

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

CARLOS AUGUSTO PEDRO

**DESCRIÇÃO DO PERFIL DO FUSTE DE *Tachigali vulgaris* EM PLANTIOS
HOMOGÊNEOS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**

**MONTE CARMELO
2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

CARLOS AUGUSTO PEDRO

**DESCRIÇÃO DO PERFIL DO FUSTE DE *Tachigali vulgaris* EM PLANTIOS
HOMOGÊNEOS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal, Campus Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda

**MONTE CARMELO
2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

CARLOS AUGUSTO PEDRO

**DESCRIÇÃO DO PERFIL DO FUSTE DE *Tachigali vulgaris* EM PLANTIOS
HOMOGÊNEOS EM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS**

Monte Carmelo, ____ de _____ de 20____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Rodrigo Otávio Veiga de Miranda
Orientador

Prof. Dr. Alvaro Augusto Vieira Soares
Membro da Banca

Eng^a. Florestal Larissa de Oliveira Ramos
Membro da Banca

**MONTE CARMELO
2021**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
pois sem Ele nada seria possível. Aos meus avós,
meu pai e a todos meus familiares pela
paciência e apoio nos momentos difíceis.
Em memória de minha querida tia Anália Aparecida.

AGRADECIMENTOS

A minha avó Lena por ser meu exemplo e inspiração, por todo incentivo e apoio na busca pelos meus sonhos.

Ao meu pai por ser meu melhor amigo e me ajudar nos momentos de necessidade.

As minhas tias Ana Maria, Abadia de Fatima e Maria Terezinha que ao longo dessa caminhada se fizeram presente e me ajudaram.

Aos meus primos, Maicon Douglas, Camila Gama e Grazielle Aparecida por sempre me ajudarem.

Agradeço ao meu orientador Rodrigo Otavio Veiga de Miranda pela paciência, dedicação, ensinamentos e contribuições no meu trabalho.

Agradeço aos membros da banca de avaliação, ao Professor Augusto Vieira Soares e a Eng^a. Florestal Larissa de Oliveira Ramos pelas contribuições na condução do trabalho.

Aos meus amigos Marcelo Luiz, Breno Preslei e Gabriel Bueno pela ajuda prestada ao longo dessa jornada.

Finalmente, à Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo, pela oportunidade e a todos professores, técnicos e coladores que, ao longo da graduação, contribuíram com ensinamentos a minha formação acadêmica.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Distribuição geográfica de *Tachigali vulgaris* no Brasil. Fonte: Rede Specieslink (2021).
..... 13
- Figura 2.** Localização do plantio experimental de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. Elaboração: Rosário (2019). 16
- Figura 3.** Croqui da área do plantio experimental de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 17
- Figura 4.** Dispersão dos resíduos para o modelo polinômio de 5º grau na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 23
- Figura 5.** Dispersão dos resíduos para o modelo polinômio de 5º grau na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 24
- Figura 6.** Dispersão dos resíduos para o modelo Bennet e Swindel na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 25
- Figura 7.** Dispersão dos resíduos para o modelo Bennet e Swindel na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 26
- Figura 8.** Perfil dos fustes apresentado para as árvores de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 28
- Figura 9.** Dispersão dos resíduos para o modelo Bennet e Swindel na estimativa do diâmetro ao longo do fuste para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 31
- Figura 10.** Estimativa do perfil médio de fustes de *Tachigali vulgaris* com idade entre 84,7 a 99,7 meses, no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 32
- Figura 11.** Dispersão dos resíduos para o modelo de Kozak na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 39
- Figura 12.** Dispersão dos resíduos para o modelo de Kozak na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 40

Figura 13. Dispersão dos resíduos para o modelo Ormerod na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 41

Figura 14. Dispersão dos resíduos para o modelo Ormerod na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 42

Figura 15. Dispersão dos resíduos para o modelo Demaerschalk na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 43

Figura 16. Dispersão dos resíduos para o modelo Demaerschalk na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. 44

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Funções de afilamento testadas para estimar o diâmetro ao longo do fuste das árvores de povoamentos puros de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará 18
- Tabela 2.** Estatísticas de avaliação dos ajustes para estimativa do diâmetro ao longo do fuste de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará 19
- Tabela 3.** Análise de variância para o teste de identidade de modelos em plantios experimentais de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará 20
- Tabela 4.** Amplitude diamétrica e hipsométrica das árvores cubadas e utilizadas no ajuste de funções de afilamento por idade para a descrição do perfil de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará 21
- Tabela 5.** Coeficientes e estatísticas de avaliação para funções de afilamento ajustadas para a descrição do perfil de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará 22
- Tabela 6.** Teste de identidade de modelos para diferentes idades e portes do fuste na estimativa do perfil do fuste para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará 29
- Tabela 7.** Teste de identidade de modelos para diferentes portes do fuste na estimativa do perfil do fuste para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará 30
- Tabela 8.** Coeficientes e estatísticas de avaliação para funções de afilamento ajustadas para a descrição do perfil de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará 37

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

d	diâmetro à altura do peito (cm);
d_i	valores observados de diâmetro ao longo do fuste (cm);
\bar{d}_i	média dos valores observados para o diâmetro observado;
$d_{i\text{est}}$	valores estimados de diâmetro ao longo do fuste (cm);
DBC	delineamento em blocos casualizados;
h	altura total da árvore (m);
R^2_{ajust}	coeficiente de determinação ajustado;
Res%	resíduos (%);
$S_{yx}\%$	erro padrão da estimativa (%);
TIM	teste de identidade de modelos;
SQRes	soma de quadrados dos resíduos;
SQTotal	soma de quadrados total;
SQDif	soma de quadrados da diferença;
SQM.C	soma de quadrado do modelo completo;
SQM.R	soma de quadrado do modelo reduzido;
QMDif	quadrado médio da diferença;
QMRes	quadrado médio do resíduo;
IMA	Incremento Médio Anual;
N	Número total de observações;
n	número de observações;
p	número de parâmetros do modelo, incluindo o intercepto;
Trat	Tratamento.

RESUMO

O *Tachigali vulgaris* L. G. Silva & H. C. Lima é uma espécie com ocorrência em diversos biomas brasileiros que, devido suas características tecnológicas, ecológicas e silviculturais para a produção de carvão vegetal e lenha, tem demonstrado forte potencial para expansão de plantios homogêneos com finalidade energética na Amazônia. Atualmente, essa espécie tem se tornado foco de inúmeras pesquisas em função da escassez de várias informações essenciais. Uma informação importante está relacionada ao estudo da forma do fuste. Diante disso, o objetivo deste estudo foi descrever o perfil do fuste de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos e idades por meio de funções de afileamento não segmentadas. O trabalho foi realizado em um plantio experimental no distrito de Monte Dourado, estado do Pará. O experimento foi conduzido sob o delineamento em blocos casualizados, sendo três blocos, cada um com seis tratamentos, representando os seguintes espaçamentos de plantio: T1 (3,0 × 1,5 m); T2 (3,0 × 2,0 m); T3 (3,0 × 2,5 m); T4 (3,0 × 3,0 m); T5 (3,0 × 3,5 m) e T6 (3,0 × 4,0 m). Três árvores por tratamento em cada bloco e em duas idades foram cubadas de maneira absoluta, totalizando 108 árvores. As funções de afileamento avaliadas foram selecionadas em estudos recentes considerando diferentes espécies. Conforme os resultados, o modelo de Bennet e Swindel foi considerado como o mais adequado na descrição do perfil do fuste de tachi-branco, para todas as condições de ajuste. O teste de identidade de modelos demonstrou que uma única equação pode ser utilizada para descrever o perfil médio dos fustes de *Tachigali vulgaris* nos diferentes espaçamentos e em idades semelhantes ao deste trabalho.

Palavras-chave: Tachi-branco. Afileamento. Forma do fuste. Funções não segmentadas.

ABSTRACT

Tachigali vulgaris L. G. Silva & H. C. Lima is a species that occurs in several Brazilian biomes that, due to its technological, ecological and silvicultural characteristics for the production of charcoal and firewood, has shown strong potential for the expansion of homogeneous plantations for energy purposes in the Amazon. Currently, this species has become the focus of numerous researches due to the scarcity of several essential information. An important piece of information is related to the study of the shape of the shaft. Therefore, the aim of this study was to describe the profile of the shaft of *Tachigali vulgaris* at different spacings and ages through non-segmented taper functions. The work was carried out in an experimental planting in the district of Monte Dourado, Pará state. The experiment was carried out in a randomized block design, with three blocks, each with six treatments, representing the following planting spacings: T1 (3.0 × 1.5 m); T2 (3.0 × 2.0 m); T3 (3.0 × 2.5 m); T4 (3.0 × 3.0 m); T5 (3.0 × 3.5 m) and T6 (3.0 × 4.0 m). Three trees per treatment in each block and at two ages were cubed in an absolute way, totaling 108 trees. The taper functions evaluated were selected in recent studies considering different species. According to the results, the Bennet and Swindel model was considered as the most adequate in the description of the white tachi stem profile, for all the adjustment conditions. The model identity test demonstrated that a single equation can be used to describe the average profile of *Tachigali vulgaris* stems at different spacings and at similar ages to this work.

Keywords: Tachi-branco. Taper. Stem form. Non-segmented functions.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO.....	15
	2.1 Objetivo geral	15
	2.2 Objetivos específicos.....	15
3	MATERIAL E MÉTODOS	16
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS	33
	APÊNDICE	37

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a demanda por produtos florestais do Brasil, de modo geral, obteve um crescimento expressivo, colocando o país como referência no cenário mundial de florestas energéticas. Segundo o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2020), dentre as espécies mais plantadas no país, destaca-se o gênero *Eucalyptus* e *Pinus* com maior porcentagem de área plantada. Contudo, existem outras espécies com elevado potencial para fins comerciais, dentre elas, o tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima).

O *Tachigali vulgaris* (tachi-branco) é uma espécie com ocorrência em diversos biomas brasileiros, amplamente encontrada nas regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste (Figura 1), faz parte da família das leguminosas arbóreas, possui capacidade de associação com microrganismos fixadores de nitrogênio, apresenta rápido crescimento e é fonte promissora de biomassa florestal para produção de energia (BRIENZA JÚNIOR et al., 2011) e para carvão ou lenha (ORELLANA, 2015). Com potencial para uso comercial, apresenta alto incremento médio anual (IMA) para altura e diâmetro de 2,5 m e 3,4 cm, respectivamente (CARVALHO, 2005).

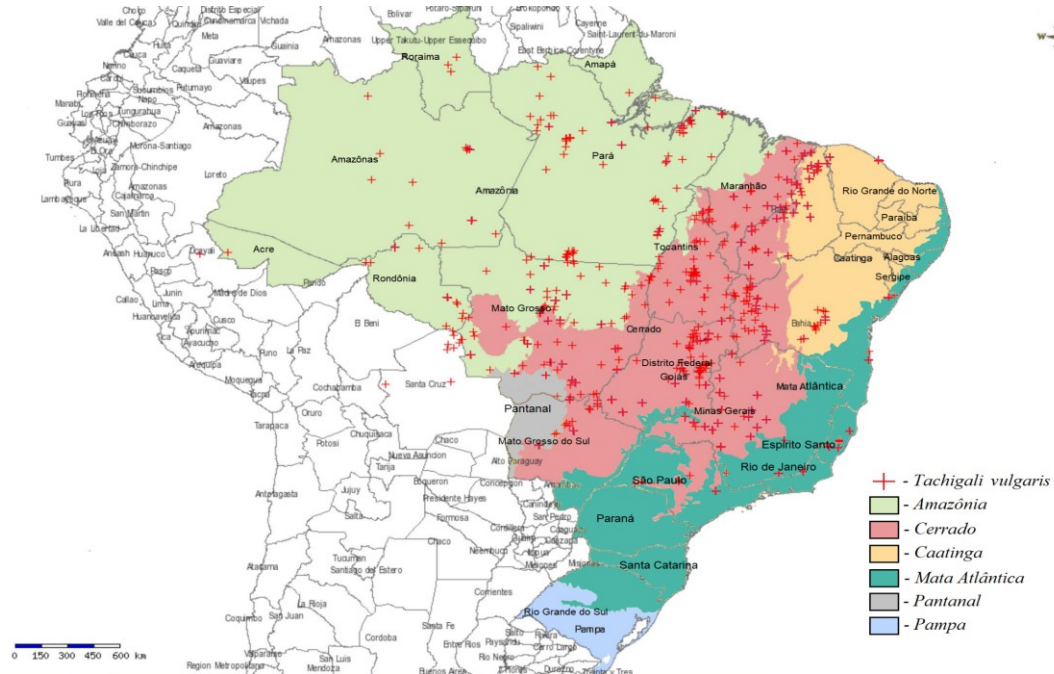


Figura 1. Distribuição geográfica de *Tachigali vulgaris* no Brasil. Fonte: Rede Specieslink (2021).

Implantar espécies nativas pode ocasionar vantagens, tais como, a substituição de madeiras de alto valor comercial oriundas de florestas nativas, ótima adaptação às condições ambientais locais, disponibilidade local de fontes de propagação, além da garantia de diversificação biológica e de uso do solo (MODES et al., 2018). Estudos demonstraram o potencial do tachi-branco na produção de etanol, bio-óleo, hidrogênio, gás de síntese e biochar, com o intuito de estender as fontes bioenergéticas presentes no setor florestal brasileiro, gerando alto valor agregado à cadeia produtiva da espécie (AGROENERGIA, 2012).

Neste contexto, a espécie arbórea tachi-branco, devido à excelente adaptabilidade em solos pobres e ácidos estabelecidos na Amazônia, tornou-se uma espécie recomendada para reflorestamentos com plantios mistos em áreas degradadas (LORENZI, 1992). Em pesquisa realizada por Farias et al. (2016), o tachi-branco promoveu as menores taxas de mortalidade e maiores produções de biomassa na recuperação de áreas degradadas quando comparado ao híbrido *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis*, além de apresentar elevada produção de serapilheira e minimizar o aparecimento de plantas daninhas.

Farias et al. (2016) demonstraram que o *Tachigali vulgaris* tende a ser uma alternativa viável para suceder o eucalipto para implementação de culturas energéticas na Amazônia destinadas à produção de lenha e carvão vegetal. Adicionalmente, Silva et al. (2019), em sua pesquisa com uma área experimental com o *T. vulgaris*, aos 7 anos de idade, encontraram valores considerados pertinentes para a finalidade energética quando comparados aos vistos para espécies do gênero *Eucalyptus*.

Diante do exposto, o conhecimento sobre a ecologia e silvicultura da espécie *Tachigali vulgaris* (tachi-branco) ainda é reduzido. Portanto, torna-se imprescindível a condução de experimentos e estudos científicos com intuito de avaliar o desempenho desta espécie, buscando esclarecer o efeito do tipo de fuste, associado aos diferentes espaçamentos e idade do plantio, com o objetivo de gerar informações essenciais à consolidação desta espécie como uma opção ao atendimento de demandas.

Uma das maneiras de avaliar o desempenho de uma espécie se dá pela análise de variáveis dendrométricas, as quais estão relacionadas ao tamanho e forma da árvore. Portanto, a utilização de técnicas de mensuração florestal que permitem obter informações de variáveis dendrométricas se torna essencial para auxiliar no estudo sobre determinada espécie, além de gerar informações essenciais ao planejamento e tomada de decisão (STEPKA et al., 2016).

O fuste da árvore de muitas espécies apresenta diferentes formas no sentido longitudinal: neiloide próximo da base; parabolóide na porção central; e cone no topo (CAMPOS; LEITE, 2013). Com isso a utilização de funções de afilamento (*taper*) que descrevam o perfil médio da árvore é essencial para fornecer informações exatas e oportunas sobre o manejo no processo de crescimento da espécie em interesse. Geralmente, a variável dependente de uma função de afilamento é a razão entre o diâmetro (d_i) a uma altura conhecida (h_i) e o DAP (MIGUEL, 2009). Diante disso, estudos que englobem a descrição do perfil do fuste auxiliam no conhecimento da espécie e nos seus possíveis usos.

Segundo Li e Weiskittel (2010), se faz necessário e vantajoso estudos que aprofundem mais sobre as características das funções de afilamento, com intuito de buscar seu uso em outras espécies menos conhecidas. Para Fang et al. (1999), as funções de afilamento têm sido um dos temas mais importantes de estudo em mensuração e manejo florestal nos últimos anos. Acrescentam Bernardii et al. (2021) que a utilização das funções de afilamento e o conhecimento do perfil do fuste possibilita a obtenção de volumes por classes de sortimentos.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi descrever o perfil do fuste de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos e idades por meio de funções de afilamento não segmentadas, em plantios experimentais na região norte do Pará.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Descrever o perfil do fuste de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos e idades por meio de funções de afilamento não segmentadas, em plantios experimentais na região norte do estado do Pará.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar funções de afilamento considerando diferentes espaçamentos iniciais de plantio e idades;
- Verificar a necessidade de funções de afilamento individuais por espaçamento inicial de plantio e idade por meio de um teste de identidade;

- Descrever o perfil do fuste médio de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado com informações provenientes de um plantio homogêneo de tachi-branco (*Tachigali vulgaris* L. F. Gomes da Silva & H. C. Lima) implantado em meados de maio de 2010, em uma área experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA de aproximadamente 6 ha, localizada na empresa Jari Celulose S.A., distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, mesorregião do baixo Amazonas, estado do Pará, Brasil (Figura 2).



Figura 2. Localização do plantio experimental de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará. Elaboração: Rosário (2019).

O experimento foi delineado em blocos casualizados (DBC), contemplando três blocos, cada um com seis tratamentos, sendo T1, T2, T3, T4, T5 e T6, representando os espaçamentos de

plantio: $3,0 \times 1,5$ m; $3,0 \times 2,0$ m; $3,0 \times 2,5$ m; $3,0 \times 3,0$ m; $3,0 \times 3,5$ m; e $3,0 \times 4,0$ m, respectivamente (Figura 3). Cada parcela experimental admitiu áreas com dimensões de 60×51 m (3.060 m²), no qual somente as 49 plantas centrais foram avaliadas, e as demais apontadas como bordadura.

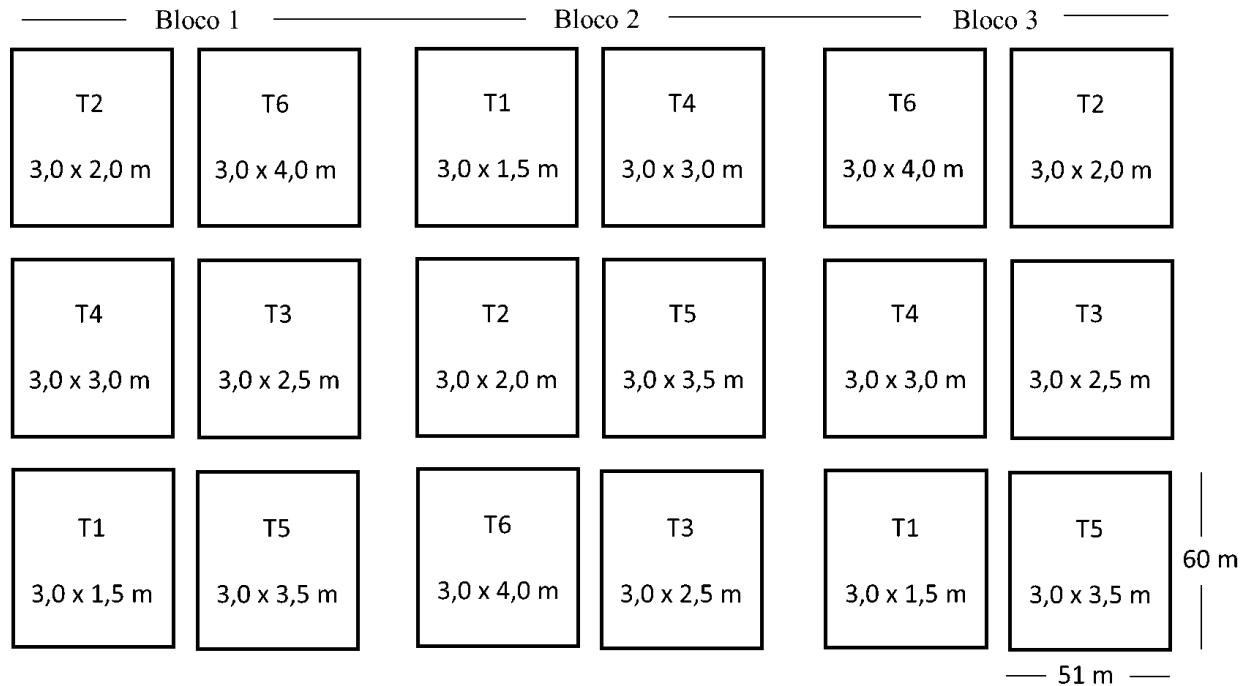


Figura 3. Croqui da área do plantio experimental de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

Como foram consideradas um número fixo de 49 árvores por parcela experimental, houve uma variação das áreas das mesmas, pois se encontravam em diferentes espaçamentos. Diante disso, as áreas foram de 220,5; 294,0; 367,5; 441,0; 514,5; 588,0 m², na devida ordem dos tratamentos T1, T2, T3, T4, T5 e T6.

Para a condução deste estudo, dados de cubagem foram utilizados. As árvores cubadas foram escolhidas de acordo com a amplitude diamétrica e hipsométrica presente no experimento, nas idades de 84,7 meses (7,06 anos) e 99,7 meses (8,31 anos). Em cada bloco, três árvores foram cubadas, totalizando 108 árvores cubadas (3 blocos x 6 tratamentos x 3 árvores x 2 idades).

As árvores selecionadas foram derrubadas onde foram medidos os diâmetros ao longo do fuste na altura de corte e nas alturas absolutas de 0,70, 1,30, 2,00 m de altura do solo e, a partir daí, de 2,00 em 2,00 m, até a altura comercial da árvore com diâmetro de 5 cm. Dentre as árvores selecionadas, algumas apresentaram fustes perfilhados. Nestes casos, apenas os fustes principais

foram considerados neste trabalho, uma vez que somente estes fustes tiveram a altura total medida em campo.

Para a realização das medições, uma fita métrica foi utilizada. Com auxílio de uma régua milimétrica e para cada ponto de medição no fuste, a espessura da casca foi obtida. Para a obtenção do volume individual das árvores escolhidas, utilizou-se a expressão de Smalian conforme descrito por Machado e Figueiredo Filho (2009).

A partir dos dados de cubagem, funções de afilamento foram avaliadas. As funções de afilamento utilizadas neste trabalho foram selecionadas em estudos disponíveis na literatura (LANSSANOVA et al., 2013; TÉO et al., 2013; CIARNOSCHI 2016; LUSTOSA JUNIOR et al., 2017; BELTRAN et al., 2017; SOUZA et al., 2020), sendo avaliadas cinco funções, apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Funções de afilamento testadas para estimar o diâmetro ao longo do fuste das árvores de povoamentos puros de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará

Nº.	Autor	Modelo
1	Kozak et al. (1969)	$\left(\frac{di}{d}\right)^2 = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{h}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{h}\right)^2 + \varepsilon$
2	Schoepfer (1966) (Polinômio de 5º grau)	$\frac{di}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{hi}{h}\right) + \beta_2 \left(\frac{hi}{h}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{hi}{h}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{hi}{h}\right)^4 + \beta_5 \left(\frac{hi}{h}\right)^5 + \varepsilon$
3	Bennet e Swindel (1972)	$\frac{di}{d} = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h}{h+hi}\right) + \beta_2 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^2 + \beta_3 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^3 + \beta_4 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^4 + \varepsilon$
4	Ormerod (1973)	$\left(\frac{di}{d}\right)^2 = \left(\frac{hi-h}{h-1,30}\right)^{2\beta_1} + \varepsilon$
5	Demaerschalk (1972)	$\left(\frac{di}{d}\right)^2 = 10^{2\beta_0} d^{2\beta_1-2} (h-hi)^{2\beta_1} h^{2\beta_2} + \varepsilon$

Em que: $\beta_0 \dots \beta_5$ = coeficientes a serem estimados; di = diâmetro tomado nas diferentes alturas hi ao longo do fuste (cm); hi = altura até uma seção i do fuste (m); d = diâmetro à altura do peito (1,3 m); h = altura total do fuste (m); ε = erro aleatório.

Para proceder com os ajustes, toda a base de dados passou por uma etapa de consistência, com o intuito de identificar prováveis valores distintos (*outliers*). Esta etapa foi essencial para não promover influências nos ajustes e seleção da melhor equação para a estimativa dos diâmetros ao longo do fuste (di). O ajuste dos modelos foi realizado considerando as diferentes idades e

tratamentos, totalizando 12 ajustes por modelo. Ainda, o modelo mais adequado foi ajustado por idade (desconsiderando-se os tratamentos) e para todo os dados (desconsiderando-se os tratamentos e idades), passo necessário para a aplicação do teste de identidade.

Os modelos lineares foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários. Para os modelos não lineares, o ajuste se deu pelo método Levenberg-Marquardt. Na circunstância de encontrar coeficiente não significativo pelo teste t, a variável associada ao respectivo coeficiente foi retirada e o modelo reajustado. O nível de significância utilizado foi de 5%.

Para a avaliação dos ajustes, utilizou-se o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}), o erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) e a dispersão dos resíduos, conforme Montgomery et al. (2006), sendo calculadas para a variável diâmetro (d_i) a uma determinada altura do fuste (h_i). As expressões para estas estatísticas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Estatísticas de avaliação dos ajustes para estimativa do diâmetro ao longo do fuste de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará

Estatística	Fórmula
Coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}):	$R^2_{ajust} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \times \left(\frac{SQRes}{SQtotal} \right)$
Erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$):	$S_{yx}\% = 100 \times \left(\frac{\sqrt{\frac{(d_i - d_{i_{est}})^2}{n-p}}}{\bar{d}_i} \right)$
Resíduos percentuais (Res%):	$Res\% = 100 \times \left(\frac{d_i - d_{i_{est}}}{\bar{d}_i} \right)$

Em que: n = número de observações; p = número de parâmetros, incluindo o intercepto; SQRes = soma de quadrados dos resíduos; SQTotal = soma de quadrados total; d_i = valores observados de diâmetro; $d_{i_{est}}$ = valores estimados de diâmetro; \bar{d}_i = média dos valores observados para o diâmetro observado.

Com todos os ajustes realizados e selecionada a melhor equação para cada condição de ajuste, a necessidade de equações independentes foi avaliada. Para isso, o teste de identidade de modelos (TIM) descrito por Graybill (1976) foi utilizado (Tabela 3). Este teste foi também realizado por Camolesi et al. (2010), Regazzi e Silva (2010), Kurchaidt et al. (2014), Nicoletti et al. (2016) e Ramos et al. (2021). O nível de significância utilizado foi de 5%.

Tabela 3. Análise de variância para o teste de identidade de modelos em plantios experimentais de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará

FV	Gl	SQ	QM	F _{Cal}	F _{Tab}
Modelo Completo	n_1	SQM.C	-	-	-
Modelo Reduzido	n_2	SQM.R	-	-	-
Diferença	$n_1 - n_2$	SQDif	$SQDif/(n_1 - n_2)$	QMD/QMR	Valor de F _{tab}
Resíduos	$N - n_1$	SQRes	$SQMR/(N - n_1)$	-	-
Total	N	SQTotal	-	-	-

FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; SQ = soma dos quadrados; QM = quadrado médio; F_{Calc} = estatística F calculada; F_{Tab} = estatística F tabelada (α ; $n_1 - n_2$ gl; $N - n_1$ gl); N = número total de observações SQTotal = soma de quadrados total; SQRes = soma de quadrados do resíduo; SQDif = soma de quadrados da diferença; SQM.C = soma dos quadrados dos resíduos para o modelo completo; SQM.R = soma dos quadrados dos resíduos para o modelo reduzido; QMD = quadrado médio da diferença; QMR = quadrado médio do resíduo; n_1 = número de parâmetros do modelo completo, n_2 = número de parâmetros do modelo reduzido.

A aplicação deste TIM consiste na comparação entre a soma de quadrados dos resíduos e a soma de quadrados da diferença para verificar uma possível diferença significativa entre as regressões ajustadas para cada tratamento (modelo completo) e a regressão ajustada para toda a base dados de todos os tratamentos (modelo reduzido). Caso o valor calculado de F (F_{Calc}) seja igual ou maior ao valor tabelado (F_{Tab}), o uso de uma única equação para estimar o diâmetro ao longo do fuste em distintos espaçamentos não é indicada, sendo a recíproca verdadeira.

Para a aplicação do TIM e como forma de contemplar satisfatoriamente a amplitude diamétrica, fustes pequenos, médios e grandes foram utilizados. As dimensões destes fustes foram definidas conforme a variação diamétrica dos dados de cubagem. A equação selecionada foi utilizada para reconstruir o perfil de um fuste médio de *Tachigali vulgaris* com idade entre 84,7 a 99,7 meses. Para isso, o programa RStudio (versão 2.14.1) (RSTUDIO TEAM, 2020) com o uso da função “rgl”.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A amplitude do diâmetro e altura total para as árvores cubadas, para cada idade, está apresentada na Tabela 4. Na idade de 84,7 meses, o diâmetro variou de 8,12 a 20,09 cm, e a altura total de 14,07 a 21,00 m. Na idade de 99,7 meses, o diâmetro oscilou de 10,82 a 21,77 cm, e a altura total de 17,34 a 23,40 m. É evidente o avanço das árvores nas classes diamétricas à medida que se avançou a idade.

Tabela 4. Amplitude diamétrica e hipsométrica das árvores cubadas e utilizadas no ajuste de funções de afilamento por idade para a descrição do perfil de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará

Idade (meses)	Classe de diâmetro (cm)	Classe de altura total (m)				
		14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
84,7	7-9	1	1	-	-	-
	9-11	2	4	-	-	-
	11-13	-	8	9	-	-
	13-15	-	6	10	-	-
	15-17	-	2	6	-	-
	17-19	-	-	2	2	-
	19-21	-	-	-	1	-
99,7	9-11	-	-	1	-	-
	11-13	-	2	9	1	-
	13-15	-	2	7	9	1
	15-17	-	-	4	10	-
	17-19	-	-	-	2	2
	19-21	-	-	-	2	-
	21-23	-	-	-	2	-

Os cinco modelos de afilamento foram ajustados e as estatísticas de avaliação do ajuste foram calculadas. Na Tabela 5 estão apresentados os coeficientes e estatísticas de ajuste para os dois modelos que proporcionaram os melhores resultados. Para os demais modelos, os resultados estão apresentados no Apêndice.

Para ambos os modelos, as estatísticas de avaliação do ajuste foram semelhantes e não apresentaram padrão definido conforme variações do tratamento e idade, embora resultados ligeiramente inferiores foram observados para os dois espaçamentos mais amplos (Tabela 5).

Os resultados do modelo de Bennet e Swindel se apresentaram melhores àqueles do polinômio de 5º grau, exceto para o tratamento 1 e 5, mas com resultados muito próximos. Os coeficientes β_0 foram não significativos para o modelo de Bennet e Swindel em todas as situações de ajuste avaliadas. De modo que, os coeficientes não significativos expostos nas tabelas representam ao primeiro ajuste, e os restantes ao ajuste definitivo.

Tabela 5. Coeficientes e estatísticas de avaliação para funções de afilamento ajustadas para a descrição do perfil de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará

Modelo	Idade (meses)	Trat	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	R ² _{ajust}	S _{xy} (%)
Polinômio 5º grau	84,7	T1	1,455362	-7,88408	39,74911	-89,6827	88,87298	-32,5136	0,93	14,04
		T2	1,559492	-9,21156	43,15841	-92,5948	89,00427	-31,9172	0,91	16,23
		T3	1,552668	-9,57253	47,21056	-104,539	102,7628	-37,419	0,93	14,01
		T4	1,49354	-8,1625	36,46989	-75,6602	70,34847	-24,4907	0,92	15,16
		T5	1,594961	-10,5798	52,50121	-117,102	115,9566	-42,3747	0,91	16,14
		T6	1,622473	-10,5126	48,86859	-103,456	98,08136	-34,6075	0,91	17,55
	99,7	T1	1,440147	-7,82657	39,24115	-89,0433	89,20512	-33,0194	0,89	15,80
		T2	1,528046	-9,36663	46,44872	-103,694	102,6199	-37,5395	0,93	13,30
		T3	1,608246	-10,3433	51,23006	-113,597	111,6078	-40,5096	0,92	15,11
		T4	1,545683	-9,48397	45,82535	-100,339	97,70321	-35,2539	0,93	13,69
		T5	1,747933	-12,6016	61,43364	-133,67	129,5864	-46,4861	0,91	17,28
		T6	1,601146	-9,92706	45,71383	-96,2916	90,88556	-31,9873	0,91	16,62
Bennet e Swindel	84,7	T1	-2,9894ns	-28,4749	116,0971	-149,917	63,76611	-	0,93	13,83
		T2	-7,4338ns	-28,046	115,4719	-151,088	65,24097	-	0,91	16,16
		T3	-2,1465ns	-29,8642	122,8407	-160,597	69,19034	-	0,93	13,86
		T4	-6,1901ns	-25,8466	105,8106	-137,65	59,20087	-	0,93	15,07
		T5	3,6431ns	-29,0301	119,5981	-156,955	67,98657	-	0,92	15,98
		T6	0,4658ns	-28,3515	117,1189	-154,304	67,17291	-	0,91	17,36
	99,7	T1	-7,0055ns	-26,9326	110,2171	-142,749	60,92183	-	0,89	15,88
		T2	-0,8787ns	-28,3136	116,498	-152,25	65,60754	-	0,93	13,26
		T3	3,4546ns	-29,9039	123,156	-161,358	69,72501	-	0,92	15,01
		T4	-0,5109ns	-27,522	113,3252	-148,315	64,07105	-	0,93	13,67
		T5	5,9231ns	-30,8465	128,4837	-170,655	74,76922	-	0,91	17,32
		T6	-2,1577ns	-28,2634	116,5671	-153,175	66,49405	-	0,91	16,39

Em que: Trat = tratamento; $\beta_0 \dots \beta_5$ = coeficientes do modelo; ns: coeficiente não significativo pelo teste t ($\alpha \leq 0,05$).

Assim como para as outras estatísticas de avaliação, os gráficos de resíduos estão apresentados apenas para os dois melhores modelos. Para os demais modelos avaliados, as dispersões dos resíduos estão no Apêndice. Para o modelo de 5º grau na idade de 84,7 meses (Figura 4), em todos os tratamentos, as estimativas apresentaram-se mais precisas entre 10 e 75% da altura total. Na base do fuste, ocorreu maiores casos de subestimação do diâmetro ao longo do fuste, ocorrendo o contrário na porção próxima à altura total.

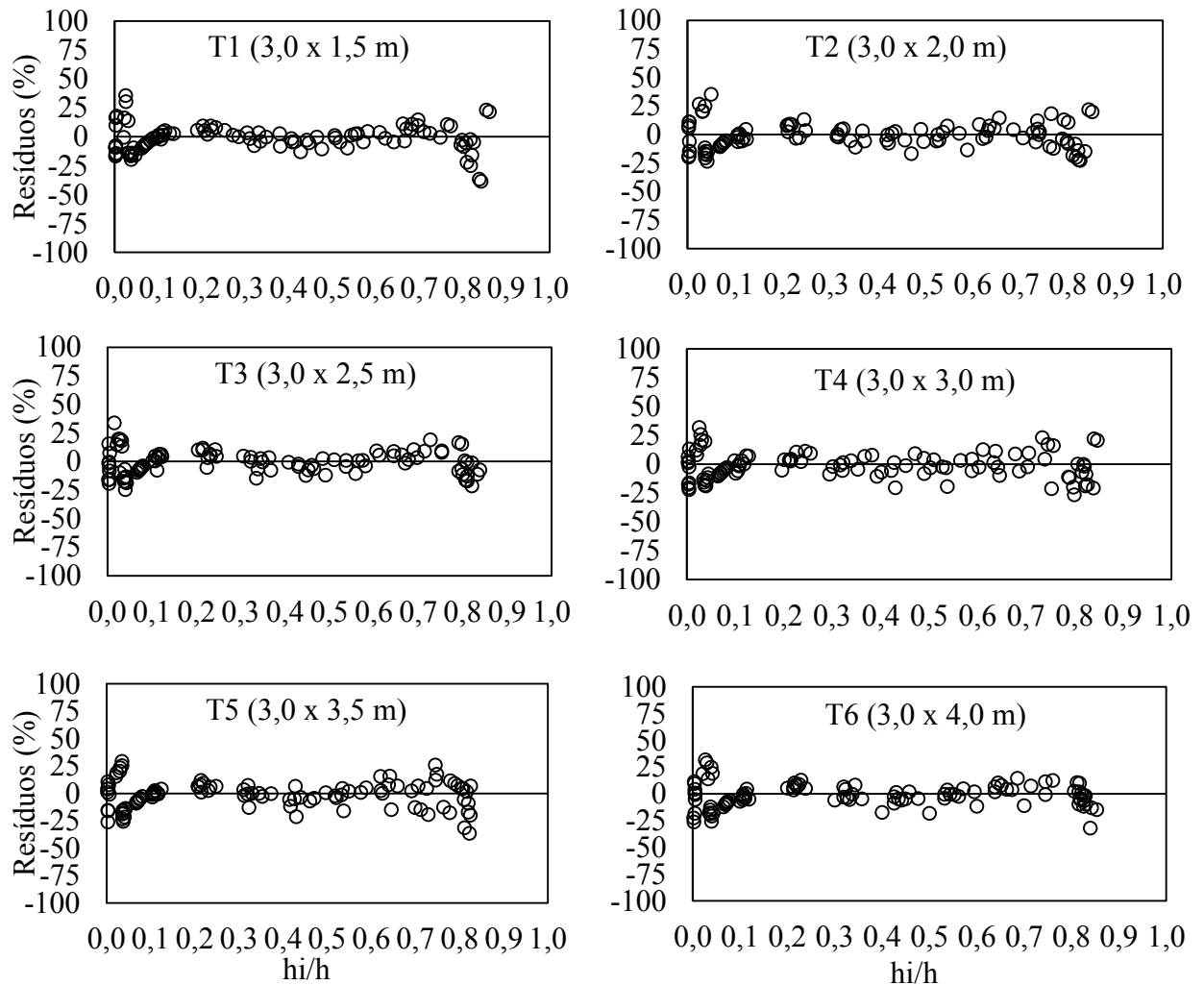


Figura 4. Dispersão dos resíduos para o modelo polinômio de 5º grau na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

Na idade de 99,7 meses, este modelo gerou estimativas semelhantes à idade anterior, porém com menor precisão (Figura 5). Isso pode estar relacionado a uma maior diferenciação no crescimento do fuste com o avanço da idade. Estimativas de baixa precisão foram observadas na base do fuste, até 10% da altura total, para todos os tratamentos. Isso pode ser reflexo do perfilamento de algumas árvores, o que pode afetar a forma do fuste principal da árvore nesta porção. Além disso, representa um local em que maiores oscilações na forma do fuste são esperadas, para diferentes gêneros e espécies (KANE et al., 2008; ENNOS, 2010; SLATER et al., 2014).

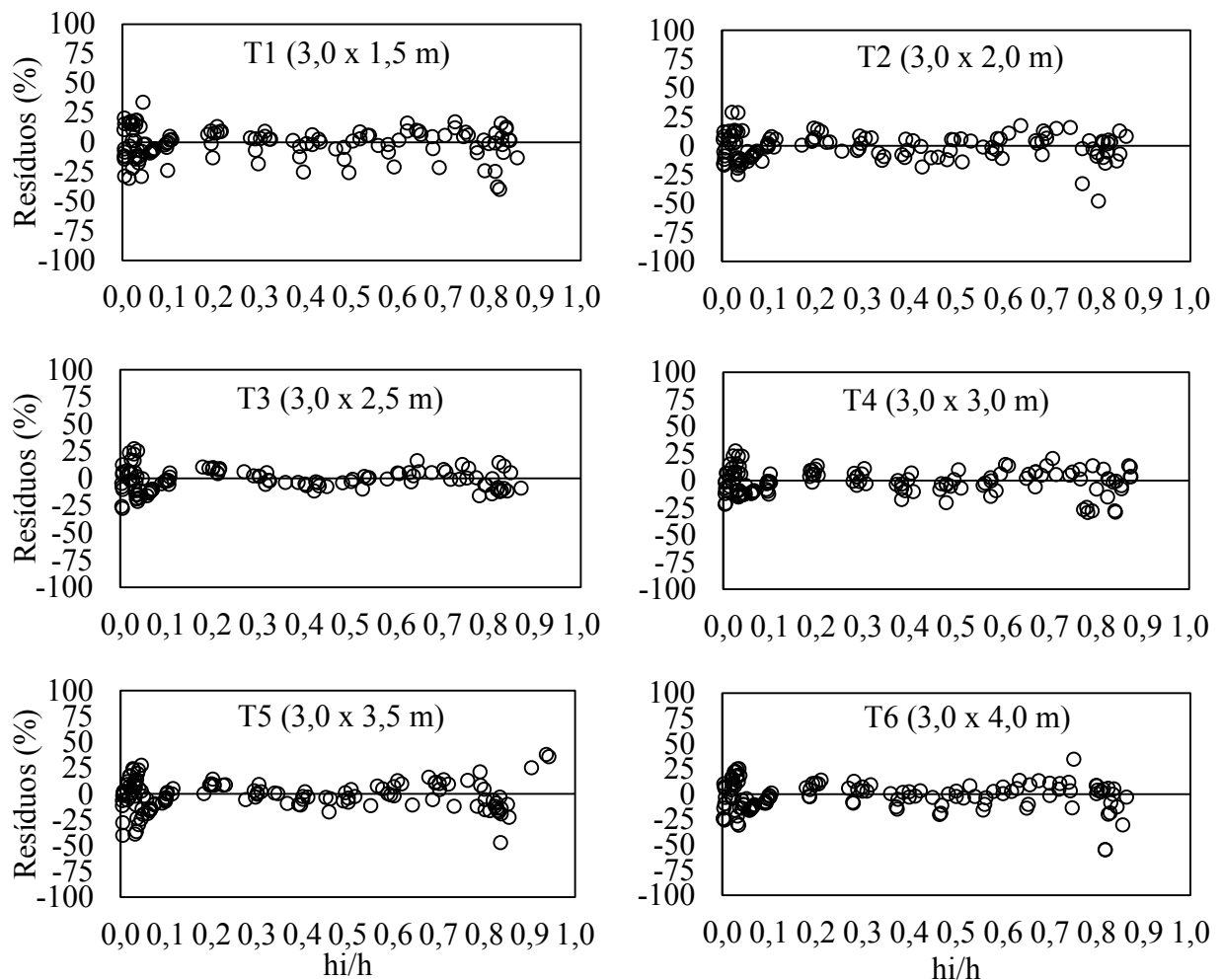


Figura 5. Dispersão dos resíduos para o modelo polinômio de 5º grau na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

O modelo de Bennet e Swindel promoveu estimativas similares ao polinômio de 5° grau, para todas as condições de ajuste (Figuras 6 e 7). Contudo, este modelo apresentou ganho em precisão na porção próxima à altura total, principalmente na idade de 84,7 meses. O intervalo onde as estimativas foram mais precisas foi de 10 a 75% da altura total, semelhante ao polinômio de 5° grau.

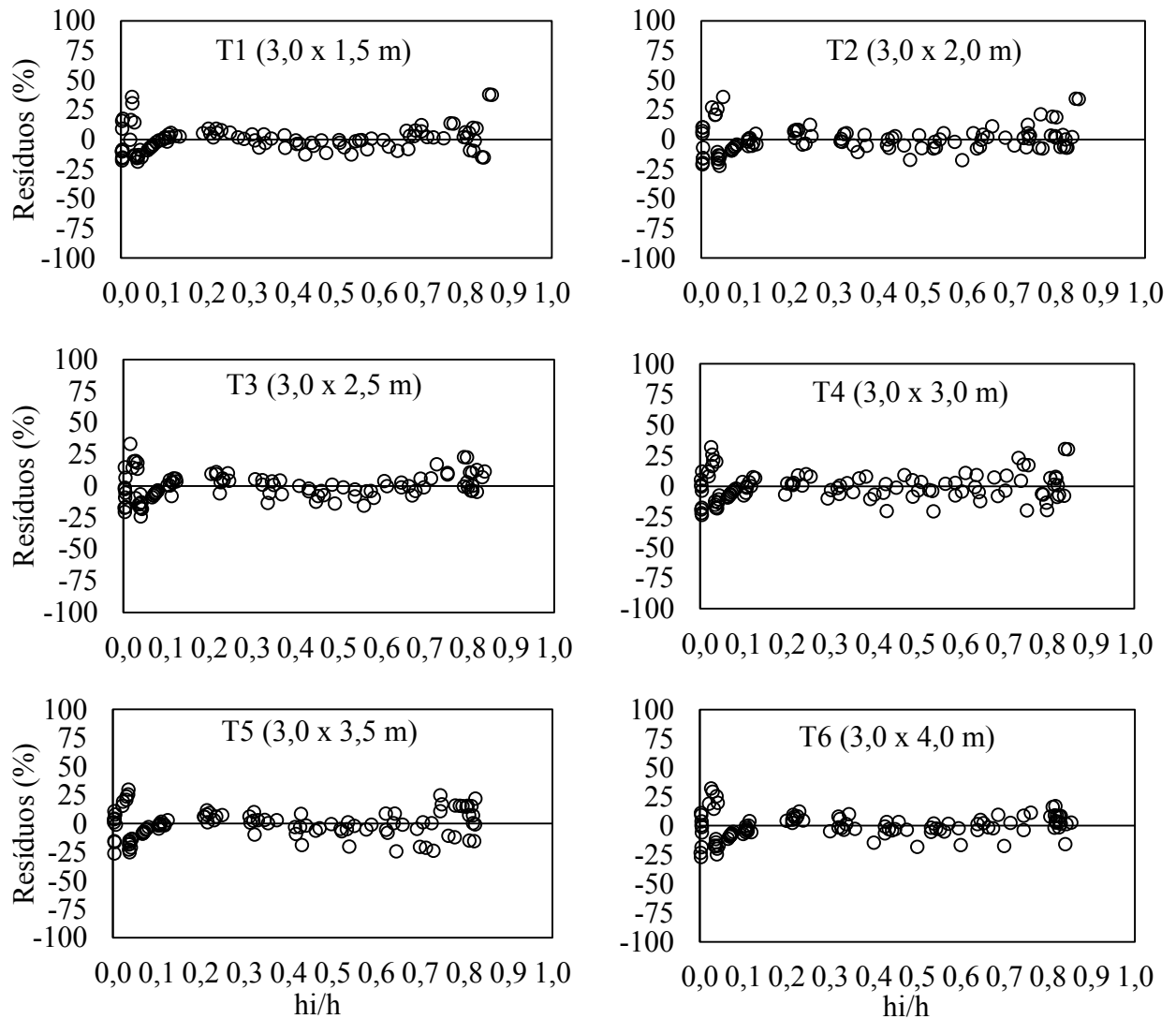


Figura 6. Dispersão dos resíduos para o modelo Bennet e Swindel na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

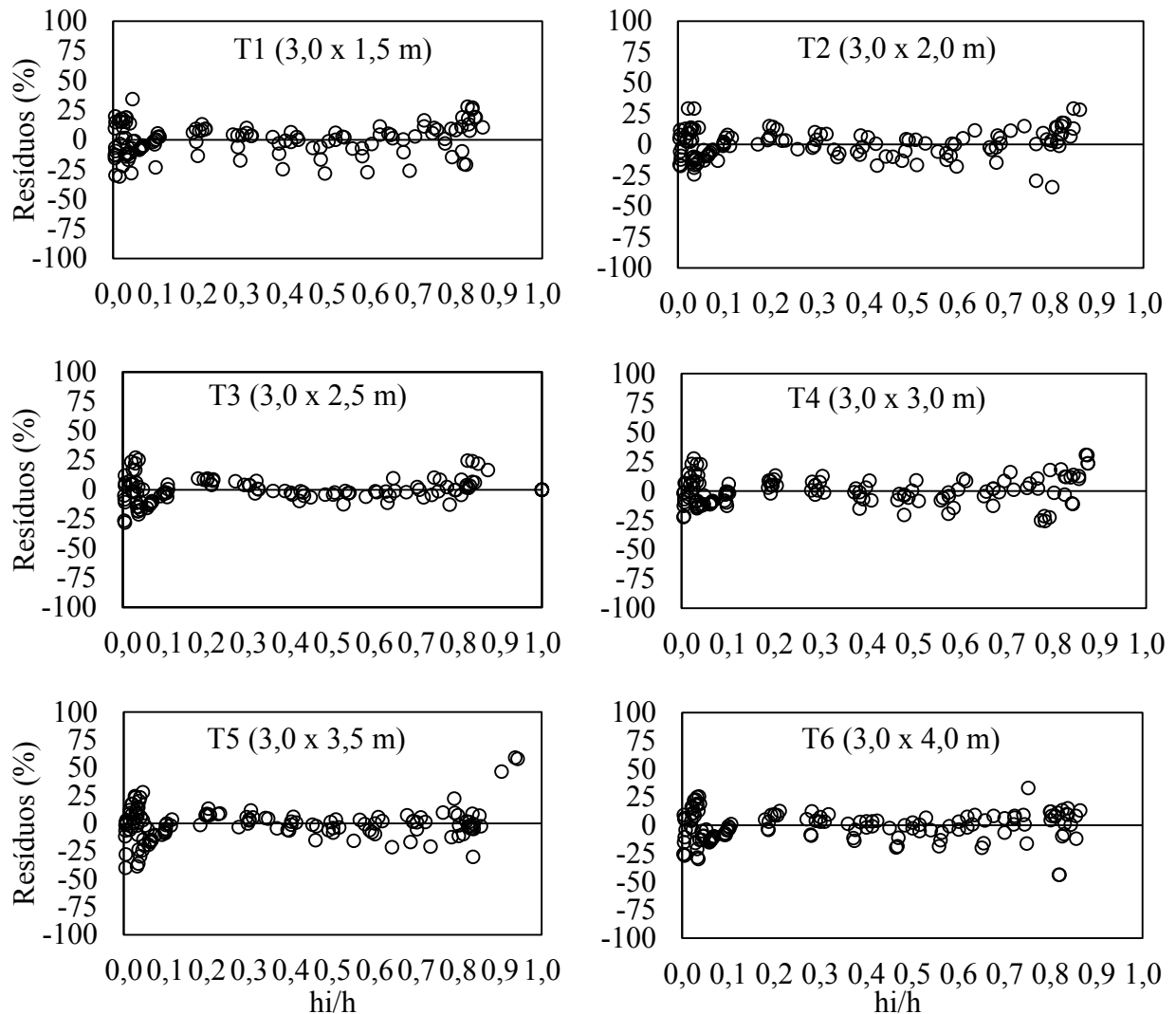


Figura 7. Dispersão dos resíduos para o modelo Bennet e Swindel na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

Diante dos resultados obtidos, o modelo de Bennet e Swindel foi considerado como o mais adequado na descrição do perfil do fuste de tachi-branco, para todas as condições de ajuste. No estudo realizado por Souza et al. (2020) com espécies nativas da região amazônica, o modelo de Bennet e Swindel apresentou os melhores resultados dentre quatro modelos testados, com erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) de 18,01% e coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}) de 0,87. Beltran et al. (2017) trabalharam com *Nothofagus alpina* e *N. obliqua* na região de Lanin na Argentina com o objetivo de ajustar equações de afilamento para determinar os volumes de diferentes produtos de madeira para fustes comerciais. Dentre os modelos avaliados, o de Bennet

e Swindel foi considerado o melhor, cujas estatísticas foram 11,85% para o erro padrão da estimativa ($S_{yx}\%$) e de 0,94 para o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{ajust}).

Em estudo de Barra (2003), que trabalhou com *Populus* sp. no Chile, o modelo de Bennet e Swindel apresentou os melhores resultados dentre os quinze modelos analisados. Fischer (1997), em seu trabalho com *Pinus taeda* L. no Paraná, constatou que o modelo de Bennet e Swindel apresentou resultados satisfatórios para descrever o perfil do fuste da espécie em questão.

Dentre os demais modelos testados neste trabalho, o de Demaerschalk foi o pior conforme as estatísticas de avaliação de ajuste, seguido pelo modelo de Kozak e Ormerod (Tabela 8 do Apêndice). Estes modelos apresentaram dificuldade em descrever o perfil do fuste de *Tachigali vulgaris*, sobretudo o modelo de Demaerschalk, o qual apresentou sérias tendências, subestimando as estimativas do diâmetro ao longo do fuste.

Lustosa Junior et al. (2017) analisaram o afilamento do fuste de *Eucalyptus* não desbastados em Cassilândia-MS, os quais observaram que os modelos de Demaerschalk e Ormerod apresentaram baixa precisão. TÊO et al. (2013) observaram que o modelo de Demaerschalk não foi o que melhor representou a forma do fuste de *Pinus elliottii*, na região de Caçador-SC. Silva et al. (2011), ao analisarem modelos para estimar o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro, concluíram que os modelos de Demaerschalk e Ormerod foram inapropriados, pois apresentaram tendenciosidade nas estimativas.

O modelo de Kozak superestimou os diâmetros ao longo do fuste até cerca de 30% da altura total e subestimou esta variável de 40 a 80% da altura do fuste, para todas as situações estudadas (Figura 11 e 12 do Apêndice). Lansanova et al. (2013) ajustaram e avaliaram modelos de afilamento não segmentados para a estimativa de diâmetros ao longo do fuste para espécies florestais comercialmente exploradas na Amazônia mato grossense. Estes autores consideraram o modelo de Kozak como o pior.

As equações selecionadas para cada condição foram aplicadas em fustes de pequeno ($d = 8,12$ cm e $h = 16,30$ m), médio ($d = 13,02$ cm e $h = 17,35$ m) e grande ($d = 14,64$ cm e $h = 17,90$ m) porte, com a finalidade de verificar a tendência do diâmetro ao longo do fuste conforme o tratamento e idade (Figura 8). Na idade de 84,7 meses, houve grande compatibilidade na forma do fuste independentemente do porte do fuste, indicando pouco ou nenhum efeito do espaçamento na forma dos fustes, sobretudo na porção de 5 a 10% e acima de 80% da altura total.

Além disso, as curvas permitem concluir que a função de afilamento foi capaz de descrever satisfatoriamente o perfil de fustes de diferentes tamanhos, principalmente fustes de pequeno porte.

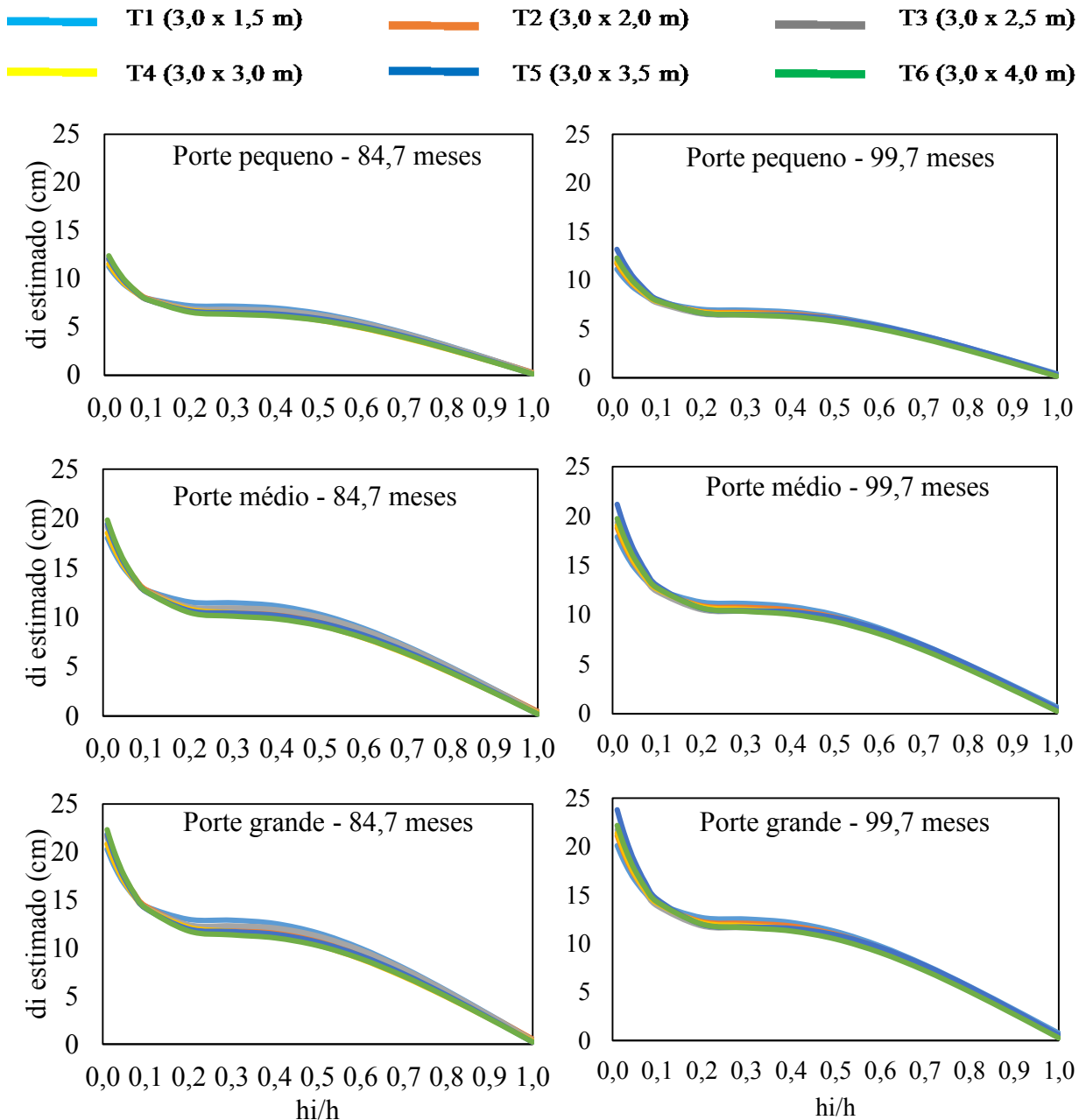


Figura 8. Perfil dos fustes apresentado para as árvores de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

Na idade de 99,7 meses ocorreu maior similaridade do perfil dos fustes a partir de 10% da altura total (Figura 8). Em contrapartida, o espaçamento de plantio exerceu influência do

crescimento em diâmetro abaixo de 10% da altura total, em que maiores valores foram observados nos espaçamentos mais amplos. Estas diferenças foram comparativamente mais pronunciadas nos fustes de médio e grande porte.

Como observado, ocorreu forte similaridade visual no perfil dos fustes nos diferentes tratamentos. A partir disso, tornou-se essencial a aplicação de um teste estatístico com a finalidade de verificar a necessidade de equações independentes para cada tratamento e idade. Com isso, o teste de identidade de modelos (TIM) de Graybill foi aplicado, considerando fustes de pequeno, médio e grande porte. Os resultados deste teste estão apresentados na Tabela 6.

Considerando uma mesma idade, o TIM indicou que uma única equação forneceu estimativas com diferenças não significativas em relação às equações independentes, visto que todos os testes indicaram a não rejeição da hipótese nula (h_0). Desta forma, uma única equação, ajustada por idade e desconsiderando-se o efeito do tratamento pode ser utilizada para descrever o perfil médio dos fustes de *Tachigali vulgaris*, independentemente do tamanho.

Tabela 6. Teste de identidade de modelos para diferentes idades e portes do fuste na estimativa do perfil do fuste para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará

Porte do fuste	84,7 meses		99,7 meses	
	F _{Calc}	F _{Tab}	F _{Calc}	F _{Tab}
Pequeno	0,01	1,80	0,38	1,73
Médio	0,08	1,76	0,59	1,74
Grande	0,16	1,77	0,27	1,72

Em que: F_{Calc}: estatística F calculada; F_{Tab}: estatística F tabelada (α ; n1-n2 gl; N-n1 gl).

A partir do resultados obtidos, o efeito da idade na forma do fuste também foi analisado. Desta forma, o TIM também foi aplicado com a finalidade de verificar a possibilidade de uma única equação, obtida para as duas idades, fornecer estimativas similares estatisticamente àquelas obtidas por equações independentes por idade. Os resultados deste teste estão apresentados na Tabela 7.

De forma semelhante ao teste anterior, esta análise considerou diferentes portes de fustes. Conforme os resultados, 15 meses não foram suficientes para afetar significativamente a forma do fuste, uma vez que a hipótese nula (h_0) não foi rejeitada. Desta maneira, considerando-se as idades de 84,7 e 99,7 meses, uma equação única pode ser utilizada para descrever o perfil das árvores de *Tachigali vulgaris*, independentemente do tamanho.

Tabela 7. Teste de identidade de modelos para diferentes portes do fuste na estimativa do perfil do fuste para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará

Porte do fuste	F _{Calc}	F _{Tab}
Pequeno	0,61	2,96
Médio	0,20	2,90
Grande	0,82	2,82

Em que: F_{Calc}: estatística F calculada; F_{Tab}: estatística F tabelada (α ; n1-n2 gl; N-n1 gl).

Está forte similaridade dos fustes em diferentes espaçamentos de plantio pode estar associada à maior taxa de mortalidade (cerca de 50%) nos menores espaçamentos de plantio, promovendo maior aproximação do número de fustes nos diferentes tratamentos. Além disso, nos maiores espaçamentos, ocorreu maior taxa de perfilhamento dos fustes (15%), o que também favorece a aproximação mencionada. Finalmente, estes resultados podem estar associados à presença de matocompetição na área experimental, a qual pode ter contribuído na ausência mais pronunciada do efeito do espaçamento de plantio na forma do fuste.

Diante dos resultados, a equação geral $\frac{di}{d} = -28,215236 \left(\frac{h}{h+hi}\right) + 115,923689 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^2 - 151,426057 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^3 + 65,277939 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^4$ ($R^2_{ajust} = 0,91$ e $S_{yx} = 16,91\%$) pode ser utilizada para descrever o perfil do fuste de *Tachigali vulgaris* conduzido em plantios homogêneos, considerando condições semelhantes a deste trabalho. A dispersão dos resíduos para as estimativas de di, obtidas pela equação geral, está apresentada na Figura 9. As estimativas seguiram padrão similar às dispersões por tratamento (Figuras 6 e 7). As estimativas foram mais precisas na porção de 10 a 75% da altura total, e estimativas de menor precisão nas porções abaixo de 10% e acima de 75% da altura total.

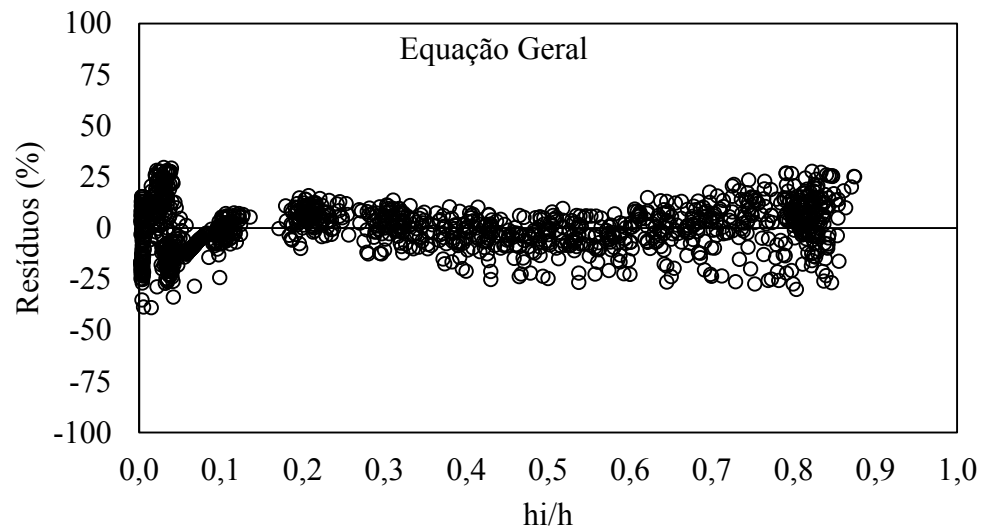


Figura 9. Dispersão dos resíduos para o modelo Bennet e Swindel na estimativa do diâmetro ao longo do fuste para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

Como forma de representar o perfil médio do fuste de *Tachigali vulgaris*, a Figura 10 foi elaborada, aplicando-se a equação acima para fustes de pequeno ($d = 8,12$ cm e $h = 16,30$ m), médio ($d = 13,02$ cm e $h = 17,35$ m) e grande ($d = 14,64$ cm e $h = 17,90$ m) porte.

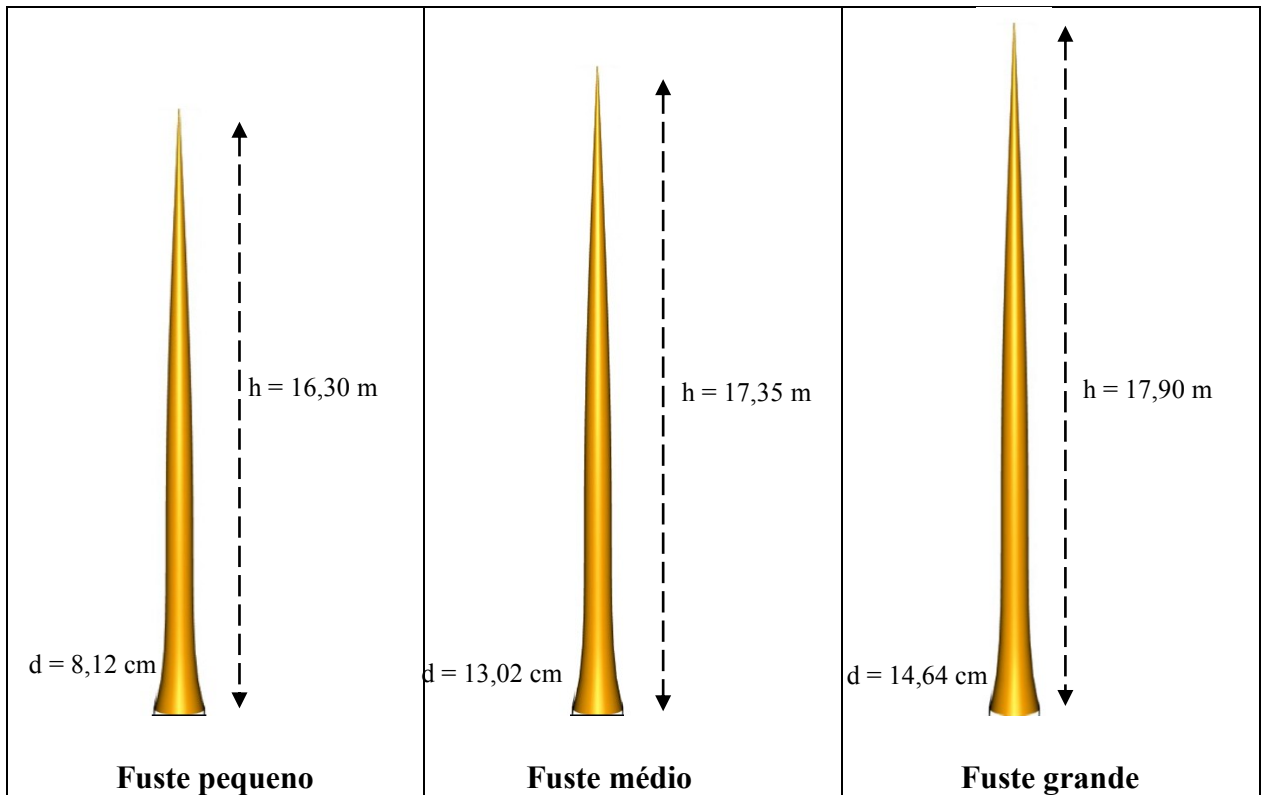


Figura 10. Estimativa do perfil médio de fustes de *Tachigali vulgaris* com idade entre 84,7 a 99,7 meses, no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

5 CONCLUSÕES

O modelo de afilamento dentre os testados no estudo mais indicado para a descrição do perfil do fuste de *Tachigali vulgaris* no norte do Pará foi o de Bennett e Swindel. A equação obtida, apresentada como $\frac{di}{d} = -28,215236 \left(\frac{h}{h+hi}\right) + 115,923689 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^2 - 151,426057 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^3 + 65,277939 \left(\frac{h}{h+hi}\right)^4$, poderá ser utilizada nos diferentes espaçamentos e em idades semelhantes ao deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AGROENERGIA: Florestas e palmeiras oleíferas Embrapa investe em fontes alternativas para bioenergia. **Agroenergético**, n. 34, 2012. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1006993/1/ed34092012.pdf>>. Acesso em: 22 ago. 2021.
- BARRA, O. S. V. **Sistema de simulação de Crescimento e Produção de *Populus spp.*, no Chile (sistema salica)**. 2003. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- BERNARDI, L. K.; THIERSCH, M. F. B. M.; ARTEAGA, A. J. M.; ALMEIDA, A. A. A.; PÁDUA, F. A.; THIERSCH, C. R. Diferentes modelos para o afilamento do tronco de *Eucalyptus* sp. para o cenário florestal brasileiro. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 3, p. 1364-1382, 2021.
- BELTRAN, H. A.; CHAUCHARD, L.; IACONIS, A.; PASTUR, G. M. Equações de afilamento e volume para tamanhos comerciais de *Nothofagus obliqua* e *N. alpina*. **Cerne**, v. 23, n. 3, p. 299-309, 2017.
- BRIENZA JÚNIOR, S.; OLIVEIRA, R. P.; DENICH, M.; VLEK, P. L. G. Plantio de árvores de crescimento rápido para recuperação de áreas agrícolas na Amazônia Oriental brasileira: avaliações de sobrevivência e produções de milho e mandioca. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.31, n. 68, p. 347-353, 2011.
- CIARNOSCHI, Lucas Dalmolin. **Modelos de afilamento do tronco de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, no oeste do estado de Santa Catarina**. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2016
- CAMOLESI, J. F.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W.; RUFINI, A. L.; MELLO, J. M. Ajuste, seleção e teste de identidade de modelo para volume e número de moirões da candeia (*Eremanthus erythropappus*). **Cerne**, Lavras-MG, v. 16, n. 4, p. 431-441, 2010.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. Viçosa-MG: UFV, 2013. 605p.
- CARVALHO, P. E. R. Taxi-Branco – Taxonomia e nomenclatura. **Embrapa Florestas**, Circular Técnica, n.111, 2005.
- ENNOS, A. R.; VAN CASTEREN, A. Transverse stresses and modes of failure in tree branches and other beams. **Proceeding of the Royal Society B**, v. 277, p. 1253–1258, 2010.
- FANG, Z.; BORDERS, B. E.; BAILEY, R L. **Tree volume and upper-stem diameter predictions for planted Loblolly and Slash Pine based on a compatible volume-taper system with segmented-stem form factors** (PMRC Technical Report 1999-3), 20p., 1999.
- FARIAS, J.; MARIMON, B. S.; SILVA, L.; PETTER, F. A. Survival and growth of native *Tachigali vulgaris* and exotic *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* trees in degraded soils

with biochar amendment in southern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 368. p. 173-182. 2016.

FISCHER, F. **Eficiência dos modelos polinomiais e das razões de volume na estimativa volumétrica dos sortimentos e do perfil do fuste de *Pinus taeda***. 1997. 154 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury Press; 1976. 704p.

KANE, B.; FARRELL, R.; ZEDAKER, S. M.; LOFERSKI, J. R.; SMITH, D. W. Failure mode and prediction of the strength of branch attachments. **Arboriculture and Urban Forestry**, v. 34, n. 5, p. 308-3016, 2008.

KURCHAIDT, S. M.; ZANETTE, V. H.; KOEHLER, H. S. Identidade de modelos em fragmento de Floresta Ombrófila Mista. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia-GO, v. 10, n. 19, p. 2302-2311, 2014.

LANSSANOVA, L. R.; UBIALLI, J. A.; ARCE, J. E.; PELISSARI, A. L.; FAVALESSA, C. M.; DRESCHER, R. Avaliação de funções de afilamento para a estimativa de diâmetro de espécies florestais comerciais do bioma amazônico mato-grossense. **Floresta**, Curitiba, v.43, n.2, p.215-224, 2013.

LI, R.; WEISKITEL, A. R.; Comparison of model forms for estimating stem taper and volume in the primary conifer species of the North American Acadian Region. **Annals of Forest Science**, Springer Verlag, v. 67, p. 302-319, 2009.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: **Plantarum**, v.1, 1992. 373 p.

LUSTOSA JUNIOR, I. M.; LIMA, M. B. O.; NASCIMENTO, B. G.; MEIRA JÚNIOR, M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelos de afilamento e otimização de multiprodutos de um povoamento de *Eucalyptus* não desbastado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, Suplemento 1, p. 59-65, dez. 2017.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2009. 316 p.

MIGUEL, E. P. **Avaliação biométrica e prognose da produção de *Eucalyptus urophylla* (S.T. Blake) na região norte do estado de Goiás**. 2009. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2006. 612 p.

NICOLETTI, M. F.; SOUZA, K.; SILVESTRE, R.; FRANÇA, M. C.; ROLIM, F. A. Relação hipsométrica para *Pinus taeda* L. em diferentes fases do ciclo de corte. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 23, n. 1, p. 80-89, 2016.

ORELLANA, J. B. P. **Valorização tecnológica da madeira de *Tachigali vulgaris* proveniente de plantios de dois sítios distintos localizados no estado do Amapá.** (2015). 74 f. Dissertação

REDE SPECIESLINK. Coleção. 2021. Disponível em: <http://smlink.org.br>. Acesso em: 28 out. 2021.

RAMOS, L. O.; MIRANDA, R. O. V.; SOARES, A. A. V.; PROTASIO, T. P.; GONÇALVES, D. A. Wood volumetry of *Tachigali vulgaris* pure plantations in different planting spacings. **Floresta**, v. 51, n. 4, p. 990-999, 2021.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 315-320, 2010.

ROSÁRIO, W. A. S. **Variações da densidade básica do lenho de *Tachigali vulgaris* em diferentes espaçamentos de plantio.** Parauapebas-PA. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural da Amazônia, 66p. 2019.

RSTUDIO TEAM. **RStudio**: integrated development for R. Boston, 2020. Disponível em: <http://www.rstudio.com/>. Acesso em: 13 out. 2021.

SILVA, F. CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* na região do Triângulo Mineiro. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 367-376, set. 2011.

SILVA, M. O. S.; SILVA, M. G.; BUFALINO, L.; ASSIS, M. R.; GONÇALVES, D. A.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P. Variations in productivity and wood properties of Amazonian tachi-branco trees planted at different spacing for bioenergy purposes. **Journal of Forestry Research**, v. 32 n. 78, p 211-224, nov. 2019.

SLATER, D.; BRADLEY, R. S.; WITHERS, P. J.; ENNOS, A. R. The anatomy and grain pattern in forks of hazel (*Corylus avellana* L.) and other tree species. **Trees**, v. 28, n. 5, p. 1437-1448, 2014.

SOUZA, R. G. T.; PIRES, H. L. P.; SILVA, A. V. S.; LIARTE, G. V. C. C.; LIMA, R. B. ABRE, J. C. **Funções de afilamento para uma comunidade arbórea na floresta estadual do Amapá (flota/AP).** Macapá: Arquivos Científicos, 2020. 7p.

STEPKA, T. F.; ZENY JUNIOR, G. A.; LISBOA, G. S.; CERQUEIRA, C. L.; PESCK, V. A.; ROIK, M. **Modelos volumétricos e funções de afilamento para *Pinus taeda* L. na região Dos Campos Gerais, Paraná, Brasil.** Paraná, v. 38, n. 21, p. 26-37, 26 dez. 2016. Dissertação.

TÉO, S. J.; MARCON, A.; EHLERS, T.; BIANCHI, J. C.; PELOSO, A.; NAVA, P. R.; COSTA, R. H. da. Modelos de afileamento para *Pinus elliottii* em diferentes idades, na região de caçador, SC. **Floresta**, Caçador, v. 43, n. 3, p. 439, 13 set. 2013. Universidade Federal do Paraná.

APÊNDICE

Tabela 8. Coeficientes e estatísticas de avaliação para funções de afilamento ajustadas para a descrição do perfil de *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará

Modelo	Idade (meses)	Trat	β_0	β_1	β_2	β_3	R ² _{ajust}	S _{xy} (%)
Kozak	84,7	T1	1,630537	-3,153838	1,633020	-	0,82	21,57
		T2	1,776821	-4,005170	2,406844	-	0,74	27,34
		T3	1,762161	-3,873774	2,280244	-	0,77	25,18
		T4	1,691151	-3,865122	2,326803	-	0,79	25,37
		T5	1,795112	-4,208639	2,603681	-	0,79	28,23
		T6	1,864667	-4,623872	2,960616	-	0,71	31,02
	99,7	T1	1,610742	-3,212880	1,729934	-	0,79	22,03
		T2	1,718618	-3,780343	2,226005	-	0,80	22,77
		T3	1,876614	-4,280477	2,591941	-	0,79	24,93
		T4	1,756315	-4,001703	2,415471	-	0,80	23,52
		T5	2,109033	-5,315004	3,462434	-	0,73	29,37
		T6	1,875881	-4,551041	2,881255	-	0,75	27,37
Ormerod	84,7	T1	0,569471	-	-	-	0,85	20,16
		T2	0,629147	-	-	-	0,79	24,55
		T3	0,596293	-	-	-	0,80	23,83
		T4	0,717666	-	-	-	0,82	23,21
		T5	0,676766	-	-	-	0,77	26,24
		T6	0,730423	-	-	-	0,77	27,95
	99,7	T1	0,592741	-	-	-	0,80	21,46
		T2	0,627337	-	-	-	0,78	23,72
		T3	0,608863	-	-	-	0,74	28,13
		T4	0,652056	-	-	-	0,74	25,27
		T5	0,652913	-	-	-	0,66	32,75

Modelo	Idade (meses)	Trat	β_0	β_1	β_2	β_3	R^2_{ajust}	S_{xy} (%)
Demaerschalk	84,7	T6	0,716756	-	-	-	0,76	27,13
		T1	-0,3391	0,2755	0,9815	0,2174ns	0,86	19,11
		T2	1,2541	0,3812ns	1,5173	-2,4097	0,68	30,15
		T3	-0,9321	0,3080	1,4511	0,0585ns	0,73	27,39
		T4	0,1333ns	0,4057	1,5142	-0,8664	0,78	26,12
		T5	0,9526	0,7419	1,9484	-2,3573	0,62	34,17
		T6	0,2724ns	0,4011ns	2,7839	-2,6436	0,50	40,76
	99,7	T1	-0,9558	0,2170ns	0,8086	-0,0542ns	0,82	20,55
		T2	0,3823ns	0,6108	1,2524	-0,8170	0,81	22,48
		T3	0,3537ns	0,5943	1,5293	-1,0643	0,72	28,76
		T4	-1,0946	0,4687	1,4109	-0,3397ns	0,79	24,42
		T5	0,4710ns	0,5309	3,8214	-3,2292	0,43	42,44
		T6	0,9813	0,7447	1,9136	-2,3095	0,70	30,07

Em que: Trat = tratamento; $\beta_0 \dots \beta_3$ = coeficientes do modelo; ns: coeficiente não significativo pelo teste t ($\alpha \leq 0,05$).

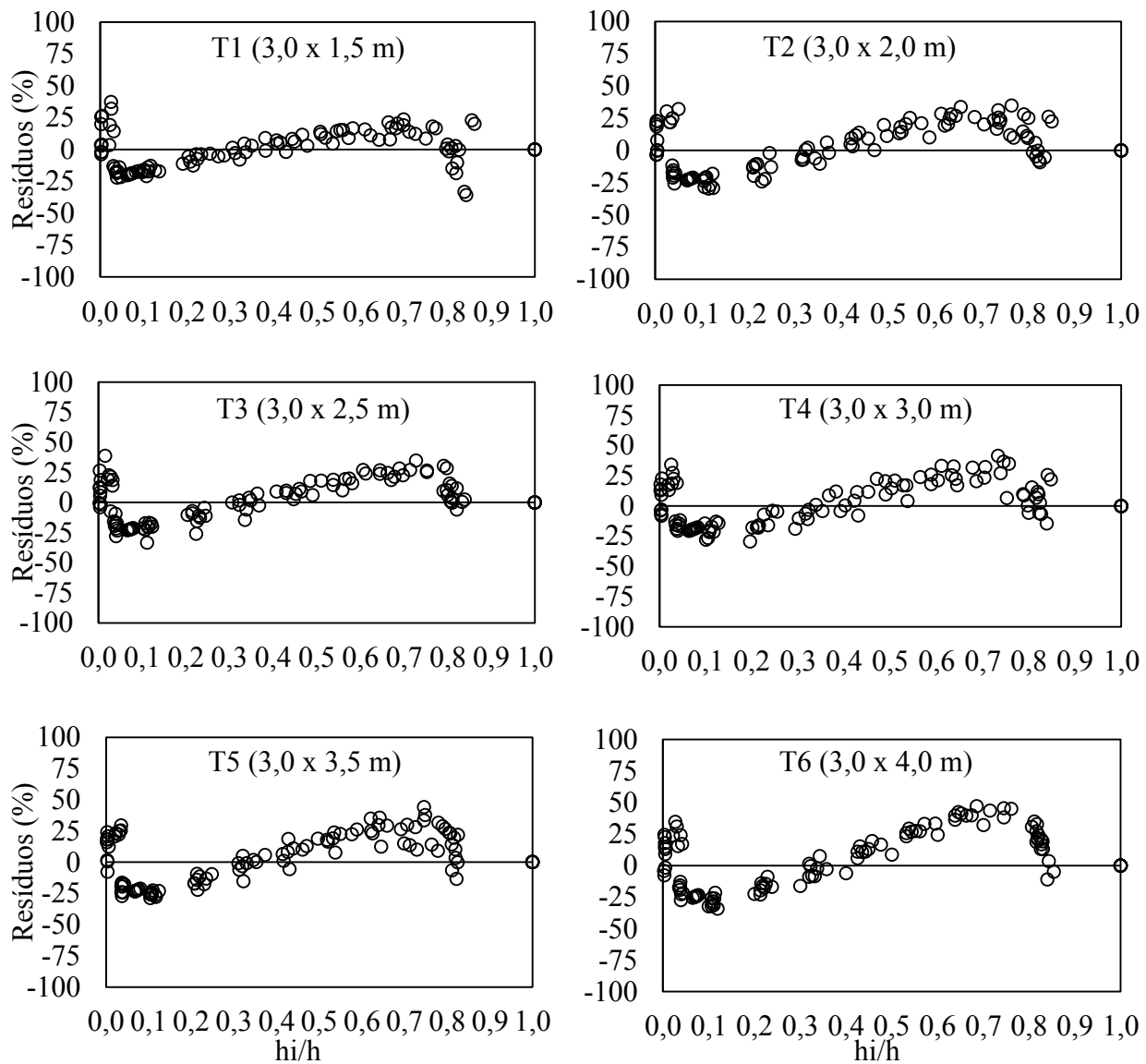


Figura 11. Dispersão dos resíduos para o modelo de Kozak na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

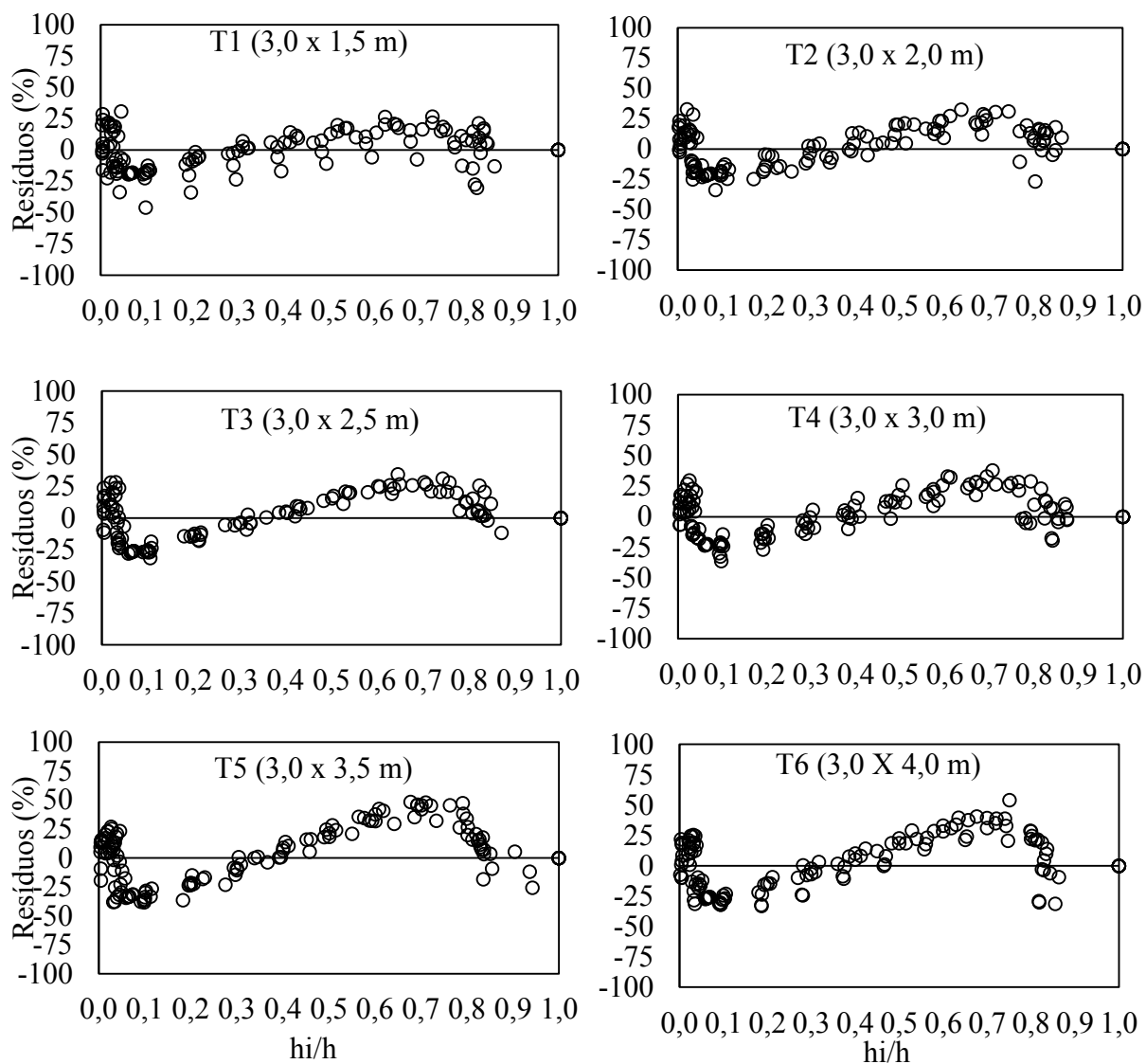


Figura 12. Dispersão dos resíduos para o modelo de Kozak na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

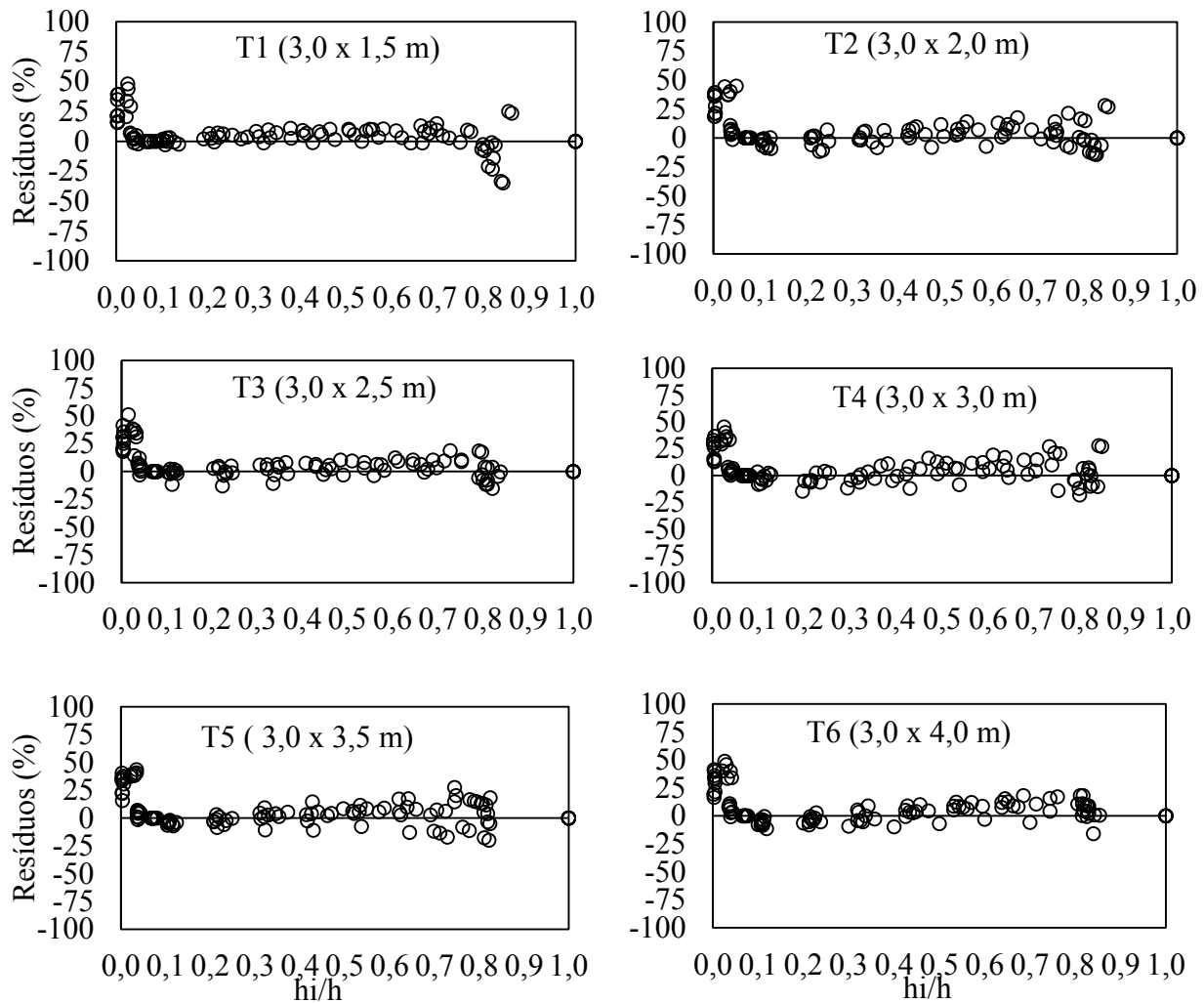


Figura 13. Dispersão dos resíduos para o modelo Ormerod na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

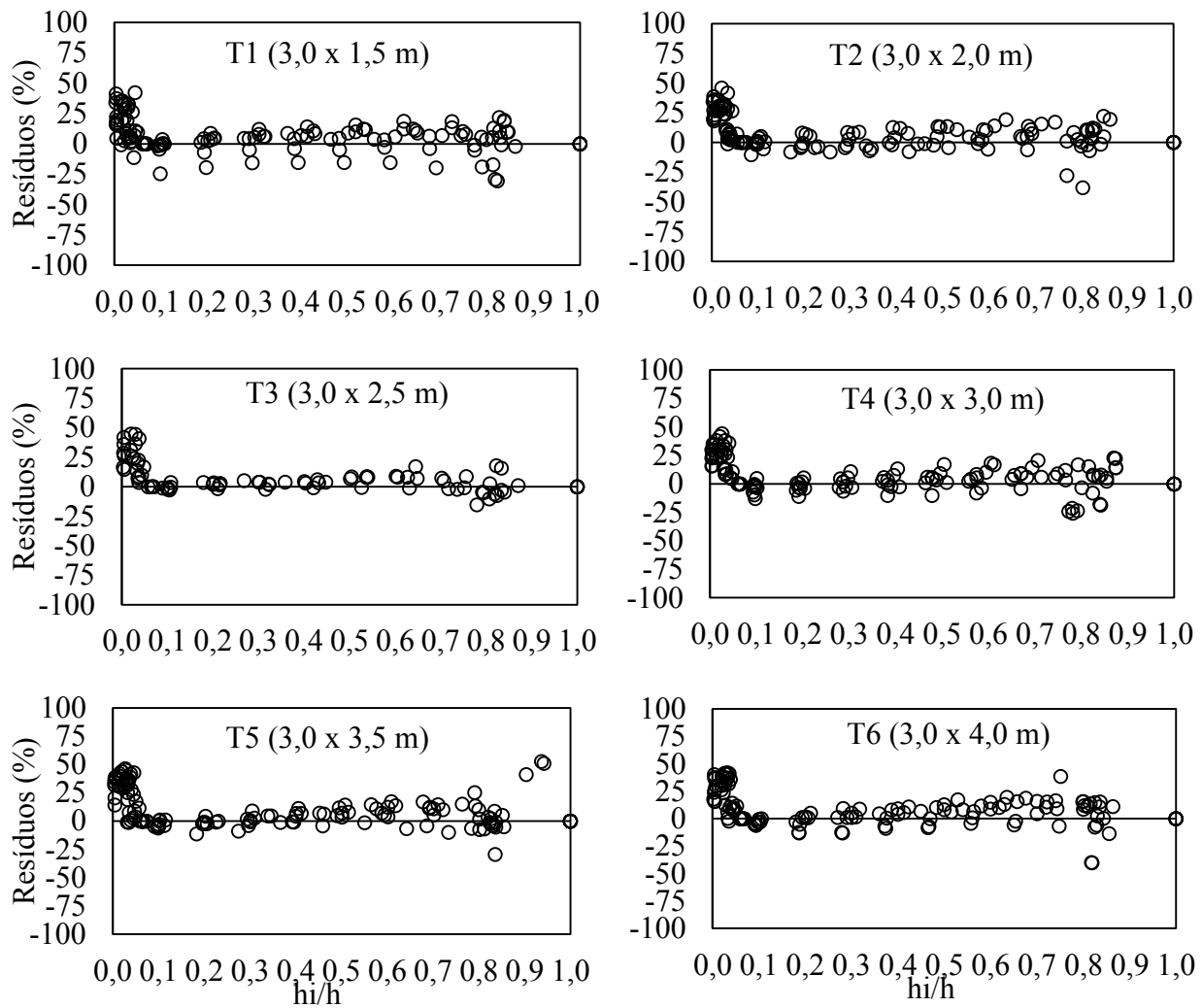


Figura 14. Dispersão dos resíduos para o modelo Ormerod na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

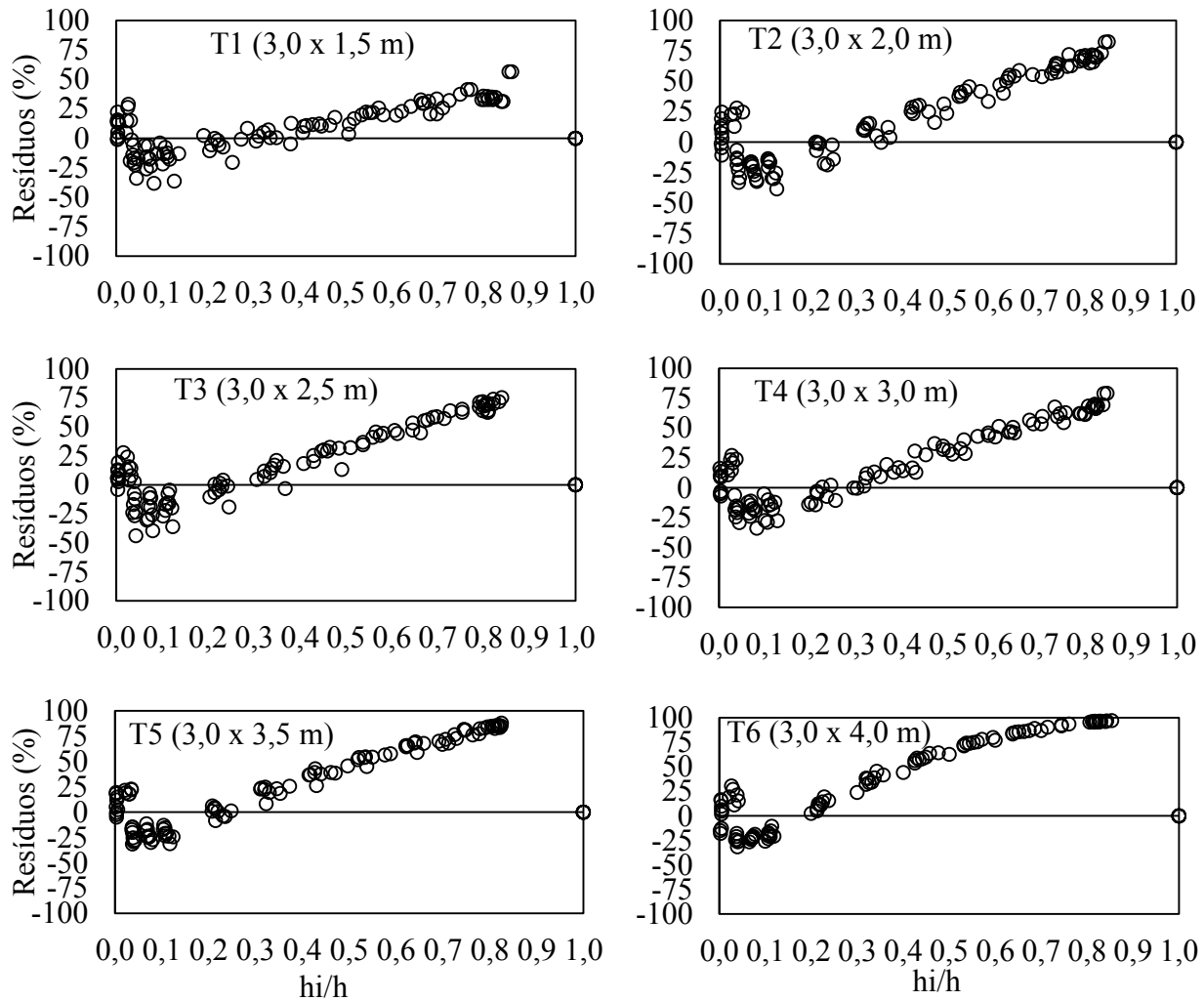


Figura 15. Dispersão dos resíduos para o modelo Demaerschalk na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 84,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.

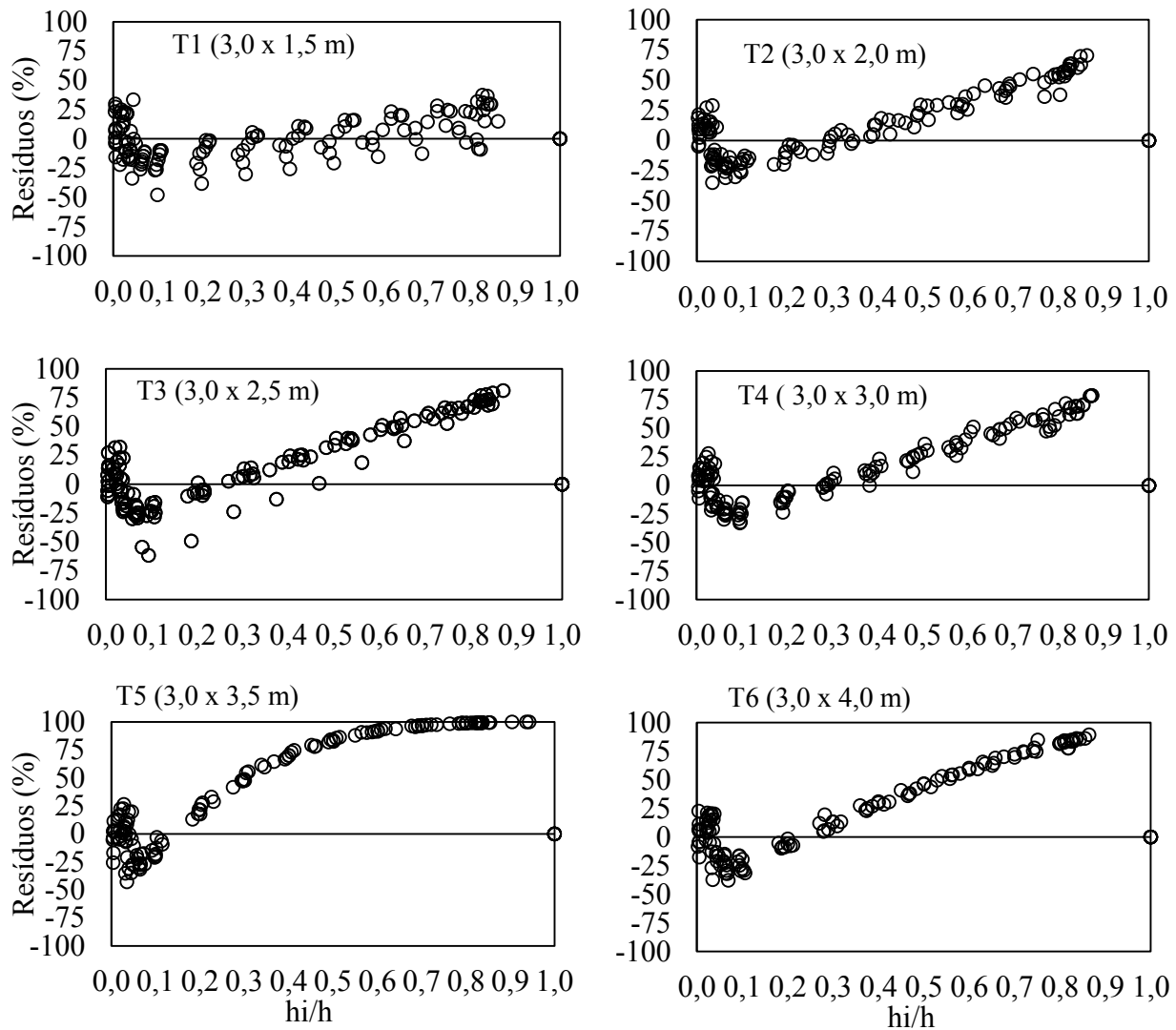


Figura 16. Dispersão dos resíduos para o modelo Demaerschalk na estimativa do diâmetro ao longo do fuste na idade de 99,7 meses para *Tachigali vulgaris* no distrito de Monte Dourado, município de Almeirim, estado do Pará.