

**Artigo original**

Estimativa de biomassa e carbono da espécie *Afzelia quanzensis* Welw. na plantação de Michafutene, Província de Maputo

Julieta L. Jetimane¹, Ana I. Ribeiro Barros², Natasha S. Ribeiro¹

¹Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Moçambique

²Instituto de Investigação Tropical, Oeiras, Portugal

RESUMO: A degradação das florestas naturais tem colocado em risco algumas espécies de grande valor sócio-económico, tal como *Afzelia quanzensis* (chanfuta), pelo que a recuperação e conservação de áreas florestais reveste-se de grande importância. Estabelecida entre 1930 e 1960, a plantação de Michafutene constitui um importante repositório de carbono. Este estudo foi levado a cabo com o objectivo de avaliar o potencial de sequestro de carbono da mata de Michafutene. Foram seleccionadas 33 árvores de chanfuta, abatidas e pesadas em três componentes (ramos grossos, ramos finos e tronco), para obtenção dos pesos fresco e seco (kg). Estabeleceram-se 30 parcelas aleatórias (50m x 20m) onde se avaliaram todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito superior ou igual a 10cm para posterior estimativa da biomassa (Mg/ha). O carbono (MgC/ha) foi estimado utilizando o factor de conversão de 0,5 da biomassa. Os resultados deste estudo revelaram que, a maior contribuição de biomassa provém dos ramos grossos (46%), seguida dos ramos finos (30%) e tronco (24%). O melhor ajuste foi obtido pela equação: [PST = exp (-2,34 + 2,43lnDAP); R²aj. = 0,91; RMSE = 0,26]. Usando este modelo, estimou-se a biomassa média em 17,59 Mg/ha e a densidade de carbono em 8,80 MgC/ha. Estes resultados confirmam que a mata de chanfuta de Michafutene tem potencial para contribuir para o sequestro de carbono e assim, apoiar na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas. Contudo, medidas de gestão devem ser tomadas em consideração para preservar esta importante área de conservação *ex-situ*.

Palavras-chave: *Afzelia quanzensis*, biomassa, carbono, equações alométricas.

Biomass and carbon estimation of *Afzelia quanzensis* Welw. in the Michafutene plantation, Maputo Province

ABSTRACT: Forest degradation has endangered some socio-economically important species such as *Afzelia quanzensis* (chanfuta). Thus, the restoration and conservation of forested areas are of utmost importance for the conservation of these species. The Michafutene chanfuta plantation established between 1930 and 1960 is considered an important carbon repository. Therefore, this study was conducted to assess its potential for carbon sequestration. Thirty-three chanfuta trees were felled and weighed by components (small and big branches and trunk) for fresh and dry weight (kg). Thirty random plots (50m x 20m) were established and biomass (Mg/ha) was estimated in all individuals with diameter at breast height equal or greater than 10 cm. Carbon (MgC/ha) was estimated using the conversion factor of 0.5 to biomass. The study revealed that big branches were the major biomass contributors (46%), followed by small branches (30%) and the trunk (24%). The best fit was obtained by the equation: [PST = exp (-2.34 + 2.43lnDAP); R²aj. = 0.91; RMSE = 0.26]. The biomass and carbon density were estimated to be 17.59 Mg/ha and 8.80 MgC/ha, respectively. The results confirm that the Michafutene plantation has potential to contribute to carbon sequestration and thus assist in mitigating the effects of climate changes. However, there is an urgent need to implement management and conservation activities in order to preserve this important *ex-situ* conservation area.

Keywords: *Afzelia quanzensis*, biomass, carbon, allometric equations.

Correspondência para: (correspondence to): joluci2000@yahoo.com

INTRODUÇÃO

O reconhecimento da importância ecológica e sócio-económica dos ecossistemas florestais tem crescido muito nos últimos anos, dado o seu potencial para fornecer bens e serviços às populações humanas (Walker *et al.*, 2011). Assim, torna-se crucial ampliar o conhecimento sobre a dinâmica e as opções de uso sustentável desses ecossistemas (Ratuchne, 2010). Um dos serviços ambientais cruciais providenciado pelas florestas é o sequestro e armazenamento de carbono, o qual representa uma importante forma de mitigação das mudanças climáticas globais pela estabilização e manutenção do clima (Gibbs *et al.*, 2007).

Em Moçambique, tal como em outros países em desenvolvimento, o papel das florestas torna-se particularmente importante pois representam o sustento de mais de 80% das populações rurais e peri-urbanas, para além de suportarem a economia nacional através da produção de madeira e seus derivados. Cerca de 50% do volume de madeira comercial explorado no país está concentrado em apenas três espécies, nomeadamente: *Millettia stuhlmannii* Taub. (panga-panga), *Pterocarpus angolensis* DC. (umbila) e *Azelia quanzensis* Welw. (chanfuta) causando uma certa pressão sobre as mesmas (Marzoli, 2007), o que leva à necessidade urgente de se definirem estratégias sustentáveis de conservação *in-situ* e *ex-situ*. Especificamente em relação à *A. quanzensis*, espécie foco deste estudo, a preocupação de conservação centra-se no facto de esta ser uma das principais espécies madeireiras no país. Adicionalmente é uma espécie de valor sócio-económico elevado ao providenciar alimento e medicamento para a maioria das populações. A sua elevada importância ecológica e sócio-económica determina níveis de pressão consideráveis,

embora ainda se conheça pouco sobre o seu estado de conservação.

A preocupação de conservação das espécies nativas surgiu já na época colonial quando, entre 1930-1960 foi estabelecida, em cerca de 1000ha, a plantação de espécies nativas de Michafutene, em Marracuene (Figura 1). Originalmente foram estabelecidas cinco espécies principais: Chanfuta (*A. quanzensis*), Umbila (*P. angolensis*), Jambire (*M. stuhlmannii*), Mutindri (*Amblygonocarpus andongensis* Welw ex Oliv. Exell & Torre) e Bamboo (*Bambusa vulgaris* Schrad. Ex JC. Wendl), com objectivo principal de as preservar fora do seu habitat natural (Militão, 2012). Actualmente, esta plantação está reduzida a cerca de 50ha e representa uma das poucas áreas de conservação *ex-situ* de espécies florestais nativas em Moçambique. No entanto, apesar da sua relevância, a plantação tem sofrido várias pressões derivadas principalmente da expansão da urbanização da cidade de Maputo. Desta forma, torna-se urgente avaliar o estado ecológico desta área por forma a propor estratégias de manejo adequadas à sua conservação. Por outro lado, o país está numa fase de consolidação do mecanismo REDD+ (Redução das Emissões a partir do Desmatamento e Degradação Florestal), o qual visa mitigar os efeitos das mudanças climáticas através da redução da degradação e do desmatamento procurando melhorar a renda das comunidades locais. Para tal, é importante o desenvolvimento de métodos de estimativa da biomassa local por forma a tornar o mecanismo de quantificação de créditos de carbono robusto. Neste contexto, o desenvolvimento de equações alométricas para ecossistemas e espécies nativas é de particular importância. O presente estudo teve por objectivo ajustar equações alométricas para a chanfuta e efectuar a

estimativa de biomassa e carbono no povoamento de Michafutene.

MATERIAIS E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O estudo foi efectuado no distrito de Marracuene, na parte oriental da Província de Maputo, 30 km a Norte da cidade de

Maputo, entre a latitude de 25° 41' 20" Sul e a longitude de 32° 40' 30" Este (Figura 1). O distrito de Marracuene é limitado a Norte pelo distrito da Manhiça, a Sul pela Cidade de Maputo, a Oeste pelo distrito da Moamba e cidade da Matola, e a Este é banhado pelo Oceano Índico (MAE – Ministério de Administração Estatal, 2005).

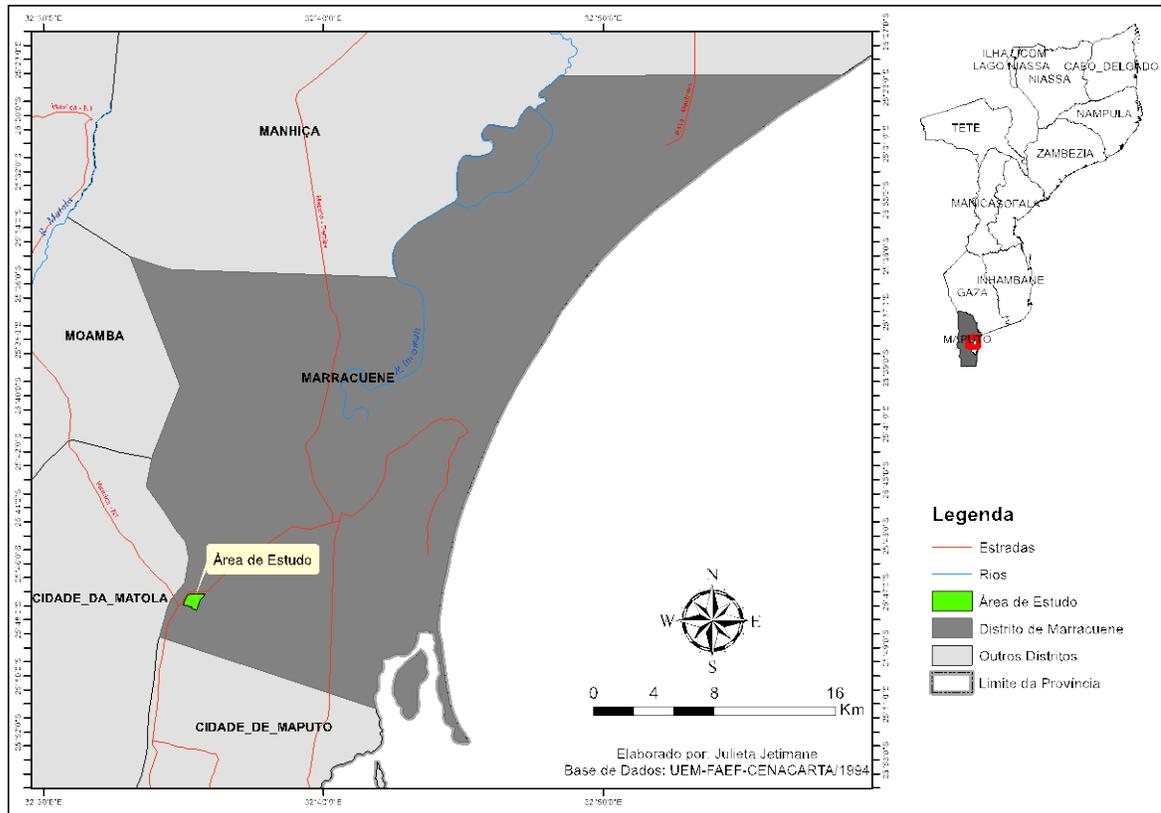


FIGURA 1: Localização da área de estudo

Originalmente a plantação compreendia uma extensão de 1000 ha, mas actualmente encontra-se reduzida a cerca de 50ha de entre os quais 29,4ha são de *Azelia quanzensis*, 2,1ha de *Milettia stuhlmannii*, 0,72ha de *Amblygonocarpus andongensis* e 17,48ha de infra-estruturas e outros (CEF, 2004 citado por Daima, 2008).

Recolha de dados

Trinta parcelas temporárias de 50m x 20m (0,1ha) foram estabelecidas na área de

chanfuta perfazendo uma área total de amostragem de 3ha, correspondente a 10,2% da área total. Dentro de cada parcela foi efectuado o levantamento das alturas comercial (Hc; medida da base do tronco até à primeira ramificação) e total (Ht; medida da base do tronco até à última ramificação) bem como do diâmetro à altura do peito (DAP) de todos os indivíduos de chanfuta com DAP igual ou superior a 10cm. Tratando-se de uma área de conservação, o abate de árvores foi realizado em parceria

com a Electricidade de Moçambique que tencionava abrir uma linha eléctrica que atravessava uma faixa de 800 m de largura dentro do povoamento de chanfuta. Neste contexto, antes do abate foi feita uma vistoria ao longo da faixa de abate, com vista a identificar e marcar as árvores de boa qualidade em termos do fuste e sanidade da planta tendo-se incluído 33 árvores representadas em 4 classes diamétricas (10-14,9cm; 15-19,9cm; 20-24,5cm e > 25cm).

O abate foi realizado com auxílio de uma motosserra, tendo sido separadas as seguintes componentes: Tronco (T), Ramos Grossos (RG, diâmetro maior ou igual a 5cm) e Ramos Finos (RF, diâmetro abaixo de 5cm incluindo as folhas), como sugerido por Wandelli (2008), Tomo (2012) e Zunguze (2012). As três componentes foram pesadas separadamente em campo numa balança de 50kg para obter o peso fresco (PF).

Seguidamente, foram retiradas amostras de cada componente por árvore abatida, para determinação do peso seco (PS) em laboratório após secagem a uma temperatura de 103°C durante 48h. Para tal, foram extraídos dois discos de cerca de 5cm de espessura, um do tronco (altura de 1,3m) e outro de um dos ramos grossos (no centro do ramo grosso médio) e 5g de folhas por árvore.

Após a colheita das amostras e a obtenção de PF e PS, foi determinado o peso seco total da árvore individual (PST) através do método da proporcionalidade aplicando a equação 1.

$$PST_{(c)} = \frac{PHT_{(c)} \times PST_{(a)}}{PHT_{(a)}} \quad (1)$$

Onde:

PST = Peso seco total (kg)

PST_(a) = Peso seco das amostras (kg)

PHT_(a) = Peso húmido das amostras (kg)

PHT_(c) = Peso húmido total (kg)

Após a determinação do PST por componente recorreu-se a modelos matemáticos para a elaboração e ajuste da equação de biomassa (Tabela 1). Os modelos matemáticos foram corridos, por análise de regressão ($\alpha = 0,05$), no pacote estatístico SAS – *Statistic Analysis System*, versão 9.1, pelos comandos *PROC REG* e *PROC NLIN* para os modelos lineares e não lineares, respectivamente. Por outro lado, foi efectuada uma matriz de correlação simples ($\alpha = 0,05$) de *Pearson* (r) entre as variáveis independentes e o PST.

TABELA 1: Modelos usados para o ajuste da equação de biomassa

Modelo	Descrição
1	$PST = b_0 + b_1 \times DAP + \varepsilon$
2	$PST = b_0 DAP^{b_1} + \varepsilon$
3	$PST = b_0 + DAP^{b_1} + \varepsilon$
4	$PST = \exp(b_0 + b_1 \ln DAP + \varepsilon)$
5	$PST = b_0 + b_1 \ln DAP \times ht + \varepsilon$
6	$PST = b_0 + b_1 (DAP^2 \times ht) + \varepsilon$

Critério para selecção do melhor modelo

Para o ajuste das equações de estimativa da biomassa foram utilizados 6 modelos matemáticos baseados nas variáveis independentes de DAP e Ht. Para a selecção do modelo de regressão mais robusto foram usados os seguintes parâmetros: Coeficiente de Determinação Ajustado, Análise de Variância, Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro e Distribuição Gráfica dos Resíduos (Parresol, 1999; Cotta, 2005; Miranda, 2008; Ratuchne, 2010; Martins, 2011).

a) Coeficiente de Determinação Ajustado (R^2_{aj})

O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) é uma medida quadrática que determina o quanto a variável Y (dependente) é explicada pela variável X (independente), ou seja, determina a correlação entre as variáveis da equação (Francez *et al.*, 2010). A equação 2 (Sanquetta *et al.*, 2009), foi usada para a determinação do coeficiente de determinação ajustado.

$$R^2_{aj} = 1 - \left(\frac{(n-1)}{(n-p)} \right) \times \frac{SQ_{res}}{SQ_{total}} \quad (2)$$

Onde:

- R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado
- $SQ_{res} = \sum (Y_{real} - Y_{est})^2$ = Soma dos quadrados dos resíduos
- $SQ_{total} = \sum (Y_{real} - Y_{real})^2$ = Soma dos quadrados total
- Y_{real} = Valores reais observados
- Y_{est} = Valores estimados
- n = Número de observações
- p = Número de coeficientes da equação

b) Raiz Quadrada do Quadrado Médio do Erro (RMSE)

A análise da Raiz Média do quadrado médio do erro (RMSE) expressa a qualidade do ajuste e o erro do modelo ao estimar a variável dependente – PST (Parresol, 1999). Quanto menor for o valor de RMSE melhor será o modelo ajustado (equação 3).

$$RMSE = \sqrt{\frac{SQE}{n-p}} \quad (3)$$

onde:

- RMSE = Análise do quadrado médio do erro;
- SQE = Quadrado do erro
- n = Número de observações
- p = Número de coeficientes da equação

c) Análise gráfica dos resíduos

A análise gráfica dos resíduos é um ajuste de regressão determinante na escolha de um

modelo, e deve ser usada mesmo que as estimativas de ajuste de precisão apresentem valores aceitáveis (Machado *et al.*, 2008). De acordo com Bussab e Morettin (2002) citados por Sanquetta *et al.* (2009) a análise dos resíduos consiste em estudar o comportamento do modelo usando o conjunto de dados observados e as discrepâncias entre os valores observados e os ajustados. A dispersão dos pontos ao longo do eixo da variável independente indica de forma clara se o ajuste subestima ou superestima a variável dependente (PST) (Machado *et al.*, 2008). A determinação dos resíduos foi baseada na equação 4 proposta por Sanquetta *et al.* (2009).

$$e_i = Y_i - Y_j \quad (4)$$

Onde:

- e_i = i-resíduo estimado;
- Y_i = i-ésimo valor observado
- Y_j = j-ésimo valor estimado pela equação ajustada

A análise gráfica dos resíduos foi analisada através da coerência das propriedades sobre a distribuição normal, homocedasticidade e independência dos resíduos. Para corrigir a discrepância logarítmica na estimativa da biomassa utilizando modelos logarítmicos linearizados, a biomassa estimada foi corrigida multiplicando-se pelo índice de Meyer (equação 5).

$$IM = e^{0,5 \times SQSxy} \quad (5)$$

Onde:

- IM = Índice de Meyer
- e = Base dos logaritmos neperianos
- SQSxy = Quadrado do erro padrão da estimativa

Comparação dos modelos

Estabeleceu-se uma comparação do modelo alométrico selecionado para estimativa de biomassa florestal no presente estudo com os de Mate *et al.* (2014) ajustado para a espécie *Afzelia quanzensis*, na floresta de miombo em Sofala, Mugasha *et al.* (2012, 2013) para

floresta de miombo em algumas regiões na Tanzania, Tomo (2012) para a floresta de miombo em Manica e Mwakalukwa *et al.* (2014) para o miombo seco na Tanzania. A comparação da equação em estudo com a de outros autores foi efectuada por forma a apurar o rigor do modelo seleccionado.

Estimativa da biomassa e carbono de chanfuta.

Após a selecção do melhor modelo de biomassa, foi determinada a biomassa de chanfuta existente no povoamento através da equação apurada. O carbono foi determinado a partir do factor de conversão de 0,5 da biomassa estimada usando a equação 6 (Pearson *et al.*, 2005).

$$C = 0,5 \times BT \quad (6)$$

Onde:

C = Conteúdo de carbono da vegetação (MgC/ha);

BT = Biomassa total (Mg/ha)

RESULTADOS

Descrição Estatística

A descrição estatística das variáveis medidas no campo é apresentada na Tabela 2. O DAP máximo medido foi de 35,5cm e o mínimo de 10cm, tendo apresentado uma maior dispersão em relação ao valor médio (desvio padrão = 6,3cm) de entre as variáveis dendrométricas. Nas componentes de biomassa verificou-se maior dispersão nos ramos grossos (desvio padrão = 121,71) com uma amplitude de 615kg. Os ramos grossos, ramos finos e total, apresentaram valores de coeficiente de variação acima de 100%.

TABELA 2: Descrição estatística dos dados (DAP=Diâmetro à Altura do Peito; Ht=Altura Total; Hc=Altura Comercial; PSF=Peso Seco do Tronco; PSRG=Peso Seco dos Ramos Grossos; PSRF=Peso Seco dos Ramos Finos; PST=Peso Seco Total)

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Desvio Padrão	CV%	Amplitude
DAP (cm)	10	15,8	35,5	6,3	39,7	25,5
Ht (m)	4	5,2	7	0,8	15,4	3
Hc (m)	1,3	1,8	2,8	0,4	21,3	1,5
PSF (Kg)	11,4	46,4	207	45,9	98,9	195,6
PSRG(Kg)	4,8	87,2	619,8	121,7	139,5	615
PSRF (Kg)	18	63,1	367,7	65,7	104,2	349,7
PST (Kg)	40,8	196,8	1194,5	229,3	116,5	1153,7

Matriz de Correlação Simples

As variáveis independentes que apresentaram maior correlação (correlação de Pearson; $\alpha = 0,05$) com o PST foram: o DAP ($r = 0,92$; $p < 0,05$), o DAP^2 ($r = 0,96$; $p < 0,05$) e o $\ln DAP^2$ ($r = 0,96$; $p < 0,05$). No entanto, a variável independente, Ht, apresentou uma correlação muito baixa ($r = 0,21$; $p < 0,05$) com todas componentes de biomassa, excepto com o DAP. Foi ainda observada uma elevada correlação entre a

combinação $DAP^2 \times Ht$ e a componente PST ($r = 0,90$; $p < 0,05$).

Contribuição percentual das componentes de biomassa

A Figura 2 apresenta a contribuição percentual das componentes de biomassa para o PST. A componente ramos grossos apresentou maior contribuição (46%), seguida dos ramos finos (30%) e tronco (24%).

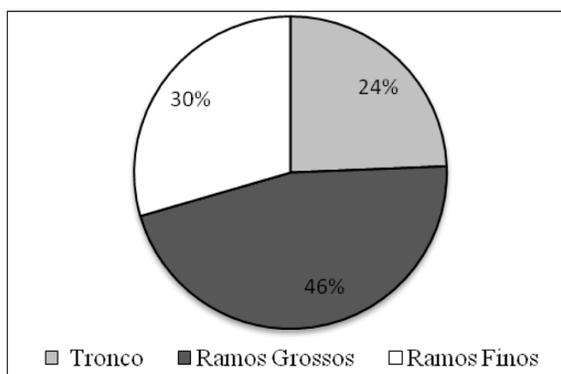


FIGURA 2: Contribuição das componentes da biomassa total na plantação de *A. quanzensis* em Michafutene

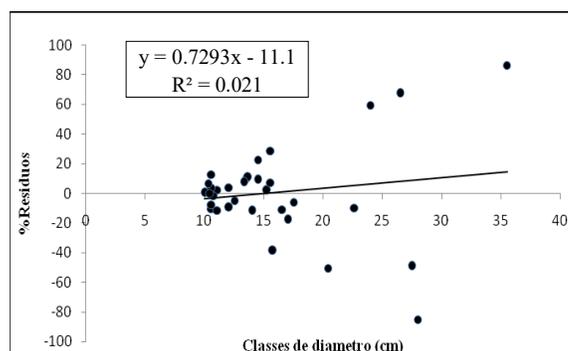
Seleção da equação para estimativa da biomassa total de chanfuta.

Os resultados do ajuste do melhor modelo seleccionado para estimativa da biomassa total do povoamento da chanfuta podem ser observados na Tabela 3. Alguns dos modelos ajustados apresentaram estimativas negativas de biomassa no momento de aplicação, apesar dos seus parâmetros estatísticos serem elevados (coeficiente de determinação e erro padrão da estimativa) pelo que foram rejeitados. A precisão e exactidão dos modelos de regressão usados para o ajuste, foram significativamente melhorados quando os valores de biomassa e das variáveis biométricas (DAP e Ht) foram transformados em logaritmo natural (ln), o que resulta da maior correlação entre estes e a biomassa.

TABELA 3: Parâmetros da equação ajustada para estimativa da biomassa total na plantação de Michafutene

Modelo	b ₀	b ₁	R ² _{ajst.}	RSME
1	-199,6107	19,3499	0,85	50,4706
2	0,0556	2,6167	0,97	30,7859
3	0,4200	2,000	0,90	42,0987
4	-2,3398	2,4342	0,91	0,2565
5	-116,7706	2,6473	0,65	77,2993
6	-22,3657	0,0821	0,84	52,7429

De entre os seis modelos testados, o coeficiente de determinação ajustado (R²_{aj.}) para a estimativa da biomassa da chanfuta variou de 0,65 (modelo 5) a 0,97 (modelo 2). O RMSE variou entre 0,26 (modelo 4) e 77,30 (modelos 5). Todos os coeficientes dos modelos foram estatisticamente significativos ao nível de significância de 0,05. A Figura 3 mostra a distribuição gráfica dos resíduos do modelo seleccionado (modelo 4; R²_{aj.} igual a 0,91 e o RMSE de 0,26) para estimativa da biomassa total. A dispersão dos resíduos tende a aumentar com os valores da variável independente (DAP), ou seja, com os valores estimados da variável dependente (biomassa).



● Biomassa Total

FIGURA 3: Dispersão dos resíduos percentuais do modelo seleccionado para a estimativa da biomassa total

Comparação dos modelos

Alguns dos modelos ajustados para diferentes ecossistemas (Mate *et al.*, 2014, Mugasha *et al.*, 2012; Mugasha *et al.*, 2013) desviam-se dos valores da biomassa total da chanfuta obtidos neste estudo (Figura 4).

Os modelos de Tomo (2012) e Mwakalukwa *et al.* (2014) apresentaram curvas que se sobrepõem à do presente estudo (Figura 4), sugerindo que as equações elaboradas por estes autores têm características similares, apesar de ambos terem trabalhado em

florestas nativas de miombo e incluído uma grande diversidade de espécies.

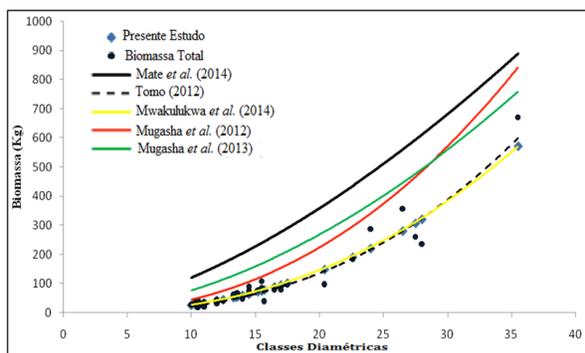


FIGURA 4: Comparação entre o modelo apurado no presente estudo e em outros estudos.

Estimativa da biomassa e carbono existente no povoamento

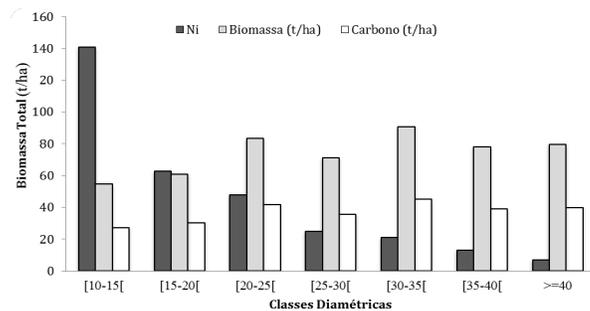
Com base na equação apurada estimou-se a biomassa e o carbono do povoamento de chanfuta de Michafutene, tendo-se obtido em média 17,59 Mg/ha de biomassa e 8,8 MgC/ha (Tabela 4). A estimativa obtida para este povoamento apresentou um coeficiente de variação acima de 100%, indicando uma grande diferença de biomassa dentro das parcelas (0.78-97,05 Mg/ha).

TABELA 4: Biomassa e carbono da chanfuta estimados na plantação de Michafutene

Variável	Mínimo	Média	Máximo	Total
Biomassa (Mg/ha)	0,78	17,59	97,05	527,76
Carbono (MgC/ha)	0,39	8,8	48,52	263,88

A Figura 5 mostra a distribuição da biomassa e carbono, em 7 classes diamétricas, cujo DAP máximo medido no inventário foi de 60cm. Pode-se verificar que as primeiras classes diamétricas (entre 10 e 20cm) apesar de apresentarem maior número de indivíduos (até 64% do total dos indivíduos amostrados) contribuíram em

apenas 22% para a biomassa total no povoamento.



Ni – Número de Indivíduos

FIGURA 5: Distribuição da biomassa e carbono por classe diamétrica

A biomassa e o carbono tendem a aumentar com o aumento das classes diamétricas, apesar da redução do número de indivíduos em classes diamétricas maiores, confirmando a importância da variável DAP para a determinação da biomassa. A classe de 10-15cm representa cerca de 45% do número total de indivíduos no povoamento mas em contrapartida apresenta menores valores de biomassa e carbono.

DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo representam uma importante contribuição para o conhecimento da ecologia de uma das mais importantes espécies madeireiras em Moçambique – *Afzelia quanzensis*. O estudo representa uma das primeiras avaliações de biomassa efectuada no povoamento de Michafutene.

O modelo de estimativa da biomassa desenvolvido mostrou-se robusto de acordo com os parâmetros definidos por Perrosol (1999) e Francez et al. (2010). De facto, a elevada correlação entre a variável DAP e o PST é uma vantagem dado que o DAP é uma variável dendrométrica de fácil medição no campo e portanto, útil na estimativa de biomassa, recorrendo a modelos alométricos.

Os resultados deste estudo são suportados pelos trabalhos de Ratuchne (2010), Tomo (2012) e Mate *et al.* (2014), reforçando o facto de que o DAP é uma das variáveis mais importantes na estimativa indirecta da biomassa de espécies florestais. A Ht não mostrou uma relação forte com o PST indicando que, para as condições da área de estudo, esta não pode ser considerada para a estimativa da biomassa pelo método indirecto de equações alométricas. Brown *et al.* (1995) e Brown (1997) advertem que, a inclusão da variável Ht no ajuste do modelo deve garantir, que esta tenha sido obtida com a maior exactidão possível, pois este parâmetro está sujeito a imprecisões devido à dificuldade de se obterem medições correctas de altura em florestas de densidade média a alta. Este facto, associado à baixa correlação com as componentes de biomassa justifica a não utilização da altura total no modelo para a estimativa de biomassa.

Os parâmetros de robustez do modelo obtido neste estudo ($R^2_{aj.} = 0,96$ e $RMSE = 0,25$) são semelhantes a outros efectuados na

região. Por exemplo, Mwakalukwa *et al.* (2014) em florestas de miombo seco na Tanzania, obtiveram um coeficiente de determinação ajustado igual a 0,98 e RMSE de 0,21. Mate *et al.* (2014) na floresta de miombo em Sofala, testou o modelo 2 apresentado na Tabela 5, para ajustar a equação para a estimativa da biomassa da espécie *A. quanzensis*, tendo obtido estimativas próximas à do presente estudo ($R^2_{aj.} = 0,97$ e $RMSE = 194,37$). Por outro lado, Mugasha *et al.* (2013) testando o modelo 2 da Tabela 5 em florestas de miombo na Tanzania, obteve valores relativamente inferiores ao do presente estudo ($R^2_{aj.} = 0,68$ e $RMSE = 124,88$). As diferenças nos RMSE entre os diferentes estudos, podem estar associadas à variação em factores como a qualidade do sítio, tipo de formação vegetal, espécie em estudo, o tamanho da amostra, o critério de inclusão dos indivíduos na amostra (tamanho das árvores), qualidade das árvores, entre outros (Caldeira *et al.*, 2001; Siteo *et al.*, 2013).

TABELA 5: Modelos comparados com o presente estudo

Autor	Local	Descrição	$R^2_{aj.}$	RSME
Mate <i>et al.</i> (2014)	Sofala	$3,1256DAP^{1,5833}$	0,97	194,37
Tomo (2012)	Manica	$0,056DAP^{2,599}$	0,94	-
Mugasha <i>et al.</i> (2012)	Tanzânia	$\exp(-1,4995 + 2,307 \ln DAP)$	0,96	-
Mugasha <i>et al.</i> (2013)	Tanzânia	$1,1778DAP^{1,8120}$	0,68	124,88
Mwakulukwa <i>et al.</i> (2014)	Tanzânia	$\exp(-2,0667 + 2,3561 \ln DAP)$	0,98	0,213

O modelo obtido para as matas de Michafutene indica que os ramos grossos foram os que mais contribuíram para a estimativa da biomassa. Este resultado mostra-se semelhante aos encontrados por Mate *et al.* (2014) para a espécie chanfuta em florestas de miombo em Sofala e Tomo (2012) em florestas de miombo em Manica. Contudo, vários outros autores estudando a

contribuição de diferentes componentes em florestas tropicais indicam que o tronco é o maior contribuinte para o PST (Caldeira *et al.*, 2001; Barichello, 2003). No entanto, os mesmos autores indicam que, a contribuição das componentes de biomassa depende das condições locais, da idade e da espécie em estudo. Reis *et al.* (1996) citados por Barichello (2003) realçam ainda que, em

condições óptimas, o tronco pode contribuir até 60% enquanto em condições sub-óptimas a percentagem pode baixar para até 45% em relação à biomassa total. Os resultados do presente estudo que indicam uma maior contribuição dos ramos grossos (46%), podem ser justificados pelo facto das condições do local serem muito particulares, a saber: espaçamentos largos, clareiras resultantes da exploração selectiva do povoamento, idade do plantio (cerca de 50-60 anos), falta de manejo silvicultural e baixa qualidade de solos (solos arenosos brancos). O resultado imediato desta combinação de factores é que as árvores apresentam um desempenho silvicultural pobre (altura média de 5m; ramificação abundante e DAP médio de 16cm). Palgrave e Palgrave (2002) referem que em condições naturais a chanfuta possui uma altura média de 12-15m podendo atingir até 35m e o DAP de mais de 50 cm.

Os valores de biomassa e carbono obtidos neste povoamento, de 17,59 Mg/ha e 8,80 MgC/ha, respectivamente, são semelhantes aos encontrados em vários estudos em florestas de miombo na região. Por exemplo, Mate *et al.* (2014) obteve uma estimativa de carbono de 9,9 MgC/ha para *A. quanzensis*, em Sofala. Tchaúque (2004) ao estimar a biomassa em florestas de miombo abertas, obteve um valor médio de biomassa de 17,1 Mg/ha. A amplitude de biomassa lenhosa no povoamento em estudo foi muito elevada, entre 0,78 Mg/ha e 97,05 Mg/ha, indicando as condições de falta de manejo do povoamento.

A maior densidade de biomassa e carbono foram observados na classe de 30-35 cm, a qual representa apenas cerca de 7% de indivíduos. Rocha (2011) obteve estimativas de biomassa e carbono decrescentes ao longo das classes diamétricas tendo observado maior biomassa na classe de 25-

30 cm numa floresta estacional decídua, com uma contribuição de 20% de biomassa nas primeiras classes diamétricas.

Os resultados deste estudo permitem concluir que o modelo definido para este estudo é bastante robusto ($R^2_{aj.} = 0,91$ e $RMSE = 0,26$) para a estimativa da biomassa da chanfuta na mata de Michafutene, sugerindo que a equação seleccionada [$PST = \exp(-2,34 + 2,43 \ln DAP)$] pode ser uma boa alternativa para a estimativa indirecta da biomassa da chanfuta no povoamento em estudo. A estimativa da biomassa arbórea e carbono médios acima do solo pode ser considerada relativamente satisfatória (17,59t/ha e 8,80tC/ha, respectivamente). Tchaúque (2004) estimou em 17,1 t/ha, a biomassa em florestas de miombo em Sofala, Moçambique, Munishi (2010) determinou um valor de 19,2 t/ha de biomassa em florestas de miombo na Tanzania e Mate *et al.* (2014) estimaram em 9,9 t/ha, a biomassa média de *A. quanzensis* nas matas de miombo em Sofala. Estes resultados indicam que a área de conservação *ex-situ* de Michafutene tem potencial para contribuir para o sequestro de carbono. Contudo, foram observados vestígios de perturbação da mata nomeadamente a produção de carvão e o corte de árvores adultas. Por outro lado, verifica-se a falta de actividades de manejo da plantação. Neste sentido, recomenda-se a elaboração de um plano de manejo que inclua a remoção da componente adulta e o manejo da regeneração natural (a qual existe na mata e é maioritariamente composta por chanfuta, *dados não publicados*) por forma a promover o crescimento das árvores e assim melhorar o desempenho silvicultural da floresta.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a todas as entidades e instituições que contribuíram

directa e indirectamente para a realização deste estudo, designadamente: Fundo de Investigação da Universidade Eduardo Mondlane pelo apoio financeiro; Centro de Investigação Florestal, pela disponibilização do material e apoio em recursos humanos e materiais; Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, em especial ao Departamento de Engenharia Florestal; Instituto de Investigação Agrária de Moçambique; Cooperação Portuguesa (Camões, Instituto da Cooperação e da Língua), a Fundação para a Ciência e Tecnologia (através da quota para o CGIAR) e a equipa de apoio na colheita nomeadamente: Cândida Zita, Sá Nogueira Lisboa e Sérgio Cumbula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARICHELLO, L.R. Quantificação da Biomassa e de Nutrientes em Floresta de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 75p.
- BROWN, S. Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests. FAO (Food and Agriculture Organization). Forestry paper, 1997. 66p.
- BROWN, F.; Nepstad, D.C.; Pires, I.O.; Luz, L.M.; Alechandre, A.S. Carbon Storage and Land-use in Extrative Reserves, Acre, Brazil. Environmental Conservation, p.307-315. 1995.
- CALDEIRA, V.W.C.; Shumacher, M.V.; dos Santos, E.M.; Tedesco, N.; Pereira, J.C. Acúmulo de Biomassa Aérea em um Povoamento de *Acacia mearnsii*. Boletim de Pesquisa FL., n.24, p.95-104. 2001.
- PALGRAVE, P. e PALGRAVE, M.C. Trees of Southern Africa. Struik nature, Cape Town, 2002. 1154p.
- COTTA, M.K. Quantificação de Biomassa e Geração de Certificação de Emissões Reduzidas no Consórcio Seringueira-Cacau. Tese de Pós-graduação. Universidade de Viçosa, Minas Gerais, 2005. 101p.
- DAIMA, H. Inventário Florestal de Plantação de Chanfuta: Michafutene no Distrito de Marracuene. Tese de Licenciatura. UEM-FAEF, Maputo, 2008. 65p.
- FRANCEZ, L.M.B.; Souza, D.V.; Takehana, C.L.I. e de Barros, P.L.C. Manual para Análise de Inventário Florestal e Equações de Volume em Projectos de Maneio Florestal Sustentável. Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Belém, 2010. 66p.
- GIBBS, H.K.; Brown, S.; Niles, J.O. e Foley, J.A. Monitoring and Estimating Tropical Forest Carbon Stocks: Making REDD a Reality. Environmental Research Letters, v2., p.13, 2007.
- MACHADO, S.A.; Nascimento, R.G.M.; Augustynczyk, A.L.D.; da Silva, L.C.R.; Figura, M.A.; Pereira, E.M.; Téó, S.J. Comportamento Hipsométrico da *Araucária angustifolia* no Capão da Engenharia Florestal da UFPR. Pesquisa Florestal Brasileira, n.56, p.5-16. 2008.
- MAE – Ministério de Administração Estatal. Perfil do Distrito de Marracuene, 2005. 51p.
- MARTINS, P.J. Biomassa Vertical, Estoque de Carbono e Dinâmica em uma Floresta Ombrófila Mista Montana. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Centro-Este, Unicentro-PR, Guarapuava, 2011. 86p.
- MARZOLI, A. Inventário Florestal Nacional. DNTF. Coperazione Italiana, Maputo, 2007. 86p.
- MATE, R.; Johansson, T.; Siteo, A. Biomass Equations for Tropical Forest Tree Species in Mozambique. Forest, v.5, p.535-556. 2014.

- MILITÃO, E.M. Caracterização da Diversidade Genética da População de Chanfuta (*Afzelia quanzensis* Welw.) da Floresta de Michafutene. Dissertação de Mestrado. CB-UEM, Maputo, 2013. 44p.
- MIRANDA, D.L.C. Modelos Matemáticos de Estoque de Biomassa e Carbono em Áreas de Restauração Florestal no Sudeste Paulista. Dissertação de Mestrado. UFEP, Curitiba, 2008.130p.
- MUGASHA, W.A.; Eid, T.; Bollandas, O.M.; Malimbwi, R.E.; Chamshama, S.A. O.; Zahabu, E.; Katani, J.Z. Allometric Models for Prediction of Aboveground Biomass of Single Trees in Miombo Woodlands in Tanzania. Proceedings of the First Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation Conference, p. 8-17. 2012.
- MUGASHA, W.A.; Eid, T.; Bollandas, O.M.; Malimbwi, R.E.; Chamshama, S.A.O.; Katani, J.Z. Allometric Models for Prediction of Above and Belowground Biomass of Trees in the Miombo Woodlands of Tanzania. Forest Ecology and Management, v.310, p.87-101. 2013.
- MWAKALUKWA, E.E.; Meilby, H.; Treue, T. Volume and Aboveground Biomass Models for Dry Miombo Woodland in Tanzania. International Journal of Forestry Research. 11p. 2014.
- PARRESOL, B.R. Assessing Tree and Stand Biomass: a Review with Examples and Critical Comparisons. Forest Science, v.45, p.573-593. 1999.
- PEARSON, T.; WALKER, S. e BROWN, S. Sourcebook for Land Use, Land-Use Change and Forestry Projects. BioCF/Winrock, Washington DC, 2005. 57p.
- RATUCHNE, L.C. Equações Alométricas para Estimativa de Biomassa, Carbono e Nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2010. 111p.
- REIS, M.G.F.; Kimmins, J.P.; de Resende, G.C.; de Barros, N.F.. Acúmulo de Biomassa em uma Sequência de Idade de *Eucalyptus grandis* Plantado no Cerrado em Duas Áreas com Diferentes Produtividades. Revista Árvore, v.9, p.149-162. 1996.
- ROCHA, C.C. Estimativa de Volume, Biomassa e Carbono da Vegetação Lenhosa de Floresta Estacional no Estado de Goiás. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, 2011. 80p.
- SANQUETTA, C.R.; Watzlawick, L.F.; Côrte, A.P.D.; Fernandes, L.A.V.; Siqueira, J.D.P. Inventários Florestais: Planejamento e Execução. 2ª Edição, Curitiba, 2009. 316p.
- SITOE, A.; Guedes, B. e Nhantumbo, I. Monitoria, Relatório e Verificação para o REDD+ em Moçambique: Relatório do País. IIED – International Institute for Environment and Development, Londres, 2013.149p.
- TCHAÚQUE, F.D.L.J. Avaliação da Biomassa Lenhosa |Área no Corredor da Beira. Tese de Licenciatura. UEM-FAEF, Maputo, 2004. 65p.
- TOMO, F.A. Estimativas de Stock de Carbono nas Florestas de Miombo em Gondola. Tese de Licenciatura. UEM-FAEF, Maputo, 2012. 60p.
- WALKER, W.A.; Baccini, M.; Nepstad, N.; Horning, D. ;Knight, E.; Braun; Bausch. A. *Field Guide for Forest Biomass and Carbon Estimation, Version 1.0*; Woods Hole Research Centre Falmouth, Massachusetts, 2011. 72p.
- WANDELLI, E.V. Estoques de Biomassa em Diferentes Cenários de Uso da Terra ao Norte de Manaus, Amazônia Central Brasileira. Tese de doutoramento. Instituto Nacional de Pesquisa na Amazônia,

Universidade Federal Rural da Amazonia,
Belém, 2008. 162p.

ZUNGUZE, A.X. Quantificação de Carbono
Sequestrado em Povoamentos de *Eucalyptus*

spp. na Floresta de Inhamacari – Manica.
Projecto Final, UEM-FAEF, 2012. 53p.