

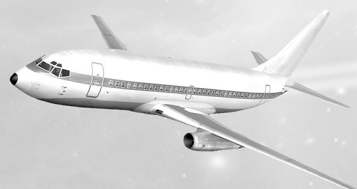
**ELÓI MARTINS SENHORAS
(ORGANIZADOR)**



A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO INTERDISCIPLINAR NAS CIÊNCIAS AMBIENTAIS 3

Atena
Editora
Ano 2020

**ELÓI MARTINS SENHORAS
(ORGANIZADOR)**



**A PRODUÇÃO
DO CONHECIMENTO
INTERDISCIPLINAR NAS
CIÊNCIAS AMBIENTAIS 3**

Atena
Editora
Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Karine de Lima

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloí Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
 Prof^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Prof^a Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Prof^a Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Prof^a Dr^a Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Prof^a Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P964 A produção do conhecimento interdisciplinar nas ciências ambientais
3 [recurso eletrônico] / Organizador Eloi Martins Senhoras. –
Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-86002-08-9

DOI 10.22533/at.ed.089200203

1. Agronomia – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente – Pesquisa –
Brasil. I. Senhoras, Eloi Martins.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A construção do campo de estudos em Ciências Ambientais tem passado por uma crescente produção incremental de pesquisas em diferentes partes do mundo em razão das rápidas transformações ambientais engendradas pelo homem, de modo que, no Brasil, esta dinâmica não tem sido diferente, razão pela qual o presente livro surge para ampliar os debates temáticos.

Esta obra, “A Produção do Conhecimento Interdisciplinar nas Ciências Ambientais 3”, dá continuidade aos esforços coletivos das obras anteriores, buscando dar voz a diferentes pesquisadores brasileiros com o objetivo de mostrar a riqueza analítica e propositiva de nossas pesquisas científicas nacionais frente a vários desafios ambientais.

Fruto de um trabalho coletivo de quarenta e quatro pesquisadores oriundos de dez estados brasileiros, de todas as cinco macrorregiões brasileiras, esta obra conjuga as contribuições oriundas de diferentes instituições público e privadas de ensino, pesquisa e extensão, findando valorizar as análises e debates no campo epistemológico de Ciências Ambientais.

O presente livro foi estruturado por meio de pesquisas que se caracterizaram quanto aos fins por estudos exploratórios, descritivos e explicativos, bem como por estudos quali-quantitativos em função das diferentes técnicas utilizadas nos procedimentos metodológicos de levantamento e análise de dados.

Organizado em quatro eixos temáticos, os dezesseis capítulos apresentados neste livro dialogam entre si por meio de análises laboratoriais, estudos de casos e discussões relacionadas às agendas ambientalistas, respectivamente da fauna e da flora, de resíduos sólidos urbanos, de análises de solos e sementes, bem como de análises físico-químicas da água.

No primeiro eixo, “Fauna e flora”, o livro apresenta os dois primeiros capítulos, os quais abordam como estudos de caso, a problemática do atropelamento de animais silvestres em rodovias e ferrovias, e, os esforços em termos de políticas e leis no combate à extração madeireira ilegal existentes no Brasil.

No segundo eixo, “Resíduos sólidos urbanos”, quatro capítulos abordam diferentes facetas sobre resíduos sólidos urbanos no país, por meio da análise da aplicação tecnológica para aproveitamento de pneus, análise territorial de resíduos em um município paranaense, análise do potencial de resíduos agroindustriais, assim como análise de monitoramento de aves dentro e no entorno de uma Central de Tratamento de Resíduos.

No terceiro eixo, “Análises de solos e sementes”, dois capítulos desenvolvem análises físico-químicas de solo a título de identificação da evolução do CO₂ e caracterização de atributos. Ademais, três capítulos realizam análises biométrica e hídrica de sementes e frutos, análise de potencialidade alelopática de sementes e um estudo de enriquecimento de banco de sementes para restauração em hora

agroecológica urbana.

No quarto eixo, “Análises físico-químicas da água”, os dois últimos capítulos deste livro apresentam discussões sobre estudos de casos desenvolvidos sobre avaliação de concentrações de metais pesados na água de um rio localizado no Maranhão e sobre gestão ambiental da água em uma instituição de ensino superior no Ceará.

Com base nas análises e discussões levantadas nos diferentes capítulos desta obra existe uma franca contribuição para o público geral ou especializado no entendimento de que o campo epistemológico das Ciências Ambientais é eclético, sendo conformado por diferentes matizes teórico-metodológicas que possuem o objetivo comum de explicar e propor melhorias sustentáveis aos desafios e complexidades do mundo real.

Em nome de todos os pesquisadores envolvidos neste livro, comprometidos com o desenvolvimento das Ciências Ambientais no Brasil, convidamos você leitor(a) para explorar conosco, neste rico campo científico, toda a riqueza empírica da nossa realidade ambiental, pois urge a necessidade de avançarmos nossa consciência ambiental.

Ótima leitura!

Elói Martins Senhoras

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A TEORIA DO DIREITO EM UMA PERSPECTIVA AMBIENTAL	
Laone Lago	
Wilson Madeira Filho	
Napoleão Miranda	
DOI 10.22533/at.ed.0892002031	
CAPÍTULO 2	15
FAUNA AMEAÇADA NAS RODOVIAS	
Elisângela de Albuquerque Sobreira	
Victória Sobreira Lage	
Rafael Sobreira Lage	
Gabriel Sobreira Lage	
DOI 10.22533/at.ed.0892002032	
CAPÍTULO 3	26
ILEGALIDADE NA EXPLORAÇÃO MADEIREIRA: ESFORÇOS DESENVOLVIDOS PELO BRASIL	
Alessandra Maria Filippin dos Passos	
DOI 10.22533/at.ed.0892002033	
CAPÍTULO 4	31
REVIEW: TECNOLOGIA E APLICAÇÃO PARA O APROVEITAMENTO DE PNEUS INSERVÍVEIS	
Andressa Lunardi	
Valéria Pian Silvestri	
Janaína Chaves Ortiz	
DOI 10.22533/at.ed.0892002034	
CAPÍTULO 5	40
ANÁLISE TERRITORIAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MATINHOS-PR	
Alexandre Dullius	
Maclovia Corrêa da Silva	
Luiz Everson da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.0892002035	
CAPÍTULO 6	55
POTENCIAL DOS RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO FONTES DE CARBONO PARA PRODUÇÃO DE INVERTASES POR FUNGOS	
Gabriela Furlaneto Sanchez de Sousa	
Andreza Gambelli Lucas Costa Nascimento	
Marina Kimiko Kadowaki	
DOI 10.22533/at.ed.0892002036	
CAPÍTULO 7	64
ANÁLISE DE METODOLOGIA DA CINÉTICA DE EVOLUÇÃO DO CO ₂ SOB INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E UMIDADE DO SOLO	
Amanda Silva De Medeiros	
Alécio Marcelo Lima Dos Santos	
Hélder Delano Barboza De Farias	
Pablio Henrique De Souza Lima	

Paulyanne Karlla Araújo Magalhães

Mayara Andrade Souza

DOI 10.22533/at.ed.0892002037

CAPÍTULO 8 79

MONITORAMENTO DA POPULAÇÃO DE *CORAGYPS ATRATUS* EM CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS E SEU ENTORNO

Evandro Roberto Tagliaferro

DOI 10.22533/at.ed.0892002038

CAPÍTULO 9 85

CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM ÁREAS SUBMETIDAS A DIFERENTES USOS NO NORDESTE PARAENSE

Bárbara Maia Miranda

Arystides Resende Silva

Gustavo Schwartz

Eduardo Jorge Maklouf Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.0892002039

CAPÍTULO 10 93

ATIVIDADE ALELOPÁTICA DE *NERIUM OLEANDER* L. E *DIEFFENBACHIA PICTA* SCHOTT EM SEMENTES DE *LACTUCA SATIVA* L. E *BIDENS PILOSA* L.

Luiz Augusto Salles das Neves

Raquel Stefanello

Kelen Haygert Lencina

DOI 10.22533/at.ed.08920020310

CAPÍTULO 11 105

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA ESTIMAÇÃO DE DIÂMETROS DE *TECTONA GRANDIS* L.F.

Izabel Passos Bonete

Luciano Rodrigo Lanssanova

DOI 10.22533/at.ed.08920020311

CAPÍTULO 12 119

ANÁLISE QUANTITATIVA BIOMÉTRICA E HÍDRICA DOS FRUTOS E SEMENTES DA ESPÉCIE *DELONIX REGIA* (BOGER EX HOOK) RAF.

Juliana Fonseca Cardoso

Gesivaldo Ribeiro Silva

Eliane Francisca Almeida

Antônio Pereira Júnior

DOI 10.22533/at.ed.08920020312

CAPÍTULO 13 131

ENRIQUECIMENTO DO BANCO DE SEMENTES DO SOLO COM SEMENTES FLORESTAIS PARA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA EM HORTA AGROECOLÓGICA URBANA, PELOTAS, RS

Tiago Schuch Lemos Venzke

DOI 10.22533/at.ed.08920020313

CAPÍTULO 14 143

AVALIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DOS METAIS PESADOS NA ÁGUA SUPERFICIAL DO RIO SANTO ANTONIO, BRASIL

Neemias Muniz de Souza

Joveliane de Melo Monteiro
Wallace Ribeiro Nunes Neto
Erika Luana Lima Durans
Leila Cristina Almeida Sousa
Luís Claudio Nascimento da Silva
Adriana Sousa Rêgo
Flor de Maria Araujo Mendonça Silva
Andrea de Souza Monteiro
Rita de Cassia Mendonça de Miranda
Darlan Ferreira da Silva
Maria Raimunda Chagas Silva

DOI 10.22533/at.ed.08920020314

CAPÍTULO 15 154

GESTÃO AMBIENTAL DA ÁGUA ATRAVÉS DA ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA NUMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR NO SERTÃO CENTRAL DO CEARÁ

Danielle Rabelo Costa
Sérgio Horta Mattos
Marcos James Chaves Bessa
Valter de Souza Pinho

DOI 10.22533/at.ed.08920020315

CAPÍTULO 16 163

CARACTERIZAÇÃO DO POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH) DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DA MÉSOREGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM

Francisca Mariane Martins Araújo
Marcos Daniel das Neves Sousa
Ingryd Rodrigues Martins
Isabelly Silva Amorim
Danyelly Silva Amorim
Elane Giselle Silva dos Santos
Xenna Tiburço
Maria Renara Alves Rodrigues
Jamille de Sousa Monteiro
Tatiana Cardoso Gomes
Kássia Rodrigues da Costa Sena
Giovanna Gabriela Silva Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.08920020316

SOBRE O ORGANIZADOR..... 170

ÍNDICE REMISSIVO 171

REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA ESTIMAÇÃO DE DIÂMETROS DE *Tectona grandis* L.f.

Data de submissão: 04/02/2020

Data de aceite: 18/02/2020

Izabel Passos Bonete

Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati,
Paraná, Brasil – ipbonete@unicentro.br*

Luciano Rodrigo Lanssanova

Instituto Federal do Mato Grosso, Juína, Mato
Grosso, Brasil - luciano.lanssanova@jna.ifmt.edu.
br

RESUMO: Este estudo buscou comparar Redes Neurais Artificiais (RNAs) e funções de afilamento na descrição do perfil do fuste de *Tectona grandis*, utilizando-se de dados amostrais de 246 árvores. Primeiramente, foram ajustadas quatro funções de afilamento, de diferentes classes: não segmentada (NS), segmentada (S) e forma variável (FV). Para o ajuste dos modelos, foi utilizada a técnica de regressão linear (*lm*) e a técnica de regressão não linear (*nls*) implantadas no *software* R. As equações ajustadas foram comparadas com RNAs, geradas no *software* Neuro 4.0. Os modelos foram classificados conforme critérios estatísticos e análise gráfica de resíduos. As metodologias testadas mostraram-se eficientes para atingir os objetivos propostos. A equação de afilamento de FV de Kozak (2004) foi

mais acurada que as equações do tipo NS e S, apresentando melhor desempenho para estimativas de diâmetros sem estratificação do fuste. As RNAs apresentaram resultados satisfatórios, indicando serem adequadas e acuradas para a estimativa proposta e, dentre as redes, a RNA 4 foi a que apresentou melhores resultados. Embora tenha-se observado similaridade da RNA4, com os resultados obtidos com a função de afilamento de Kozak (2004), na análise gráfica de resíduos, a RNA 4, mostrou-se menos tendenciosa à superestimação e a subestimação dos diâmetros na porção superior do fuste, estimando os diâmetros nesta porção, com maior acuracidade.

PALAVRAS-CHAVE: Manejo Florestal; afilamento; diâmetros ao longo do fuste.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN ESTIMATING DIAMETERS OF *Tectona grandis* L.f.

ABSTRACT: This study sought to compare Artificial Neural Networks (ANNs) and tapering functions in the description of the *Tectona grandis* stem profile, using sample data from 246 trees. First, four taper functions of different classes were adjusted: non-segmented (NS), segmented (S) and variable shape (FV). For the adjustment of the models, the linear regression technique (*lm*) and the nonlinear regression

technique (nls) implemented in software R were used. The adjusted equations were compared with ANNs, generated in the Neuro 4.0 software. The models were classified according to statistical criteria and graphical analysis of residues. The tested methodologies proved to be efficient to achieve the proposed objectives. Kozak's FV tapering equation (2004) was more accurate than the NS and S type equations, presenting better performance for diameter estimates without stratification of the shaft. The ANNs presented satisfactory results, indicating that they were adequate and accurate for the proposed estimate and, among the networks, the ANN 4 was the one that presented the best results. Although similarity of RNA 4 was observed, with the results obtained with the tapering function of Kozak (2004), in the graphical analysis of residues, RNA 4 was less prone to overestimation and underestimation of diameters in the upper portion the shaft, estimating the diameters in this portion, with greater accuracy.

KEYWORDS: Forest Management; tapering; diameters along the shaft.

INTRODUÇÃO

Estudos sobre técnicas de manejo florestal que garantam o máximo retorno financeiro dos multiprodutos advindos da madeira são fundamentais para as empresas do setor florestal. Nesta perspectiva, o conhecimento do ritmo de crescimento e da forma das árvores, bem como dos fatores que afetam essas variáveis, estimularam o surgimento de diversos modelos matemáticos capazes de representar com acuracidade os perfis dos fustes, tornando-se uma ferramenta fundamental para os gestores florestais.

Na literatura são encontradas uma ampla gama de funções de afilamento, apresentando formas distintas e complexidades diversas, sendo classificadas, conforme se apresentam, geralmente em, não segmentadas, que descrevem a mudança de diâmetro do solo ao topo da árvore com uma única função (CAMPOS e LEITE, 2009); segmentadas, que dividem a árvore em dois ou mais segmentos com auxílio de pontos de inflexão (MÔRA, 2015) e, as de forma variável ou expoente variável, que descrevem o afilamento das árvores com uma função contínua, utilizando um expoente que varia para compensar as mudanças na forma do tronco nas diferentes seções da árvore (YANG *et al.*, 2009).

Contudo, a proposta de inclusão de novas metodologias ou modelos que estimem o perfil do fuste da árvore e, conseqüentemente, o estoque volumétrico, ainda se faz necessária, pois apesar de alguns modelos terem sua eficácia consagrada, nenhum apresenta melhor desempenho para todas as espécies e condições a que estão sujeitos os plantios.

Nessa expectativa, Schikowski *et al.* (2015) mencionam que os métodos indiretos para estimativas de variáveis, são modelos rígidos e sem flexibilidade e, com o avanço da ciência da computação, vem ganhando espaço no campo da estimação o uso de

Redes Neurais Artificiais (RNAs) ou simplesmente redes neurais, definidos como sistemas computacionais que geram estimativas por meio de técnicas não paramétricas

Haykin (2001) define rede neural artificial como uma máquina constituída de unidades de processamento simples (neurônios artificiais), interligados maciçamente e distribuídos em uma ou mais camadas paralelas, projetada para realizar uma tarefa de forma idêntica ao cérebro humano.

De acordo com Vendrusculo *et al.* (2015), até há cerca de três décadas atrás, a expressão 'redes neurais artificiais' era considerada rara na literatura científica. Atualmente, representam uma próspera área de pesquisa multidisciplinar, constituindo-se numa hipótese para o estudo de diversos fenômenos, inclusive em manejo e mensuração florestal.

Como método estimativo na ciência florestal brasileira, o uso das RNAs ainda é recente, porém diferentes tópicos vêm sendo investigados, testando a eficiência das RNAs. Entre outros, em estimativas do volume individual (BINOTI *et al.*, 2014; RIBEIRO *et al.*, 2016, LACERDA *et al.*, 2017), de altura (BINOTI *et al.*, 2013; VENDRUSCOLO *et al.*, 2015, LEITE *et al.* 2016), do diâmetro relativo e estudo da forma (SOARES *et al.*, 2013; MENDONÇA *et al.*, 2015; SCHIKOWSKI *et al.*, 2015; VENDRUSCOLO *et al.*, 2016; MARTINS *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2016; CAMPOS *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2017), do diâmetro e altura (VIEIRA *et al.*, 2018), em crescimento e produção (CASTRO *et al.*, 2013; BINOTI *et al.*, 2015).

Modelos de RNAs tem se apresentado superiores aos modelos de regressão linear ou não linear, devido à sua capacidade para superar problemas em dados da floresta, como relações não lineares, distribuição não Gaussiana, multicolinearidade, *outliers* e ruídos nos dados, problemas esses que a rigidez dos modelos convencionais não consegue abranger e modelar adequadamente, além da possibilidade e facilidade de inclusão de variáveis categóricas no modelo (DIAMANTOPOULOU, 2005; SCHIKOWSKI *et al.*, 2015).

Uma das grandes vantagens do uso de RNA para a ciência florestal, é que elas possibilitam a utilização de variáveis que podem ser valores numéricos como idade, área basal, *dap*, altura total, volume e variáveis categóricas que podem ser transformadas em números, como classe de solo, tipos de espaçamento, entre outras (VENDRUSCULO *et al.*, 2015).

Nessa perspectiva, avaliar diferentes metodologias na descrição do perfil de fustes de espécies como a teca (*Tectona grandis* L.f.), uma espécie originária da Ásia que devido ao seu rápido crescimento inicial em altura e formação de fuste retilíneo, tem ganhado destaque mundial devido as suas características para a construção civil, naval e fabricação de móveis de luxo (LEITE *et al.*, 2011), garante a maximização do valor financeiro dos multiprodutos advindos da sua madeira.

Assim, esse estudo tem por objetivo utilizar redes neurais artificiais na estimação de diâmetros de fustes de *Tectona grandis* e comparar o desempenho dessa ferramenta em relação a funções de afilamento convencionais utilizadas na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados são provenientes de um plantio de teca (*Tectona grandis*), de propriedade da empresa Berneck, localizada no município de Brasnorte-MT. A região possui clima Equatorial quente e úmido, com temperatura entre 4°C a 40°C, dependendo da época do ano, chuvas entre os meses de novembro a março e precipitação média anual de 2.250 mm.

Foram utilizados dados resultantes da cubagem de 246 indivíduos de *Tectona grandis* com idades entre 5 a 24 anos. A cubagem das árvores foi feita pelo método da altura relativa, tomando-se as medidas dos diâmetros a 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 15%, 25%, 35%, 45%, 55%, 65%, 75%, 85% e 95%, da altura total do fuste.

A análise estatística descritiva das variáveis é apresentada na Tabela 1.

Estatísticas	Mínimo	Média	Máximo	DP	CV%
<i>d</i>	13,37	24,75	42,05	5,15	20,81
<i>h</i>	9,80	15,63	25,00	3,01	19,27

Tabela 1. Análise estatística descritiva do diâmetro a 1,3 m do solo (*d*) e da altura total (*h*) para os 246 indivíduos mensurados.

Em que: DP= desvio padrão; CV% = coeficiente de variação; *d* = Diâmetro a 1,3 m do solo (cm); *h* = Altura total (m)

Na sequência, foi realizado o ajuste de quatro modelos de afilamento para estimar os diâmetros ao longo do fuste para o conjunto total de dados, sendo os modelos não segmentados de Schöpfer (1966) e de Hradetzsky (1976), o modelo segmentado de Max e Burkhardt (1976) e o modelo de forma variável de Kozak (2004) (Tabela 2).

Funções não segmentadas	
Autor (ano de publicação)	Modelo
Schöpfer (1966) Polinômio do 5º grau	$\frac{d_i}{d} = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 X^2 + \beta_3 X^3 + \beta_4 X^4 + \beta_5 X^5 + \varepsilon$
Hradetzsky (1976) Hradetzsky	$\frac{d_i}{DAP} = \beta_0 + \beta_1 (X_{ij})^{p_1} + \beta_2 X_{ij}^{p_2} + \beta_3 X_{ij}^{p_3} + \dots + \beta_n X_{ij}^{p_n} + \varepsilon_i$
Max e Burkhardt (1976) Max-Burkhardt	$d_i = d \cdot (\beta_1 (X - 1) + \beta_2 (X^2 - 1) + \beta_3 (\alpha_1 - X)^2 I_1 + \beta_4 (\alpha_2 - X)^2 I_2)^{0.5} + \varepsilon$ $I_1 = \begin{cases} 1 & \text{se } X \leq \alpha_1 \\ 0 & \text{se } X > \alpha_1 \end{cases} \quad I_2 = \begin{cases} 1 & \text{se } X \leq \alpha_2 \\ 0 & \text{se } X > \alpha_2 \end{cases}$
Kozak (2004) Kozak.04	$d_i = \beta_0 d^{\beta_1} h^{\beta_2} \left(\frac{1 - X^{1/3}}{1 - \left(\frac{1.3}{h}\right)^{1/3}} \right)^{\left[\beta_3 X^4 + \beta_4 \left(\frac{d_i}{h} \right)^{\beta_5} \left(\frac{1 - X^{1/3}}{1 - \left(\frac{1.3}{h}\right)^{1/3}} \right) + \beta_6 (1/d) + \beta_7 h^{1 - X^{1/3}} + \beta_8 \left(\frac{1 - X^{1/3}}{1 - \left(\frac{1.3}{h}\right)^{1/3}} \right) \right]} + \varepsilon$

Tabela 2: Funções de afilamento selecionadas para o estudo

Em que: *d* = DAP = diâmetro à altura do peito com casca (cm); *h* = altura total (m); *h_i* = altura (m) da base do fuste até o diâmetro *d_i*; *d_i* = diâmetro (cm) com casca a uma altura *h_i*; *X* = *h_i*/*h*; β_i = coeficientes dos modelos

a serem estimados; a_i = pontos de inflexão estimados no modelo segmentado de Max e Burkhart; ε = erro aleatório.

Os modelos de Schöepfer, Max e Burkhart e Kozak foram ajustados em função da variável dependente diâmetro (d_i), por meio da técnica de ajuste não linear que utiliza o método dos mínimos quadrados (*nls* ou *non-linear least square*), cujos parâmetros são estimados por aproximação linear. Tal técnica obtém os coeficientes médios (coeficientes fixos) dos modelos por processo iterativo, utilizando a função *nls*, implementada na base do software R por meio do algoritmo de Gauss-Newton.

O modelo de Hradetzky foi ajustado na sua forma original por regressão linear múltipla. Para a seleção das potências do modelo de Hradetzky foi utilizado o processo de regressão “passo-a-passo” (“stepwise”), utilizando o Critério de Informação de Akaike (AIC) para inserir e eliminar variáveis. As potências utilizadas foram: 0,005; 0,09; 0,08; 0,07; 0,06; 0,05; 0,04; 0,03; 0,02; 0,01; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 1; 2; 3, 4, 5; 10; 15; 20 e 25.

A significância dos coeficientes das equações foi avaliada utilizando-se o teste t, a um nível de significância de 5%.

Para as estimativas de diâmetros por redes neurais artificiais (RNAs) foi utilizado o *software* Neuro 4.0 com configurações de redes do tipo *Perceptron de Múltiplas Camadas* (MLP), tendo como arquitetura genérica uma camada de entrada com tantos neurônios quanto foram o número de variáveis consideradas; uma camada oculta com n neurônios e uma camada de saída com apenas um neurônio, estimando os diâmetros com casca (dcc) nas estimativas de diâmetros.

No ajuste das redes, os dados foram divididos, aleatoriamente, em duas partes: 70% para treinamento das redes e 30% para validação. Para Binoti et al. (2015), o procedimento de validação verifica a capacidade de uma rede neural produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento. O *software* Neuro 4.0, foi desenvolvido pelo projeto *Neuro Dap*, cuja finalidade é treinar e aplicar Redes Neurais Artificiais.

A variação na arquitetura da rede foi realizada testando-se diferentes números de neurônios na camada oculta, com variação entre 1 e 15 neurônios. Para a definição do número ideal de neurônios da camada oculta, observou-se a ineficiência ou a não capacidade de ajuste da rede quando na presença de poucos neurônios na camada intermediária, bem como valores baixos da raiz quadrada do erro médio (RQEM) no treinamento e valor crescente da RQEM na validação, quando na presença de muitos neurônios na camada oculta.

O tipo de treinamento nas RNAs foi o *Resilient Propagation*, na variação RPROP+, por ser um algoritmo eficiente para aplicações de taper (BINOTI *et al.*, 2014; SCHIKOWSKI *et al.*, 2015; MARTINS *et al.*, 2016). Foi avaliada a função de ativação sigmoidal na camada oculta e na camada de saída.

Os dados foram normalizados pela função ‘normalização’ do *software* Neuro

4.0, de tal forma que os valores de todas as variáveis fiquem contidas no intervalo [0,1]. De modo a selecionar a melhor rede gerada em cada configuração, resultante da combinação de variáveis de entrada, estas foram avaliadas pelo coeficiente de correlação entre os valores observados e estimados ($r_{y\hat{y}}$) e pela raiz quadrada do erro médio (RQEM) obtidos no treinamento por meio do *software* Neuro 4.0.

Como critério de parada do treinamento das redes foi adotada a formatação padrão do programa *Neuro* 4.0, em que a RNA interrompe o ajuste dos pesos ao atingir o erro médio de 0,0001 ou 3.000 ciclos de treinamento.

A qualidade dos ajustes dos modelos e das redes foi avaliada utilizando indicadores de ajuste como a correlação de Pearson ($r_{y\hat{y}}$) entre os valores observados e preditos (1), juntamente com a raiz quadrada do erro médio (RQEM%) (2), bem como a análise gráfica dos resíduos.

$$r_{Y\hat{Y}} = \frac{n \left(\sum_{i=1}^n y_i \hat{y}_i - \sum_{i=1}^n y_i \cdot \sum_{i=1}^n \hat{y}_i \right)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n \hat{y}_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n \hat{y}_i \right)^2}} \quad (1)$$

$$RQEM\% = \frac{100}{\bar{y}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}} \quad (2)$$

Em que: y_i = valores observados; \hat{y}_i = valores estimados; \bar{y}_i = média dos valores da variável dependente e n é o total de observações.

Para a construção dos gráficos de resíduos, os resíduos percentuais (Res%) plotados em função do DAP, foram calculados pela relação:

$$Res\% = \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{Y_i} \cdot 100 \quad (3)$$

em que: Y_i = valor observado; \hat{Y}_i = valor estimado.

Binoti (2010) menciona que a correlação entre valores observados e estimados ($r_{y\hat{y}}$) indica o grau de associação entre as duas variáveis e, juntamente com a análise de resíduos permite inferir sobre a qualidade da estimação, sendo maior a correlação quanto mais próximo $r_{y\hat{y}}$ estiver de 1. Já a raiz quadrada do erro médio (RQEM) avalia a diferença quadrática média entre os valores observados e os valores estimados. A RQEM% é utilizada para medir o desempenho global do ajuste e segundo Campos e Leite (2009), quanto menor o valor de RQEM%, mais confiável é o modelo ajustado.

A análise gráfica dos resíduos consiste na dispersão dos erros percentuais em

relação aos valores observados permitindo visualizar os erros de tendência, que não foram encontrados com a utilização de estatísticas de precisão.

Critérios estatísticos obtidos a partir dos resíduos também foram calculados, como o desvio ou viés (D); o desvio padrão das diferenças (SD), a soma do quadrado do resíduo relativo (SQRR) e porcentagem dos resíduos (RP), obtidas por meio das equações (4), (5), (6) e (7):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (4)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)\right)^2}{n}}{n-1}} \quad (5)$$

$$SQRR = \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)^2 \quad (6)$$

$$RP = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right)}{n} * 100 \quad (7)$$

Em que: y_i = valores observados; \hat{y}_i = valores estimados; n é o total de observações.

Schikowski *et al.* (2015) referem que essas estatísticas são complementares e esclarecem que esse procedimento deve ser adotado, pois os indicadores de ajustamento avaliam se os ajustes das funções de afilamento são satisfatórios, ao passo que as estatísticas adicionais são calculadas para os resíduos de todas as seções relativas da cubagem.

Os modelos e as redes foram ordenados em relação às estatísticas citadas, a fim de definir qual obteve o melhor desempenho em média na avaliação proposta. Esta análise foi realizada por atribuição de notas, sendo a menor nota dada ao melhor modelo da referida estatística. Portanto, o que apresentou o menor somatório foi considerado o de melhor desempenho.

A análise gráfica dos resíduos teve por objetivo ratificar a decisão do ranqueamento, bem como identificar possíveis tendências ao longo da linha estimativa.

RESULTADOS E DISCUSSAO

Na Tabela 3 são apresentados os coeficientes dos modelos propostos, bem como as potências selecionadas pelo método *stepwise* para o modelo de Hradetzsky e, a arquitetura das redes neurais testadas, juntamente com as variáveis de entrada

no modelo.

Em relação à significância dos coeficientes estimados no ajuste dos modelos, apenas o modelo de forma variável de Kozak (2004), não apresentou todos os coeficientes significativos pelo teste t ($\alpha = 5\%$).

Em relação as RNAs para estimativas de diâmetros ao longo do fuste, foram geradas 600 redes neurais (4 configurações x 15 arquiteturas em cada configuração x 10 redes para cada arquitetura). No conjunto total das redes geradas, foram observadas redes ineficientes quando na presença de poucos neurônios na camada intermediária, bem como redes com baixos valores da raiz quadrada do erro médio percentual (RMSE%) no treinamento, porém valor crescente da RMSE% na generalização, quando na presença de muitos neurônios na camada oculta.

Modelos									
Modelo 1: Shöepfer (1966)									
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5			
C	1,245	-4,812	22,684	-51,165	51,361	-19,151			
Modelo 2: Hradetzky (1976)									
PS	-	0,005	0,01	0,6	2	5			
C	-868,20	1801,66	-933,30	0,756	-0,628	-0,053			
Modelo 3: Max-Burkhart (1976)									
	α_1	α_2	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4		
C	0,037	0,238		-0,478	-0,379	297,326	7,413		
Modelo 4: Kozak (2004)									
	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8
C	1,021	0,957	0,044	0,119	0,122	0,337	-0,440n.s.	0,016	-0,002n.s.
RNAs									
		RNA 1	RNA 2	RNA3	RNA4				
Variáveis de entrada		dap; hi/ht	dap;ht; hi	dap; hi/ht; (hi/ht) ₂	dap; hi; ht; hi/ht;				
Arquitetura		2.9.1	3.9.1	3.8.1	4.10.1				

Tabela 3. Coeficientes estimados no ajuste das funções de afilamento e redes neurais treinadas para *Tectona grandis* L.f.

Em que: C = coeficientes; PS = potências selecionadas; β_i = coeficientes estimados; α_i = pontos de inflexão do modelo segmentado.

Com base no coeficiente de correlação entre os diâmetros observados e estimados (r_{yy}), bem como na raiz quadrada do erro médio percentual (RMSE%) obtidos no treino e na generalização e, na análise gráfica dos resíduos percentuais, disponibilizados pelo *software* Neuro 4.0, foi eleita a melhor rede de cada arquitetura e, posteriormente, a melhor rede de cada configuração, reduzindo para quatro, o número de redes com características adequadas para estimativas de diâmetros.

Utilizando as equações ajustadas e as redes treinadas, foram estimados os diâmetros d_i , com casca, nas alturas h_i dos fustes, para o conjunto total de dados. Os resultados apresentados foram satisfatórios, indicando que, tanto as equações, quanto

as redes são eficientes para explicar, adequadamente, as estimativas de diâmetro ao longo do fuste de *Tectona grandis* (Tabela 4).

Tipo		ry \hat{y}	RQEM%	D	SD	SQRR	RP	C	CG
Modelos	1	0,9782(4)	8,38(4)	0,062(2)	1,763(4)	52,370(4)	-0,518(2)	3	5
	2	0,9803(2)	7,99(2)	-0,071(3)	1,681(2)	53,320(3)	-1,233(4)	2	4
	3	0,9798(3)	8,14(3)	0,107(4)	1,711(3)	51,183(2)	0,372(1)	2	4
	4	0,9807(1)	7,84(1)	0,005(1)	1,651(1)	50,800(1)	-1,015(3)	1	1
Redes	1	0,9810(3)	7,81(3)	0,019(3)	1,643(3)	50,285(2)	-1,054(1)	3	3
	2	0,9815(2)	7,69(2)	-0,006(1)	1,619(2)	50,780(3))	-1,293(4)	2	2
	3	0,9805(4)	7,90(4)	0,020(4)	1,662(4)	51,641(4)	-1,175(3)	4	6
	4	0,9816(1)	7,66(1)	0,014(2)	1,612(1)	48,221(1)	-1,067(2)	1	1

Tabela 2. Estatísticas das equações ajustadas e das redes treinadas para avaliar as estimativas de diâmetros ao longo do fuste para *Tectona grandis* L.f.

Em que: ry \hat{y} = Coeficiente de Correlação entre diâmetros observados e estimados; RMSE% = Raiz Quadrada do Erro Médio Percentual; D = desvio; SD = desvio padrão das diferenças; SQRR = soma do quadrado do resíduo relativo; RP = porcentagem dos resíduos; C = classificação por tipo; CG = classificação geral.

O polinômio do quinto grau (Modelo 1), apesar de apresentar valores do coeficiente de correlação entre os diâmetros observados e estimados (r_{yy}) superior a 0,95 e, raiz quadrada do erro médio (RQEM%) abaixo de 10%, resultados estes, considerados aceitáveis, conforme Figueiredo et al. (2006), foi o modelo que apresentou os piores resultados em relação aos demais, ocupando assim, a quarta posição no *ranking*. Esse resultado corroborou com os estudos sobre perfil de fustes para *Tectona grandis* de Favalessa et al. (2012), Figueiredo et al. (2006) e Lansanova et al. (2019).

Assim como em Figueiredo et al. (2006), o modelo de Hradetzsky (1976) apresentou resultados estatísticos intermediários. Apesar de apresentar estatísticas mal pontuadas, os valores das estatísticas que receberam notas 2 e 3 permitiram constatar que o modelo foi superior ao modelo Schöepfer (1966) e, embora tenha se classificado na mesma posição com o modelo de Max-Burkhart na classificação geral, em termos de coeficiente de correlação e raiz quadrada do erro médio, o modelo de Hradetzsky apresentou melhor pontuação.

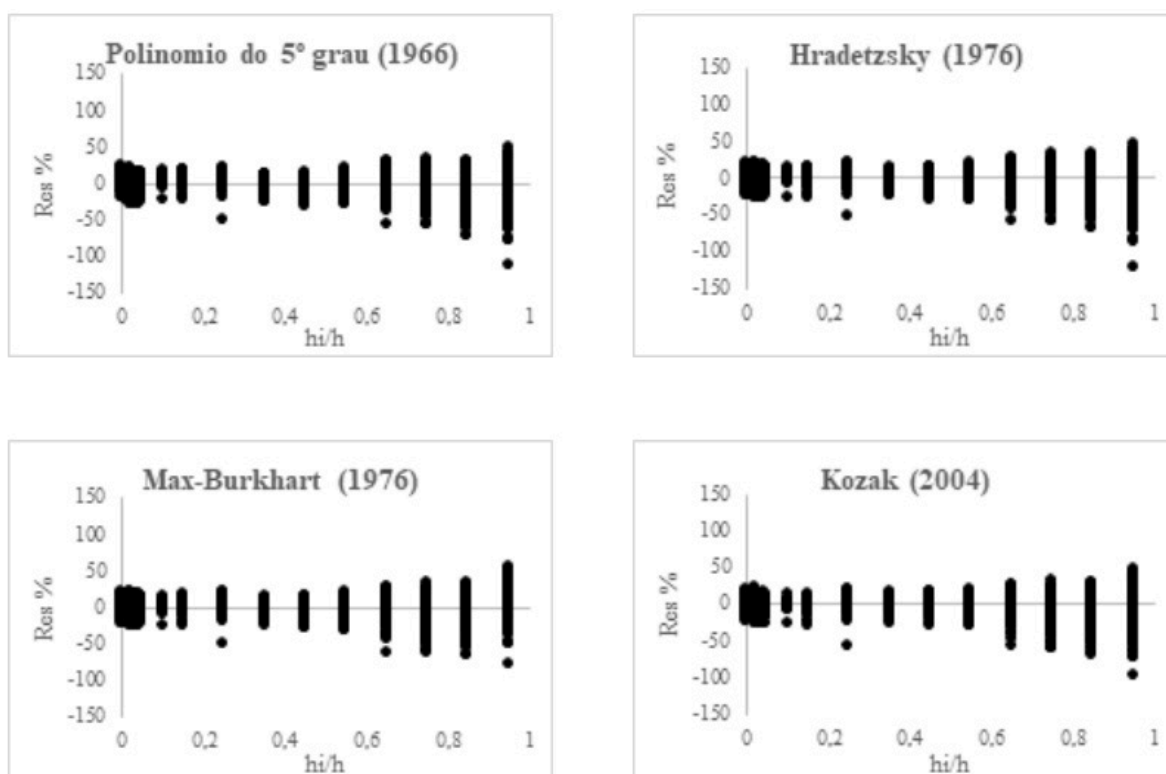
As estimativas obtidas com a equação FV de Kozak (2004) foram superiores aos demais modelos, em relação aos parâmetros estatísticos testados, indicando ser mais eficiente para descrever o afilamento dos fustes de *Tectona grandis*. Vieira Terra e Andrade (2019) avaliaram cinco modelos estatísticos, entre eles, Kozak (2004) para descrever o perfil do tronco do clone de eucalipto GG100 no Tocantins, Brasil e concluíram que o modelo de forma variável de Kozak (2004) foi o que apresentou melhor ajuste para descrever o perfil do tronco com e sem casca de árvores individuais do referido clone. Rojo et al. (2005), testando trinta e um modelos de afilamento para *Pinus pinaster* Ait., no Norte Ocidental da Espanha, verificaram que o modelo de Kozak (2004), também forneceu estimativas acuradas para os diâmetros ao longo do fuste da espécie estudada.

Em relação as RNAs, constatou-se desempenho semelhante ao obtido com as funções de afilamento para estimativas de diâmetros ao longo do fuste para *Tectona grandis*. Apenas a RNA 3 apresentou resultados inferiores as demais redes e as funções de afilamento propostas, ocupando a última posição no *ranking*. A RNA 4 e o modelo de Kozak (2004), embora tenham ocupado a primeira posição na classificação final, observou-se que a RNA 4 apresentou melhores resultados nas estatísticas r_{yy} , RQEM%, SD e SQRR. Na estatística RQEM%, essa diferença indica uma melhora de 2,3%, o que equivale a uma redução de pequena magnitude no valor da referida estatística (0,18 pontos percentuais).

Os gráficos de resíduos das equações de afilamento e das redes neurais ajustadas (Figura 1), demonstraram homogeneidade dos resíduos na porção basal e intermediária do fuste, característica esta, desejável para estimativas de sortimentos florestais.

Constatou-se grande semelhança nos gráficos, inclusive com maiores amplitudes dos erros, à medida que os diâmetros se aproximam do ápice, onde ocorrem os menores diâmetros. Kohler *et al.* (2013) esclareceram que, na medida em que esses diâmetros têm pouca influência na estimativa do volume comercial, tendências à subestimação ou superestimação desses diâmetros podem ser consideradas irrelevantes.

A equação de forma variável de Kozak (2004) e a RNA 4, classificadas no *ranking* como os de melhores desempenhos, apresentaram variação residual de -99% a +47% e -90% a +44%, respectivamente, indicando que a RNA 4 foi menos tendenciosa à superestimação e a subestimação dos diâmetros na porção superior do fuste, que a equação de Kozak (2004), estimando os diâmetros nesta porção, com maior acuracidade.



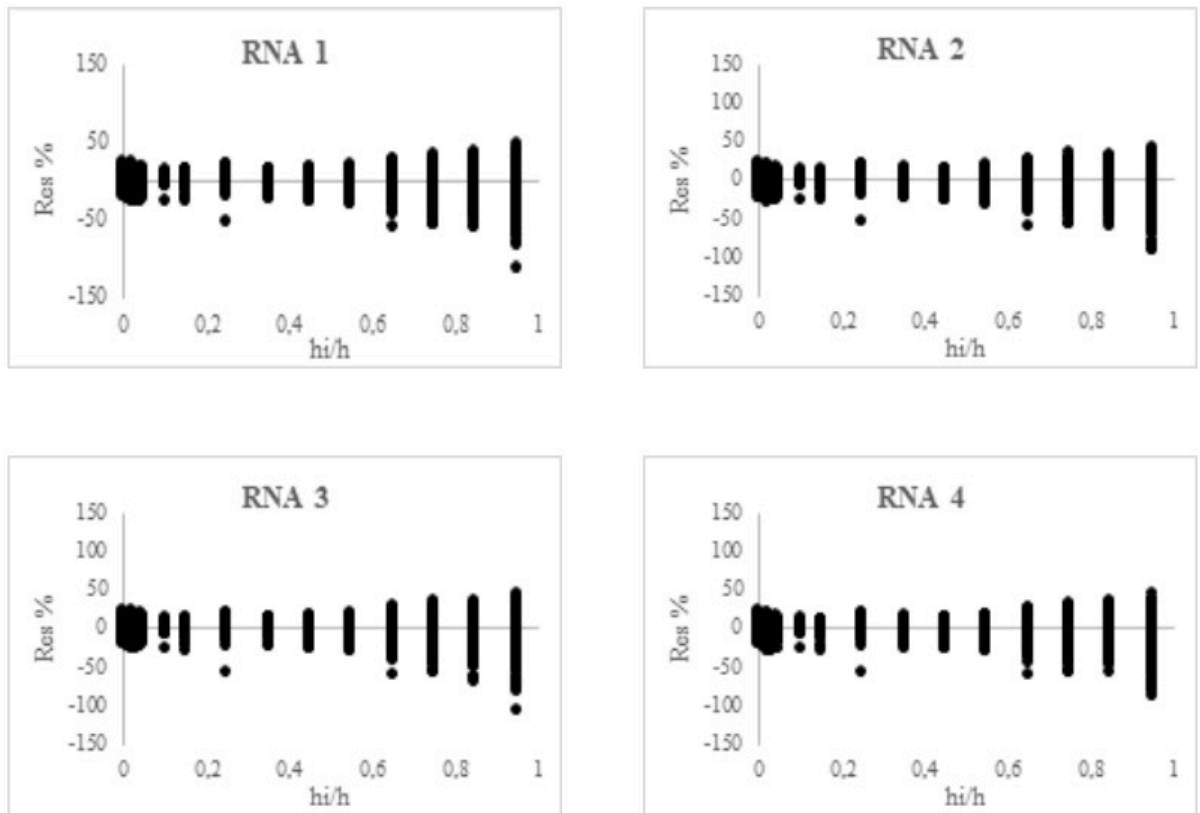


Figura 1. Resíduos (%) em função de hi/h para estimativas de diâmetros ao longo do fuste para *Tectona grandis*.

Com o avanço da tecnologia, a descrição do perfil dos fustes utilizando essas técnicas inovadoras, não é mais uma dificuldade, entretanto, sua aplicação ainda é muito incipiente, exigindo mais estudos para torná-las usuais.

Desse modo, as funções de afilamento de forma variável e as RNAs podem ser consideradas ferramentas úteis para a estimativa do diâmetro ao longo do fuste de árvores para *Tectona grandis*, desempenhando, assim, suporte para a tomada de decisão no manejo da espécie.

CONCLUSÕES

- A função de afilamento de forma variável de Kozak (2004) foi mais acurada nas estimativas dos diâmetros ao longo do fuste para *Tectona grandis*, em relação ao ajuste realizado pelas funções segmentadas e não segmentadas.
- A RNA 4 apresentou desempenho semelhante à equação de Kozak (2004), indicando que as RNAs também são eficientes para descrever o perfil de fustes de árvores de *Tectona grandis* para a área de estudo.

REFERÊNCIAS

- BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M. Prognose em nível de povoamento de clones de eucalipto empregando redes neurais artificiais. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 97-105, 2015.
- BINOTI, D. H. B.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do volume de árvores. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 5, n. 1, p. 58-67, 2014.
- BINOTI, M.L.M.S.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. L. Aplicação de redes neurais artificiais para estimação da altura de povoamentos equiâneos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.4, p.639-645, 2013.
- BINOTI, M. L. M. S. **Redes Neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 64f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2010.
- CAMPOS, B. P. F.; SILVA, G. F.; BINOTI, D. H. B.; MENDONÇA, A. R.; LEITE, H. G. Descrição do perfil do tronco de árvores em plantios de diferentes espécies por meio de Redes Neurais Artificiais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 37, n. 90, p. 99-107, 2017.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3.ed., Viçosa: Editora UFV, 2009. 548p.
- CASTRO, R. V. O.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. de; NOGUEIRA, G. S.; MARTINS, F. B. Individual Growth Model for Eucalyptus Stands in Brazil Using Artificial Neural Network. **ISRN Forestry**. V. 2013, Article ID 196832, 12 pages.
- DIAMANTOPOULOU, M. J. Artificial neural networks as an alternative tool in pine bark volume estimation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 48, n. 3, p. 235-244. 2005.
- FAVALESSA, C. M.; UBIALLI, J. A.; CALDEIRA, S. F. DRESCHER, R. **Funções de afilamento não segmentadas e segmentadas para *Tectona grandis* na região centro-sul mato-grossense**. *Pesq. flor. bras.*, Colombo, v. 32, n. 72, p. 373-387, 2012.
- FIGUEIREDO, E. O.; SCOLFORO, J. R. S; OLIVEIRA, A. D. Seleção de modelos polinomiais para representar o perfil e volume do fuste de *Tectona grandis* L. **Acta Amazônica**. Manaus. v. 36, n. 4, 2006.
- HAYKIN, S. S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.
- HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statistischer abränger Keiten (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten)**. Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. (Abt. Biometric und Informatik, 21).
- KOHLER, S. V. **Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de Pinus taeda nos estados do Paraná e Santa Catarina**. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.
- KOZAK, A. My last words on taper equations. **Forestry Chronicle**, Mattawa, v. 80, n. 4, p. 507-515, 2004.
- LACERDA, T. H. S.; CABACINHA, C. D.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A. A.; MAIA, R. D.; LACERDA, K. W. S. Artificial neural networks for estimating tree volume in the Brazilian savana. **Cerne**, v. 23, n. 4, p. 483-491, 2017.
- LANSSANOVA, L. R.; MACHADO, S. do A.; GARRET, A. T. de A.; BONETE, I. P.; PELISSARI, A.

L.; Figueiredo Filho, A.; SILVA, F. A. da; CIARNOSCHI, L. D. Mixed-effect non-linear modelling for diameter estimation along the stem of *Tectona grandis* in mid-western Brazil. **Southern Forests**, v. 81, n. 2, p. 167–173, 2019.

LEITE, M. V. S.; SILVA, J. P. M.; CABACINHA, C. D.; ASSIS, A. L. Redes neurais artificiais para estimativa de altura dominantes em povoamentos de Eucalipto. **Anais... IV SEEFLO-BA**, Vitória da Conquista-Bahia, 2016.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA NETO, R. R.; MONTE, M. A.; FARDIN, L.; ALCÂNTARA, A. M.; BINOTI, M. L. M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* L.f. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 89, p. 053-059, 2011.

MARTINS, A. P. M.; DEBASTIANI, A. B.; PELISSARI, A. L.; MACHADO, S. A.; SANQUETTA, C. R. Estimativa do afilamento do fuste de *Araucaria* utilizando técnicas de Inteligência Artificial. **Floresta e Ambiente**, n. 24, 2017.

MARTINS, E. R.; BINOTI, M. L. M. S.; LEITE, H. G.; BINOTI, D. H. B.; DUTRA, G. C. Configuração de redes neurais artificiais para estimação do afilamento do fuste de árvores de eucalipto. **Agrária**, Recife, v.11, n.1, p.33-38, 2016.

MAX, T. A.; BURKHART, H. E. Segmented polynomial regression applied to taper equations. **Forest Science**, v. 22, n. 3, p. 283 - 289, 1976.

MENDONÇA, N. P.; CARVALHO, M. C.; GOMIDE, L. R.; FERRAZ FILHO, A. C.; FERREIRA, M. A. Previsão de diâmetros ao longo do fuste de eucalipto via Redes Neurais Artificiais. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.11 n.22; p. 2419 - 2429, 2015.

MÔRA, R. **Funções de afilamento de forma variável e modelagem de efeitos mistos em fustes de *Pinus taeda* e *Eucalyptus saligna***. 277f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

RIBEIRO, R. B. S.; GAMA, J. R. V.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Métodos para estimar o volume de fustes e galhos na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.40, n.1, p.81-88, 2016.

ROJO, A.; PERALES, X.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, F.; GONZÁLEZ ALVAREZ J. G.; GADOW, K. V. Stem taper functions for maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) in Galicia (Northwestern Spain). **European Journal of Forest Research**, Dordrecht, v.124, n.3, p.177-186, 2005.

SCHIKOWSKI, A. B.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETA, C. R. Estudo da forma do fuste utilizando redes neurais artificiais e funções de afilamento. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo. v. 35, n. 82, p. 119-127, 2015.

SCHÖEPFER, W. Automatisierung des Massen, Sorten und Wertberechnung stehender Waldbestände. Schriftenreihe. **Bad. Wurt-Forstl.**, v. 21, 1966.

SILVA, S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; LEITE, H. G.; OBOLARI, A. M. M.; SCHETTINI, B. L. S. Avaliação do uso de regressão e rede neural artificial para modelagem do afilamento do fuste de eucalipto em sistema silvipastoril. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13 n.23; p.189-199, 2016.

SOARES, F. A. A. M. N.; FLÔRES, E. L.; CABACINHA, C. D.; CARRIJO, G. A.; VEIGA, A. C. P. Recursive diameter prediction for calculating merchantable volume of eucalyptus clones using Multilayer Perceptron. **Neural Comput & Applic**, v.22, p.1407–1418, 2013.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; DRESCHER, R.; CARVALHO, S. P. C.; SOUZA, H. S. SILVA, R. S. S.; CHAVES, A. G. S. Forma do fuste de árvores de *Tectona grandis* em diferentes espaçamentos.

Advances in Forestry Science, Cuiabá, v.3, n.3, p.51-54, 2016.

VENDRUSCOLO, D. G. S.; DRESCHER, R.; SOUZA, H.S.; MOURA, J. P. V. M.; MAMORÉ, F. M. D.; SIQUEIRA, T. A. S. Estimativa da altura de eucalipto por meio de regressão não linear e redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, v.33, n.4, p.556-569, 2015.

VIEIRA, G. C.; MENDONÇA, A. R.; SILVA, G. F.; ZANETTI, S. S.; SILVA, M. M.; SANTOS, A. R. Prognoses of diameter and height of trees of eucalyptus using artificial intelligence. **Science of the Total Environment**, v. 619–620, p. 1473-1481, 2018.

VIEIRA TERRA, D. L. C.; ANDRADE, V. C. L. de. Modelos estatísticos para descrever o perfil do tronco do clone GG100 no Tocantins, Brasil. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18; n. 4, 2019.

YANG, Y.; HUANG, S.; TRINCADO, G.; MENG, S. X. Nonlinear mixed-effects modeling of variable-exponent taper equations for *Lodgepole pine* in Alberta, Canada. **European Journal of Forest Research**, Georgetown, v. 128, n. 4, p. 415-429, 2009.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Adução 92, 131, 133, 134, 136, 141

Água 17, 18, 31, 34, 35, 44, 47, 66, 70, 71, 75, 80, 95, 120, 121, 123, 127, 128, 129, 132, 133, 140, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 151, 152, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169

Alelopatia 93, 94, 104

Animais 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 66, 68, 80, 86, 95, 150, 165

Arborização 119, 120, 121

Árvore 49, 50, 77, 91, 106, 116, 117, 128, 130, 135, 138, 141

Asfalto 31, 37, 38, 39

Aterro 52, 80

Atributos químicos 85, 87, 91, 92

Atropelamento 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25

Aves 18, 20, 79, 80, 81, 83

B

Biodiversidade 15, 16, 17, 21, 24, 47, 51

Biomassa 59, 61, 66, 77, 93, 102

Biometria 118, 119, 120, 121, 124, 125, 126, 128, 129

Brasil 8, 11, 14, 16, 25, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 34, 38, 39, 43, 44, 46, 53, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 68, 77, 78, 79, 91, 95, 105, 113, 118, 119, 128, 132, 133, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 151, 152, 156, 158, 161, 162, 169

C

Ciências Ambientais 1, 25, 26, 31, 40, 55, 64, 65, 79, 85, 93, 105, 119, 131, 143, 154, 163, 170

D

Degradação 34, 35, 44, 48, 56, 64, 65, 66, 67, 77, 87, 127, 139, 144

Dióxido de carbono 65, 77, 91

E

Embebição 103, 119, 120, 121, 123, 127, 128, 129

Enzima 55, 57, 58, 59, 102

Espécies 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 45, 58, 60, 68, 80, 85, 87, 88, 93, 95, 96, 98, 99, 101, 103, 104, 106, 107, 116, 120, 121, 129, 130, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 165

Estrada 17, 18, 19, 103

Extinção 15, 16, 17, 24, 48

Extração ilegal 26, 27

Extratos aquosos 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104

F

Fauna 15, 16, 17, 18, 19, 21, 24, 25, 34, 66, 67

Floresta 46, 49, 85, 87, 88, 104, 107, 117, 133, 134, 136, 138, 139, 141

Fruto 124, 128

Fungos 55, 57, 58, 59, 60, 61, 63, 133

G

Germinação 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 102, 103, 104, 120, 121, 128, 129, 136, 138, 140, 141, 142

H

Habitat 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 80, 132

Horta 131, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 154

Hortaliças 103, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140, 142

I

Ilegalidade 26, 27, 28, 29, 30

Invertase 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63

M

Madeira 1, 7, 10, 12, 14, 27, 28, 29, 30, 61, 106, 107, 116

Madeira 26, 27, 28, 29, 30

Manejo 25, 33, 43, 47, 48, 49, 53, 61, 62, 66, 79, 80, 83, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 105, 106, 107, 115, 121, 134, 138, 139, 140, 143, 145, 162

Meio ambiente 12, 32, 34, 35, 38, 43, 45, 47, 49, 52, 55, 57, 62, 65, 75, 76, 84, 132, 143, 152

Metais pesados 143, 144, 145, 146, 147, 149, 150

Monitoramento 25, 29, 67, 79, 80, 81, 84, 92, 144, 151, 168

P

Pirólise 31, 33, 34, 35, 37, 39

Pneu 31, 33, 34, 35, 36, 37, 38

Poluição 34, 45, 61, 145, 149, 150

População 15, 34, 44, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 143, 151, 157, 158, 159, 165

Q

Qualidade da água 17, 143, 144, 145, 146, 147, 149, 151, 152, 154, 156, 158, 161, 162, 164, 165, 166, 168, 169

R

Recursos hídricos 17, 34, 75, 144, 151, 154, 156

Reflorestamento 131, 133, 139, 140

Resíduo 31, 32, 33, 34, 35, 60, 62, 111, 113, 134

Restauração ecológica 131, 133, 136, 137, 139, 140, 141, 142

Rio 12, 13, 14, 38, 39, 44, 46, 53, 81, 83, 84, 92, 93, 104, 131, 136, 137, 138, 139, 141, 142, 143, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 160, 161, 162

Rodovia 15, 16, 17, 18, 21, 22, 24, 25, 48

S

Semente 121, 122, 127, 128

Solo 17, 25, 34, 45, 47, 49, 52, 59, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 106, 107, 108, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 145, 153, 157, 168, 169

Sustentabilidade 10, 12, 14, 49, 51, 72, 75, 77, 86, 91

T

Tecnologia 12, 31, 37, 38, 61, 85, 115, 129, 141, 162, 163, 164, 170

Teor de umidade 74, 75, 76, 119, 120, 121, 123, 126, 127, 128

Território 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 53, 54, 95, 140, 156

U

Urubus 80, 81, 82, 83, 84

V

Vegetação 17, 45, 46, 48, 49, 75, 80, 132, 133, 134, 137, 141

 **Atena**
Editora

2 0 2 0