerrado *sensu stricto* in Brazil over a nine-year period. **Journal of Tropical Ecology**, v.16, p.579-590. 2000.
- FELFILI, J. M.; FAGG, C. W. Floristic composition, diversity and structure of the “cerrado” *sensu stricto* on rock soils in northern Goiás and southern Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, n.3, p.375-385. 2007.
- FELFILI, J.M.; NASCIMENTO, A.R.T.; FAGG, C.W. & MEIRELLES, E.L. Floristic composition and community structure of a seasonally deciduous forest on limestone outcrops in Central Brazil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.30, p.611-621. 2007.
- FIELD, C.B.; BEHRENFELD, M.J.; RANDERSON, J.T.; FALKOWSKI, P. Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. **Science**, v.281, n.5374, p.237-240. 1998.

- FLAUSINO JR, O., ABISSI, B. M., VIEIRA JR, G. M., SANTOS, A. G. D., SILVA, D. H. D., CAVALHEIRO, A., & BOLZANI, V. D. S. Protease inhibition activity of extracts from Salicaceae species from Brazilian Cerrado and Atlantic Rain Forest and of an enriched fraction of clerodane diterpenes (casearins). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.19, n.3, p.755-758. 2009.
- GOUVEIA, M. G., XAVIER, M. A., BARRETO, A. S., GELAIN, D. P., SANTOS, J. P., ARAÚJO, A. A., & QUINTANS-JÚNIOR, L. J. Antioxidant, antinociceptive, and anti-inflammatory properties of the ethanolic extract of *Combretum duarceanum* in rodents. **Journal of Medicinal Food**, v.14, n.11, p.1389-1396. 2011.
- GRACE, J.; SAN JOSE, J.; MEIR, P.; MIRANDA, H. S.; MONTES, R. A. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. **Journal of Biogeography**, v.33, p.387-400. 2006.
- GUILHERME, F. A. G. & NAKAJIMA, J. N. Estrutura da vegetação arbórea de um remanescente ecotonal urbano floresta-savana no Parque do Sabiá, em Uberlândia, MG. **Revista Árvore**, v.31, n.2, p.329-338. 2007.
- HARIDASAN, M. Observations on soils, foliar nutrient concentration and floristic composition of cerrado *sensu stricto* and cerradão communities in central Brazil. Pp.171-184. In: P.A. Furley; J. Proctor & J.A. Ratter (eds.). *Nature and Dynamics of Forest-Savanna Boundaries*. London, Chapman & Hall Publishing. 1992.
- HAYKIN, S. *Redes neurais: princípios e prática*. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900p.
- HEATON, J. *Programming Neural Networks with Encog2 in Java*. 2ed. Heaton Research, Incorporated, 2010.

- HIGUCHI, N.; SANTOS, J. dos.; RIBEIRO, R.J.; MINETTE, L; BIOT, Y. Biomassa da Parte Aérea da Vegetação de Floresta Tropical Úmida de Terra-Firma da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, v.28, n.2, p.153-166. 1998.
- HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; SILVA, R. P. DA; ROCHA, R. DE M.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica e balanço do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **Floresta**, v.34, n.3, p.295-304. 2004.
- IBGE. Zoneamento Geoambiental e Agroecológico do Estado de Goiás. IBGE, Rio de Janeiro 1995.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: Acesso em: 13 de janeiro de 2015.
- IPCC. Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. International Panel on Climate Change. 1996.
- IPCC – INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGES. Land use, land use change, and forestry special report. Summary for Policymakers. Based on WATSON, R *et al.* as Core Writing Team. Montreal. 2000.
- IVANUSKAS, N. M.; RODRIGUES, R. R. Florística e fitossociologia de floresta estacional decidual em Piracicaba, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v.23, n.3, p.291-304. 2000.
- KLINK, C.A. & MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v.19, p.707-713. 2005.
- KLINK, C.A.; MOREIRA, A. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (Ed.). Ecology and natural history of a Neotropical Savanna. New York: Columbia University Press, p.69-88. 2002.

- KENT, C.A. & COKER, P. Vegetation description and analysis. Belhaven Press, London. p. 363. 1992.
- LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia. **Oecologia Brasiliensis**, v.13, n.3, p.434-451. 2009.
- LORENZI, H. Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 334 p. 2002.
- MACHADO, S. A & FIGUEIREDO FILHO, A. Dendrometria. 2.ed. Guarapuava: UNICENTRO. 2006. 316p.
- MEDEIROS, J.S. Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: Tecnologias de Apoio a Gestão do Território. Tese. (Doutorado em geografia física Universidade de SÃO Paulo). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Departamento de Geografia. SP. 218p. 1999.
- MIGUEL, E. P. Caracterização da flora e da produção em volume, biomassa e carbono da vegetação arbórea em área de Cerradão no estado do Tocantins. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília – UnB, Brasília/DF. 96p. 2014.
- MIRANDA, A.C.; MIRANDA, H.S.; LLOYD, J.; GRACE, J.; FRANCEY, R.J.; MCINTYRE, J.A.; MEIR, P.; RIGGAN, P.; LOCKWOOD, R. & BRASS, J. Fluxes of carbon water and energy over Brazilian cerrado: an analysis using eddy covariance and stable isotopes. **Plant Cell and Environment**, v.20, p.315-328. 1997.
- MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M. & MIRANDA, A.C. The fire factor. *In*: The cerrados of Brazil (P.S. Oliveira & R.J. Marquis, eds.). Columbia University Press, New York. p.51-68. 2002.

- MIRANDA, H.S. & SATO, M.N. Global Change: the Cerrado fires. *In* II Conferência Regional sobre Mudanças Globais: América do Sul. Proceedings. IEA, São Paulo. 2005.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOREAUX, J.; FONSECA, G. A. B. Hotspots revisited: Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. New York: Conservation International, p.291, 2005.
- MMA/IBAMA. Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas: cerrado / Ministério do Meio Ambiente. – 2011. 200 p.
- MOREIRA, D. L.; GUARIM-NETO, G. Los usos múltiples de las plantas de Sabana: un estudio de la comunidad " Sitio Pindura", Rosário Oeste, Mato Grosso, Brasil. **Polibotánica**, v.27, p.159-190. 2009.
- MULLER-DOMBOIS, D.; ELLEMBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, New York. 1974.
- NASCIMENTO, A. R. T.; FELFILI, J. M.; MEIRELES, E. M. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um remanescente de floresta estacional decidual de encosta, Monte Alegre, Goiás, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v.18, n.4, p.659-66. 2004.
- NISHIJIMA, C. M. Caracterização do efeito anti-inflamatório e anti-hemorragico dos extratos e frações enriquecidas de espécies vegetais do projeto temático BIOTA/FAPESP. Dissertação de Mestrado. UNESP. Botucatu, 2010.
- NOGUEIRA, E. M.; FEARNSIDE, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v.256, p.1853-1867. 2008.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. 1 ed. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1988. 434p.

- OLIVEIRA, P.E. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de cerrado. *In*: Cerrado: ambiente e flora (SANO, S.M. & ALMEIDA, S.P., eds.). Embrapa-CPAC, Planaltina. p.169-192. 1998.
- OLIVEIRA, M. L. R.; SOARES, C. P. B.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G. Equações de volume de povoamento para fragmentos de florestas naturais do município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 213-225, 2005.
- OLIVEIRA-FILHO, A. T.; RATTER, J. A. Vegetation physiognomies and wood flora of the bioma Cerrado. *In*: OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. (Eds.). The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical Savanna. New York: Columbia University Press, 2002. p. 91-120.
- OTTMAR, R.; VIHANEK, R.E.; MIRANDA, H.S.; SATO, M.N. & ANDRADE, S.M.A. Stereo photo series for quantifying Cerrado fuels in Central Brazil. Volume I. General Technical Report PNW-GRT-519. USDA-FS, Northwest Research Station, Portland, 2001.
- PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado *sensu stricto* do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.527-538. 2011.
- PELLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. **Inventário Florestal**. v.1. Curitiba: editorado pelos autores, 1997.316p.
- PEREIRA, B. A. S. Relações vegetação – variáveis ambientais em florestas estacionais decíduas em afloramentos calcários no bioma Cerrado e em zonas de transição com a Caatinga e com a Amazônia. 2008. 91 f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- PINHEIRO, M. R. (Org.). Recomendações para reconhecimento e implementação de mosaicos de áreas protegidas. Brasília: GTZ, 2010.

- PINTO, A.S.; BUSTAMANTE, M.C.M.; KISELLE, K.; BURKE, R.; ZEPP, R.; VIANA, L.T.; VARELAL, R.F. & MOLINA, M. Soil emissions of N₂O, NO and CO₂ in Brazilian Savannas: effects of vegetation type, seasonality and prescribed fires. **Journal of Geophysical Research**, v.107, p.8089-8096. 2002.
- PORTUGAL, M. S. Neural networks versus time series: a forecasting exercise. **Revista Brasileira de Economia**, v.49, n.4, p.611-629. 1995.
- QUEIROZ, C. R. A. A.; MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, v.26, n.4, p.485-492. 2002.
- RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: Comparison of the woody vegetation of 37 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v.60, n.1, p.57-109. 2003.
- RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J.F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian Cerrado. In: PENNINGTON, T.; LEWIS GWILYM, P.; RATTER, J.A. (Org.). Neotropical Savannas and dry forests: diversity, biogeography and conservation. Boca Raton: Taylor e Francis, 2006. p.31-66.
- REATTO, A.; CORREIA, J.R.; SPERA, S.T.; MARTINS, E.S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 107-134. 2008.
- 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, Curitiba, 2002.

- REZENDE, A. V.; VALE, A. T. do; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. Comparison of mathematical models to volume, biomass and carbon stock estimation of the woody vegetation of a cerrado *sensu stricto* in Brasília, DF. **Scientia Forestalis**, v.71, p.65-76. 2006.
- RIBAS, R. F. Fitossociologia e grupos ecológicos em uma floresta estacional semidecidual de Viçosa-MG. 69 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2001.
- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M.; Almeida, S.P. & Ribeiro, J.F. (Eds.). Cerrado: ecologia e flora. V.1. Brasília, Embrapa Informações Tecnológicas. 1998.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. (eds.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008. p. 151-212.
- RIBEIRO, S. C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, C.; GASPAR, R. O. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v.262, p.491-499. 2011.
- RIEDMILLER, M.; BRAUN, H. A direct adaptive method for faster backpropagation learning: the RPROP algorithm. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks (San Francisco), v.1, pp. 586-591. 1993.
- RIZZINI, C. T. 1979. Tratado de fitogeografia do Brasil. v.2. Aspectos ecológicos. Hucitec / Edusp, São Paulo.
- ROCHA, C.C.C., Estimativa de volume, biomassa e carbono da vegetação lenhosa de floresta estacional no estado de Goiás. Dissertação de Mestrado. Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. 61p. 2011.
- ROSOT, N.C.; MACHADO, S.A.; FIGUEIREDO FILHO, A. Análise estrutural de uma floresta tropical como subsídio básico para elaboração de um plano de manejo

- florestal. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1, 1982, Campos do Jordão. Anais... São Paulo: Silvicultura em São Paulo, Instituto Florestal, v. 16a, pt. 1, p. 468-490. 1982.
- RUFINI, A. L. Volumetria, peso de matéria seca, teor de tanino e cortiça para o cerrado *sensu stricto* em Minas Gerais. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, 293p. 2008.
- RUSSELL, S. J.; NORVIG, P. Artificial intelligence: a modern approach. Englewood Cliffs: Prentice Hall. ed.3. 2010.
- SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 2008.
- SANTOS, J. dos. Análise de Modelos de Regressão para Estimar a Fitomassa da Floresta Tropical Úmida de Terra-Firme da Amazônia Brasileira. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- SCARIOT, A.; SEVILHA, A. C. Diversidade, estrutura e manejo de florestas decíduais e as estratégias de conservação. In: CAVALCANTI, T. B. et al. (orgs.). *Tópicos atuais em Botânica*. Brasília, DF: Sociedade Botânica do Brasil/Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2000. p. 183-188.
- SCARIOT, A. & SEVILHA, A.C. Biodiversidade, estrutura e conservação de florestas estacionais decíduais no Cerrado. In Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação (A. SCARIOT, J.C. SOUSA SILVA & J.M. FELFELI). Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 122-139. 2005.
- SCHOENINGER, E. R. Uso de redes neurais artificiais para o mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa. (tese). Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2006.

- SCHOENINGER, E.R.; KOEHLER, H.S.; WATZLAWICK, L.F.; OLIVEIRA FILHO, P.C. Uso de redes neurais artificiais para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de florestas naturais. **Ambiência**, v.4 n.3, p.529-549. 2008.
- SCHROEDER, P.E.; WINJUM, J.K. Assessing Brazil's Carbon Budget: II. Biotic Fluxes and Net Carbon Balance. **Forest Ecology and Management**, 1995.
- SCOLFORO, J. R. S. & THIERSCH, C. R. Biometria florestal: medição, volumetria e gravimetria. UFLA/FAEPE, Lavras. 285p. 2004.
- SCOLFORO, J.R.S.; CARVALHO, L.M.T.; OLIVEIRA, A.D. Inventário Florestal de Minas Gerais: Monitoramento dos Reflorestamentos e Tendências da Produção em Volume, Peso de Matéria Seca e Carbono, 2005-2007. 1. ed. Lavras: Editora UFLA, v.1. 150p. 2008.
- SCURLOCK, J.M.O.; HALL, D.O. The global carbon cycle: a grassland perspective. **Global Change Biology**, v.4, p.229-233. 1998.
- SILVA, L.A.; SCARIOT, A. Composição florística e estrutura da comunidade arbórea em uma floresta estacional decídua em afloramento calcário (Fazenda São José, São Domingos-GO, Bacia do Rio Paranã). **Acta Botânica Brasílica**, v.17, n.2, p.307-315. 2003.
- SILVA, L. A.; SCARIOT, A. Composição e estrutura da comunidade arbórea de uma floresta estacional decidual sobre afloramento de calcário no Brasil central. **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.69-75. 2004.
- SILVA, J.M.C. da; BATES, J.M.. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: a tropical savanna hotspot. **BioScience**, v.52, p. 225-233. 2002.

- SILVA, M.L.M.; BINOTI, D.H.B.; GLERIANI, J.M.; LEITE, H.G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvore de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1133-1139. 2009.
- SILVA, A.F.; OLIVEIRA, A.C. Algoritmos genéticos: alguns experimentos com os operadores de cruzamento (“Crossover”) para o problema do caixeiro viajante assimétrico. XXVI ENEGEP – Fortaleza. 2006
- SILVEIRA, P. Métodos indiretos de estimativa do conteúdo de biomassa e do estoque de carbono em um fragmento de floresta ombrófila mista. 2008. 112f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- SIMEHGO. Sistema de Meteorologia e Hidrologia do Estado de Goiás. Disponível em: <http://www.simego.sectec.go.gov.br>. Acesso em: 19 de janeiro de 2015.
- SOUZA, L.F. & SILVA, F.F.A. Diversidade e Potencial Econômico de Espécies da Família Vochysiaceae. 64º Congresso Nacional de Botânica, Belo Horizonte, 10-15 de novembro de 2013.
- SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P; ROSSI, L. M. B.; SILVA, K. E.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Dinâmica e estoque de carbono em floresta primária na região de Manaus/AM. **Acta Amazônica**, v.42, n.4, p.501-506. 2012.
- SPURR, S.H. **Forest inventory**. New York: Ronald Press, 476p. 1951.
- STATSOFT, INC., STATISTICA (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com. 2004.
- VALE, A.T. Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado *sensu stricto* na região de Brasília para uso energético. Tese de Doutorado – UNESP/Botucatu-SP. 111 p. 2000.

- VELOSO, H. P., RANGEL FILHO, A. L. R., & LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1991.
- VIEIRA, S. A.; AIDAR, M.; BAKER, T. R.; CAMARGO, P. B.; CHAVE, J.; DELITTI, W. B. C.; HIGUCHI, N.; JOLY, C. A.; MARTINELLI, L. A.; PHILLIPS, O. L.; TRUMBORE, S. E. Estimation of biomass and carbon stocks: the case of the Atlantic Forest. **Biota Neotropica**, v.8, p.21-29. 2008.
- VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Quantificação da biomassa em uma Floresta Estacional Decidual em Itaara, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v.16, n.4, p.419-425. 2006.
- WEBER, C. R., SOARES, C. M., LOPES, A. B., SILVA, T. S., NASCIMENTO, M. S., & XIMENES, E. C. *Anadenanthera colubrina*: um estudo do potencial terapêutico. **Revista Brasileira de Farmacologia**, v.92, n.4, p.235-244. 2011.