

Universidade do Estado do Pará  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia  
Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado



Wanderson Gonçalves e Gonçalves

**Classificação de Estratos Florestais e Estimativa de biomassa arbórea por meio de Inventário Florestal com o uso de redes neurais artificiais associadas a dados de sensoriamento remoto no Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará – Brasil.**

Belém  
2016

Universidade do Estado do Pará  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado



Wanderson Gonçalves e Gonçalves

**Classificação de estratos florestais e estimativa de  
biomassa arbórea em diferentes intervalos volumétricos  
por meio de Inventário Florestal com o uso de redes  
neurais artificiais associados a dados de sensoriamento  
remoto no conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns  
– Pará, Brasil**

Belém  
2016

Wanderson Gonçalves e Gonçalves

**Classificação de estratos florestais e estimativa de biomassa arbórea em diferentes intervalos volumétricos por meio de Inventário Florestal com o uso de redes neurais artificiais associados a dados de sensoriamento remoto no conjunto de Glebas Estaduais Mamuru - Arapiuns- Pará, Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.  
Universidade do Estado do Pará.  
Orientador(a): Profa. Dra. Hebe Morganne Campos Ribeiro.

Belém  
2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP),  
Biblioteca do Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, UEPA, Belém - PA.

---

**G635c**Gonçalves, Wanderson Gonçalves e

Classificação de estratos florestais e estimativa de biomassa arbórea em diferentes intervalos volumétricos por meio de inventário florestal com uso de redes artificiais associados dados de sensoriamento remoto no conjunto de Glebas Estaduais Mamuru - Arapiuns - Pará, Brasil / Wanderson Gonçalves e Gonçalves; Orientadora Hebe Morganne Campos Ribeiro. -- Belém, 2016.  
60f. : il.; 30 cm.

Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado do Pará, Centro de Ciências Naturais e Tecnologia, Belém, 2016.

1. Sensoriamento Remoto. 2. Floresta - Conservação3.Biomassa vegetal. I. Ribeiro, Hebe Morganne Campos.II. Título.

---

**CDD 621.3678**

Wanderson Gonçalves e Gonçalves

**Classificação de estratos florestais e estimativa de biomassa arbórea em diferentes intervalos volumétricos por meio de Inventário Florestal com o uso de redes neurais artificiais associados a dados de sensoriamento remoto no conjunto de Glebas Estaduais Mamuru - Arapiuns – Pará, Brasil**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.  
Universidade do Estado do Pará.

Data da aprovação: / /2016

Banca Examinadora

\_\_\_\_\_ – Orientador(a)

Prof. Hebe Morganne Campos Ribeiro  
Doutora em Engenharia Elétrica  
Universidade do Estado do Pará

Prof. Arthur da Costa Almeida  
Doutor em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal do Pará

Prof. Gundisalvo Piratoba Morales  
Doutor em Ciências Geoquímicas e Petrologias  
Universidade do Estado do Pará

Prof. Hélio Raymundo Ferreira Filho  
Doutor em Ciências de Gestão  
Université Pierre-Mendès-France

Dedico este trabalho a Deus, aos meus familiares e a todos aqueles que me incentivaram e tornaram este objetivo possível de ser realizado.

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço a Deus, arquiteto de todas as coisas, por me conceder as virtudes para a realização deste trabalho e por permitir a conquista de mais um objetivo em minha vida.*

*Agradeço aos meus queridos pais, **Wanderlei Ferreira Gonçalves e Nazaré do Socorro Gonçalves e Gonçalves**, pela minha formação, meu desenvolvimento, pelo apoio em todas as horas que precisei, por acreditarem em mim acima de qualquer coisa, por estarem sempre comigo e pelo amor incondicional a mim.*

*Ao meu irmão, **Wanderlei Ferreira Gonçalves Júnior** que sempre me ajudou em tudo aquilo que precisei e por estar sempre comigo.*

*A minha orientadora, Professora Dra. **Hebe Morganne Campos Ribeiro**, pelo apoio e parceria, a ajuda quando precisei e por acreditar na consolidação deste trabalho.*

*Ao meuco-orientador, Professor Dr. **José Alberto Silva de Sá**, pelos ensinamentos, pela paciência e pelas horas dedicadas para resolver os problemas que surgiram.*

*Ao Professor Dr. **Arthur da Costa Almeida**, pela preciosa ajuda e disponibilidade em me ajudar com este estudo e sem o qual este trabalho não seria possível.*

*Aos Amigos que fiz durante o mestrado, em especial aos interioranos: Elis, Janaína e Raynon (R), pelo companheirismo e apoio durante todos os momentos difíceis.*

*A **Universidade do Estado do Pará**, pela oportunidade de uma pós graduação, por me conferir uma formação de qualidade e um crescimento pessoal e intelectual, e acima de tudo, por mostrar-me o caminho do conhecimento e da pesquisa.*

*Ao **Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR)**, por disponibilizar o inventário florestal com os dados necessários para o estudo e consequentemente a conclusão do trabalho.*

*Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente proporcionaram o meu crescimento como indivíduo e me ampararam para a conquista desta vitória.*

*"Não existe triunfo sem perda, não há vitória sem sofrimento e nem liberdade sem sacrifício. A vitória pertence aquele que acredita nela por mais tempo."*

*Autor Desconhecido*

## RESUMO

A região Amazônica assume importante papel quanto aos serviços ambientais e de manutenção dos ciclos naturais que afetam diretamente o ambiente. As degradações ambientais provenientes das ações antrópicas são uma ameaça para o equilíbrio e conservação da floresta, logo, estudos voltados à região amazônica promovem a obtenção de conhecimentos ambientais para o auxílio da tomada de decisão quanto ao desenvolvimento regional. O presente estudo objetivou a classificação de tipologias florestais e a estimativa de biomassa arbórea em intervalos volumétricos, por meio de uma metodologia que envolve dados provenientes de um inventário florestal fornecido pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR), associados às bandas 3, 4 e 5 do Satélite LandSat 5TM e Redes Neurais Artificiais; Logo, este estudo verificou a eficiência das redes neurais artificiais como classificador de dois tipos florestais e estimador de biomassa em intervalos volumétricos predefinidos nos estratos Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (Dbe) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (Dbe + Abp), no conjunto de glebas estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará, através da análise da matriz de confusão, por meio do cálculo de precisão global, do coeficiente Kappa e da análise do gráfico ROC. Os resultados apresentaram a eficiência das redes neurais na classificação e na estimativa de biomassa, demonstrando a viabilidade da metodologia adotada neste trabalho.

Palavras-chave: Biomassa. Redes Neurais Artificiais. Classificação. Sensoriamento Remoto. Inventário Florestal.

## ABSTRACT

The Amazon region plays an important role as environmental services and maintenance of natural cycles that directly affect the environment. Environmental degradation from the human actions are a threat to the balance and forest conservation, therefore, studies focused on the Amazon region promote the achievement of environmental knowledge to aid decision-making on regional development. This study aimed the classification of forest types and the estimation of arboreal biomass in volumetric intervals, through a methodology that involves data from a forest inventory provided by the Forest Development Institute of Para (IDEFLOR) associated with bands 3, 4 and 5 Satellite Landsat 5TM and Artificial Neural Networks; Therefore, this study examined the effectiveness of artificial neural networks as classifier of two forest types and estimation of biomass in predefined volumetric ranges in the strata Rain Forest Lowland Dense emerging Canopy (Dbe) and Rain Forest Lowland emerging Canopy + Open with palm trees (AbpDbe +), the set of glebes MamuruArapians – State Pará, through the analysis of the confusion matrix, through the overall accuracy of calculation of the Kappa coefficient and the ROC graph analysis. The results showed the efficiency of neural networks in the classification and estimation of biomass, demonstrating the feasibility of the methodology adopted in this work.

**Keywords:** Biomass. Artificial Neural Networks. Classification. Remote sensing. Forest Inventory.

## LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 1

Tabela 1	Qualidade de classificação a partir dos valores do coeficiente <i>Kappa</i>	25
Tabela 2	Resultado dos melhores resultados de classificação	27

## LISTA DE TABELAS DO ARTIGO 2

Tabela 1	Tipologias florestais presentes no inventário com as respectivas áreas estimadas.	37
Tabela 2	Qualidade de classificação a partir dos valores do coeficiente <i>Kappa</i>	41

## LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 1

Figura 1	Mapa de Localização do Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns	21
Figura 2	Esquema de Amostragem estratificada	22
Figura 3	Arquitetura de uma rede neural RBF	24
Figura 4	Modelo de matriz de confusão	25
Figura 5	Gráfico ROC mostrando cinco classificadores discretos	26
Figura 6	Matriz de Confusão com os resultados do classificador	27
Figura 7	Gráfico ROC com dados do classificador	28

## LISTA DE FIGURAS DO ARTIGO 2

Figura 1	Localização geográfica da área de estudo, conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, Estado do Pará.	36
Figura 2	Representação da amostragem em conglomerado.	38
Figura 3	Arquitetura de uma rede neural de base radial (RBF)	40
Figura 4	Matriz de confusão com os resultados da rede <i>newrbe</i> .	42
Figura 5	Matriz de confusão com os resultados da rede <i>newpnn</i> .	43
Figura 6	Gráfico ROC com dados do classificador <i>newrbee newpnn</i>	44

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBE	Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente
DBE +	Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta
ABP	com palmeiras
DN	Digital Number
ED	Leste do Entorno
IDEFLOR	Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará
MAXVER	Máxima Verossimilhança
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
RBF	Função de Base Radial
RMS	Erro Médio Quadrático
RNA	Rede Neural Artificial
ROC	Característica de Operação do Receptor
SRC	Sistemas de Coordenadas de Referência
TM	Thematic Mapper

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO (GERAL)</b>	12
1.2	REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO (GERAL)	15
<b>2</b>	<b>ARTIGO 1 – <i>Classificação de estratos florestais utilizando redes neurais artificiais e dados de sensoriamento remoto</i></b>	17
	RESUMO	18
	ABSTRACT	18
2.1	INTRODUÇÃO	19
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	20
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
2.4	CONCLUSÃO	29
	REFERÊNCIAS	29
<b>3</b>	<b>ARTIGO 2 – <i>Estimativa de biomassa arbórea em diferentes intervalos volumétricos, por meio de redes neurais artificiais associadas a dados de Inventário Florestal e sensoriamento remoto no Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará – Brasil.</i></b>	32
	RESUMO	33
	ABSTRACT	33
2.1	INTRODUÇÃO	34
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	35
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
2.4	CONCLUSÃO	45
	REFERÊNCIAS	46
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES GERAIS</b>	49
	<b>ANEXOS</b>	50
	NORMAS DA REVISTA (ARTIGO 1) Revista Ambiente & Água	50
	NORMAS DA REVISTA (ARTIGO 2) Revista ScientiaFlorestalis	57

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A energia, independentemente da fonte ou forma, mostra-se um dos mais determinantes fatores de desenvolvimento social e econômico dos países industrializados. A biomassa representa a quarta fonte de energia a nível global, e constitui-se como principal combustível para 75% da população mundial, logo, a biomassa florestal evidencia um grande potencial energético, já que a partir dela pode-se obter combustíveis sólidos, líquidos e gasosos (Couto et al., 2004).

Muitos países desenvolvidos e em desenvolvimento tem incentivado políticas e incentivos financeiros no setor de energia renovável, entre eles para geração de energia a partir da biomassa (Kumaret al., 2015).

Diversos estudos sobre biomassa são desenvolvidos em todas as partes do mundo desde a década de 80, entretanto, a maioria dos resultados alcançados são generalizados para áreas com características diferentes da área pesquisada, dificultando a utilização desses dados em análises comparativas. (Socheret al., 2008).

Os estudos sobre biomassa e de classificação florestal, porém, abordam muito mais os fatores econômicos, valorizando espécies arbóreas valorizadas comercialmente, do que fatores ecológicos, limitando os estudos das diversas tipologias florestais, que poderiam influenciar em decisões acerca da recuperação de áreas de preservação (Socheret al., 2008; Silveira et al., 2007).

A variação espacial dentro e entre as vegetações são exigência nas metodologias de inventário florestal, porém, atualmente, os dados para avaliar esta variaçã são bastante limitados bem como os fatores ecológicos que podem influenciar estas variações (Perringet al., 2015).

As dificuldades nos estudos de quantificação de biomassa estão relacionadas ao alto custo e a demora, além de serem muito trabalhosos. Estes estudos podem ser feitos por dois métodos conhecidos, o método direto, por meio do corte e pesagem dos componentes das árvores e pelo método indireto, por meio de estimativas que envolvem equações alométricas e dados de sensoriamento remoto, sem a necessidade do corte das árvores. (Watzlawicket al., 2006; Watzlawick et al., 2009).

Atualmente, com o crescente desenvolvimento e evolução dos aparatos tecnológicos relacionados a imagens de sensoriamento remoto e de processamento de imagens, alcançou-se um melhor conhecimento das características estruturais

das florestas bem como informações de biomassa. Desta maneira, as informações de biomassa associadas a dados de sensoriamento remoto são utilizadas para alcançar as melhores estimativas (Watzlawick et al., 2009).

Assim, faz-se necessário a utilização de técnicas de classificação e de estimativa de biomassa adequadas ao estudo pretendido. As Redes neurais artificiais têm sido usadas com sucesso em diferentes áreas da tecnologia, tais como processamento de imagem, processamento de sinais, aproximação de funções e controle, e quando associadas a dados de sensoriamento remoto tem se mostrado eficiente, pois manuseiam simultaneamente uma aplicação não-linear de um espaço multidimensional propiciando a aplicação em complexos relacionamentos estatísticos (Frate e Solimini, 2003, Haykin, 2001).

As redes neurais artificiais são constituídas por neurônios artificiais, unidades de processamento interconectadas, cujo funcionamento é determinado pelos pesos em cada conexão, logo, ao apresentar um conjunto de dados, as redes neurais tem a capacidade de armazenar esse conhecimento e generalizá-lo a dados desconhecidos. (Almeida *et al.*, 2009; German e Gahegan, 1996; Gorgens et al., 2009).

Watzlawick et. al (2009), utilizou redes neurais artificiais associadas a imagens do satélite IKONOS II com o objetivo de otimizar a estimativa de biomassa e carbono orgânico na Floresta com Araucária e obteve resultados satisfatórios, uma vez que a metodologia viabilizou a estimativa em menor tempo, logo, com menor custo. Almeida et al. (2009) estimou o potencial energético de biomassa florestal na região do entorno do Lago de Tucuruí, por meio de uma rede neural RBF associada a dados do sensor LANDSAT, índice de vegetação (NDVI) e levantamento de campo, obtendo resultados adequados para o tipo de trabalho comum erro médio quadrático (RMS) de 2,343 e um coeficiente de correlação de 0,81, propiciando uma redução de custos quando comparados ao uso de outras técnicas como inventário florestal.

As Redes Neurais Artificiais, ainda apresentaram bons resultados em estudos de classificação, como a classificação de terras para irrigação, obtendo-se 78% dos resultados iguais aos desejados (Bucene e Rodrigues, 2004). O estudo de Chagas et al. (2009), avaliou a eficiência de classificação de áreas degradadas comparando os classificadores de Máxima Verossimilhança (Maxver) e Redes Neurais Artificiais (RNA), em Viçosa, Minas Gerais (MG), cujo resultados mostraram que as Redes

Neurais apresentaram resultados ligeiramente melhores, mas com desempenho estatístico semelhante, com um índice Kappa de 0,80, contra 0,79 do Maxver.

Várias pesquisas utilizam redes neurais artificiais para classificação de diversas classes de informação e na quantificação de biomassa arbórea. O presente trabalho visa a classificação e a estimativa de biomassa arbórea de estratos florestais, provenientes de um inventário florestal fornecido pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR), associados a imagens do Satélite LandSat 5TM, por meio de Redes Neurais; Logo, este estudo objetiva verificar a eficiência das redes neurais artificiais na classificação e regressão de biomassa de dois tipos florestais, Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (Dbe) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (Dbe + Abp), no conjunto de glebas estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará, com uma metodologia integrada envolvendo conhecimentos de inventário florestal, sensoriamento remoto e inteligência computacional com a finalidade de encontrar padrões entre os dados de refletância e os dados reais do levantamento de campo, afim de contribuir para a tomada de decisões e o desenvolvimento regional.

## 1.2 REFERÊNCIAS DA INTRODUÇÃO (GERAL)

ALMEIDA, A. C.; BARROS, P. L. C.; MONTEIRO, J. H. A.; ROCHA, B. R. P. Estimation of aboveground forest biomass in Amazonia with neural networks and remote sensing. **IEEE Latin Amer. Trans**, v. 7, n. 1, p. 27-32, 2009.

BUCENE, Luciana C.; RODRIGUES, Luiz HA. Utilização de redes neurais artificiais para avaliação de produtividade do solo, visando classificação de terras para irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 326-329, 2004.

CHAGAS, C. S.; VIEIRA, C. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; CARVALHO JUNIOR, W. Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 319-327, 2009.

COUTO, L. C.; COUTO, L., Watzlawick, L. F.; CÂMARA, D. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p. 71-92, 2004.

FRATE, Fabio Del; SOLIMINI, Domenico. On the retrieval of forest biomass from SAR data by neural networks. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International. IEEE**. p. 1637-1638, 2003.

FIORIN, D. V.; MARTINS, F. R.; SCHUCH, N. J.; PEREIRA, E. B. Aplicações de redes neurais e previsões de disponibilidade de recursos energéticos solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 1309, 2011.

GERMAN, G.W.H; GAHEGAN, M.N. Neural network architectures for the classification of temporal image sequences. **Computers Geosciences**, v.22, n.9. 969-979p. 1996

Gorgens, E. B.; Leite, H. G.; Santos, H. D. N.; Gleriani, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore, Viçosa**, v. 33, n. 6, p. 1141-1147, 2009.

HAYKIN, Simon S. **Redes neurais**. Bookman, 2001.

KUMAR, Anil et al. A review on biomass energy resources, potential, conversion and policy in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 530-539, 2015.

PERRING, Michael P. et al. Soil-vegetation type, stem density and species richness influence biomass of restored woodland in south-western Australia. **Forest Ecology and Management**, v. 344, p. 53-62, 2015.

Silveira, P., Koehler, H. S., Sanquetta, C. R., & Arce, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008.

SOCHER, Luis Gustavo; RODERJAN, Carlos Vellozo; GALVÃO, Franklin. Biomassa aérea de uma floresta ombrófila mista aluvial no município de Araucária (PR). **Floresta**, v. 38, n. 2, 2008.

WATZLAWICK, Luciano Farinha; KOEHLER, Henrique Soares; KIRCHNER, Flávio Felipe. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Pinus taeda* L. utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência e Natura**, v. 28, n. 1, p. 45-60, 2006.

WATZLAWICK, Luciano Farinha; KIRCHNER, Flávio Felipe; SANQUETTA, Carlos Roberto. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 169-181, 2009.

### **Artigo 1**

Título: Classificação de estratos florestais utilizando redes neurais artificiais e dados de sensoriamento remoto

Autores: Wanderson Gonçalves e Gonçalves, Hebe Morganne Campos Ribeiro, José Alberto Silva de Sá, Gundisalvo Piratoba Morales, Hélio Raymundo Ferreira Filho, Arthur da Costa Almeida.

Revista: Ambiente & Água (ISSN: 1980-993X. Qualis B1)

## **Classificação de estratos florestais utilizando redes neurais artificiais e dados de sensoriamento remoto**

### **RESUMO**

As degradações ambientais provenientes das ações antrópicas são uma ameaça para o equilíbrio e conservação da floresta. Estudos voltados à região amazônica promovem a obtenção de conhecimentos ambientais para o auxílio na tomada de decisão quanto ao desenvolvimento regional. O presente estudo objetivou a classificação de tipologias florestais por meio de redes neurais artificiais associadas a dados provenientes de um inventário florestal, fornecido pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR), e às bandas 3, 4 e 5 do Satélite LandSat 5TM. As informações provenientes das imagens de satélite foram extraídas por meio do software QGIS 2.8.1 Wien e utilizadas como banco de dados para o treinamento das redes neurais pertencentes ao pacote de ferramentas do software MATLAB® R2011b. Foram treinadas redes neurais como classificadores de dois tipos florestais: Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (Dbe) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (Dbe + Abp) no conjunto de glebas estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará, e avaliadas mediante a matriz de confusão, o cálculo de precisão global, o coeficiente Kappa e o gráfico de características do receptor operacional (ROC). O melhor resultado de classificação foi obtido por meio da rede neural probabilística de função de base radial (RBF) *newpnn*, com uma precisão global de 88%, e coeficiente Kappa de 76%, sendo avaliado como um classificador muito bom, evidenciando a aplicação dessa metodologia na análise de áreas com potencial de prestar serviços ecossistêmicos e, principalmente na prestação de serviços ambientais em áreas antrópicas que adotem sistema de produção agropecuária com baixa emissão de carbono na Amazônia.

**Palavras-chave:** classificador neural probabilístico, inteligência artificial, inventário florestal

## **Classification of forest strata using artificial neural networks and remote sensing data**

### **ABSTRACT**

The Amazon region plays an important role as the ecosystem services and maintenance of natural cycles that directly affect the environment. Environmental degradation arising from human activities are a threat to the balance and forest conservation. Studies focused on the Amazon region promote the achievement of environmental knowledge to aid in decision-making on regional development. This study aimed to classification of forest types by means of neural networks associated with data from a forest inventory, provided by the Forest Development Institute of Para (IDEFLOR), and bands 3, 4 and 5 of Landsat Satellite 5TM. Artificial neural networks were trained as classifier of two forest types, Rain Forest of Lowland Emerging Canopy (Dbe) and Rain Forest of Lowland Emerging Canopy + Open with palm trees (Dbe + Abp), the set of glebes, MamuruArapiuns - State - Pará, and evaluated by analyzing the confusion matrix, the overall accuracy of calculation of the Kappa coefficient and the ROC graph analysis. The best result rating was obtained by means of the probabilistic neural network of the radial basis function (RBF) *newpnn*, with satisfactory results for this study, with an overall accuracy of 88%, and Kappa coefficient of 76%, evaluated as a very good classifier, showing the application of this methodology in the analysis of areas with potential to provide ecosystem services and especially in the provision

of environmental services in anthropogenic areas that adopt agricultural production system with low carbon emissions in the Amazon.

**Keywords:** artificial intelligence, forest inventory, neural probabilistic classifier.

## 1 INTRODUÇÃO

A região amazônica atualmente está cada vez mais sob os holofotes do mundo, uma vez que corresponde a um amplo reservatório de carbono, contendo grande parte do total de biomassa das plantas terrestres. Associados a isso, os altos níveis de desflorestamento e queimadas, justificam a necessidade de maiores estudos desta região, uma vez que este conhecimento contribui para a manutenção da fauna, da flora, da qualidade e quantidade da água, das condições climáticas e de outros serviços ecossistêmicos que comprometem diretamente a qualidade de vida da população (Ribeiro et al., 2009).

O sensoriamento remoto é a ciência que possibilita a aquisição de informações (espectral, espacial, temporal) de objetos materiais sem a necessidade de contato físico com o objeto de investigação. Neste contexto, o uso das técnicas de sensoriamento remoto torna-se indispensável, sobretudo devido à extensão territorial da região, dificuldades de acesso e custos elevados para realização de trabalhos de campo. Logo, o sensoriamento remoto, assume importante papel para a estimativa e monitoramento de vários fenômenos, proporcionando tomadas de decisão e análises de grandes territórios (Vasconcelos e Novo, 2004).

Estes registros de informações são exclusivamente adequados para mudanças de mapeamento na superfície da Terra, incluindo o desmatamento, expansão agrícola, perda de zonas húmidas, a expansão urbana e outras conversões de terra (Gutman et al., 2013).

Nos últimos anos, as Redes Neurais Artificiais tiveram um crescente interesse e têm sido usadas com bastante êxito no gerenciamento de informações do ambiente e em reconhecimento de padrões de imagens proveniente de Sensoriamento Remoto (Chagas et al., 2009; Espinhosa e Galo, 2004, Moreira et al., 2013).

Redes neurais artificiais são sistemas de processamento de informação formados pela interconexão de unidades simples de processamento, denominadas neurônios artificiais, os quais funcionam de acordo com a sua arquitetura, conexões entre as unidades de processamento, e os pesos gerados, mostrando-se relevante por tratar de funções não lineares e multidimensionais o que a torna capaz de lidar com complexas relações estatísticas (Almeida et al., 2009).

Ribeiro e Centeno (2001) utilizaram Redes Neurais Artificiais para classificar imagens do Landsat – TM, bandas 5, 4, e 3 e ao compararem os resultados com o método de classificação supervisionado mais comum, Máxima Verossimilhança (Maxver), concluíram que quando se dispõe de um número pequeno de amostras, o uso das RNA é mais eficiente, confirmando a viabilidade do uso das RNA para a classificação de imagens orbitais. Espinhosa e Galo (2004), aplicaram as Redes Neurais Artificiais na classificação da água e

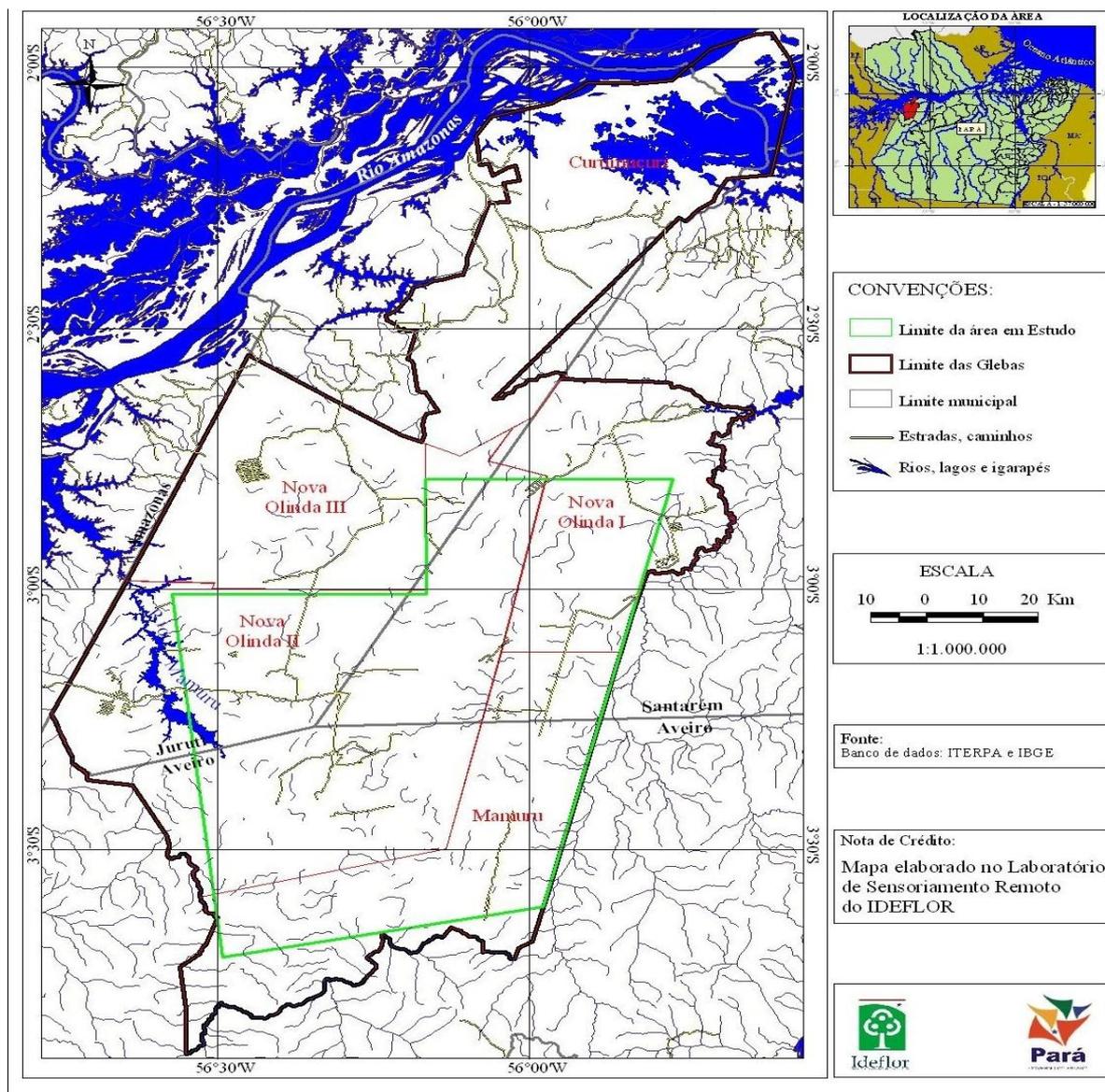
macrófitas aquáticas emersas para verificar a ambigüidade entre as classes em uma área teste do reservatório de Barra Bonita, SP, utilizando como dados de entrada imagens orbitais ETM+/Landsat e obtiveram resultados satisfatórios, permitindo uma boa separação espectral de duas ocorrências distintas de macrófitas emersas e variações na água. A utilização de RNAs ainda mostrou-se eficaz em classificações da cobertura do solo, utilizadas para separar o solo descoberto da cobertura do solo, com índice de exatidão global médio na classificação de 82,10% (Varella et al., 2002) e na classificação de fertilidade aparente para diferenciação de terras para fins de irrigação, obtendo-se 78% dos resultados iguais aos desejados.

Diversas pesquisas utilizaram Redes Neurais Artificiais na Classificação de diferentes classes de informação associadas a dados de sensoriamento remoto. O presente estudo visa a classificação de duas tipologias florestais, provenientes de um inventário florestal fornecido pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR), associados a imagens do Satélite LandSat 5TM, por meio de Redes Neurais, avaliando a eficiência das redes neurais artificiais como classificador de dois tipos florestais, Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (Dbe) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (Dbe + Abp), noconjunto de glebas estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1. Caracterizações da área de estudo**

A área de estudo foi disponibilizada pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do xPará – IDEFLOR, por meio do documento “Inventário Florestal Diagnóstico do Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará”, e está localizada entre os municípios de Santarém, Juruti e Aveiro, no Estado do Pará, abrangendo uma área aproximada de 600.000 hectares (Figura 1). A planície ocupa a porção Norte e Leste do Entorno (ED) e constitui basicamente as áreas de várzeas formadas pelo rio Amazonas e o delta dos igarapés e rios tributários nessa porção, como o rio Mamuru. Essa planície é submetida às inundações sazonais do rio Amazonas (Manflops, 2010). Os solos da região compõem-se com Latossolo Amarelo para as áreas de terra-firme e nas áreas alagáveis e próximas dos grandes cursos d’água da região como o rio Amazonas é classificado como GleissoloHáplico (EMBRAPA, 2007).



**Figura 1.** Mapa de Localização do Conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns.  
Fonte: Manflops (2010).

O clima da região é do tipo Amw de Köppen, caracterizado como quente e úmido, com a estação chuvosa nos meses de dezembro a junho e estação seca, de julho a novembro. A temperatura média anual é de 27,7°C com média anual de precipitação pluviométrica em torno de 1.950 mm (Miranda, 1995).

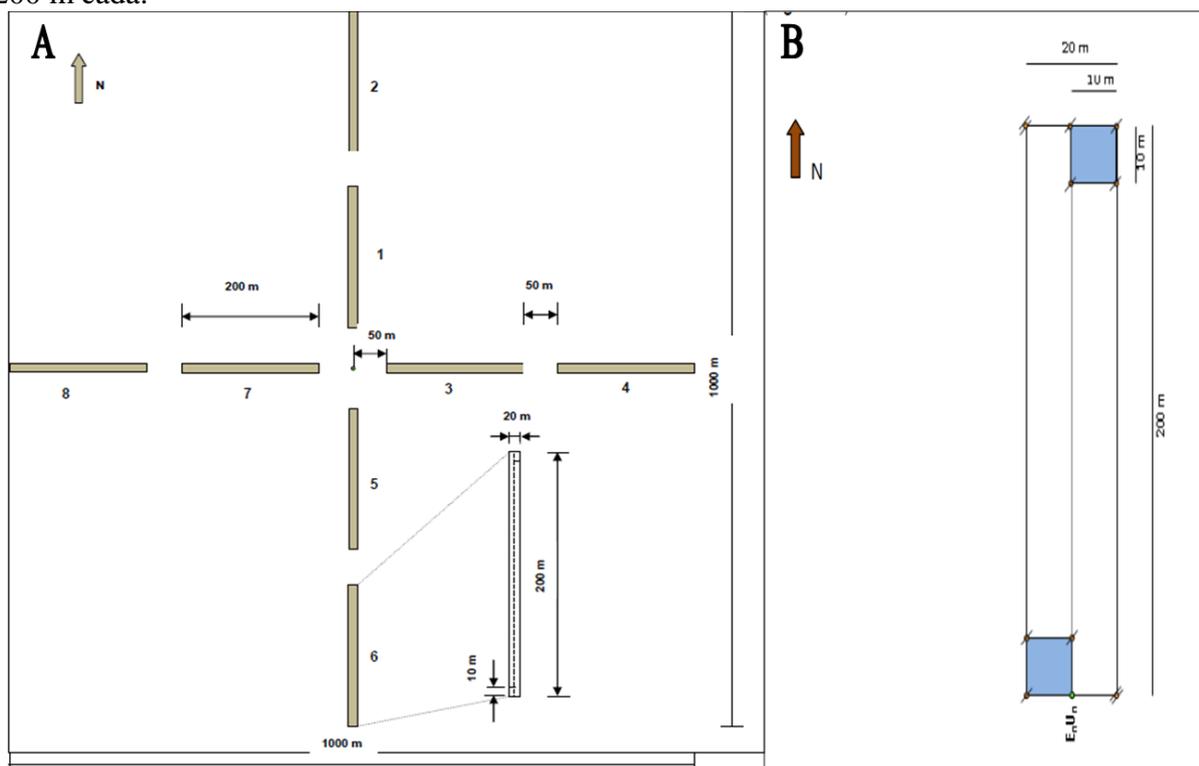
## 2.2. Material

Foram utilizadas as bandas 3, 4 e 5 do satélite LandSat 5TM (ThematicMapper), adquiridas do site USGS ([earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov), [espa.cr.usgs.gov](http://espa.cr.usgs.gov)), pertencentes a órbita/ponto 228/62 e 228/63, ambas de 23/10/2009, com resolução espacial de 30 x 30 m, com correção geográfica. As imagens foram escolhidas seguindo o critério de compatibilidade entre a data da imagem e a data de execução do inventário, com o objetivo de minimizar as variações temporais nas tipologias florestais. Tanto o inventário florestal, quanto as imagens são do ano de 2009. Foram utilizadas duas cenas, devido haver pontos de amostragem distribuídos em ambas as imagens.

### 2.2.1. Inventário Florestal

O inventário florestal do conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns compreendeu sete etapas: planejamento, treinamento, amostragem, levantamento de campo, identificação de material botânico, consistência dos dados, tratamento e processamento dos dados.

A amostragem seguiu o definido pelo Serviço Florestal Brasileiro. As amostragens foram do tipo Amostragem Estratificada (Figura 2). A Amostragem Estratificada foi adotada para as tipologias florestais predominantes, Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente (Dbe) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (Dbe + Abp), onde foram distribuídos aleatoriamente 30 conglomerados (15 unidades para cada estrato), sendo que cada unidade é constituída de 8 subunidades de 20 x 200 m cada.



**Figura 2.A)** Esquema de Amostragem estratificada e **B)** Esquema da subunidade da amostragem.  
Fonte: Adaptado de Manflops (2010).

O inventário ainda forneceu as coordenadas geográficas do ponto central de cada conglomerado para os estratos (Dbe e Dbe + Abp).

### 2.3. Metodologia no QGIS

O software QGIS 2.8 Wien foi utilizado para a montagem do mosaico e junção das cenas do LandSat 5TM. Foram plotados os pontos centrais dos conglomerados e das subunidades nas imagens de satélite, no Sistema de coordenadas de referência (SRC) WGS 84, posteriormente foram extraídos os *Digital Number* (DN) puros de cada pixel constituintes das subunidades de cada estrato florestal, referentes à banda 3, 4 e 5 e o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) constituindo a massa de dados.

O NDVI foi calculado de acordo com Rouse et al. (1973), descrito na equação 1:

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)} \quad (1)$$

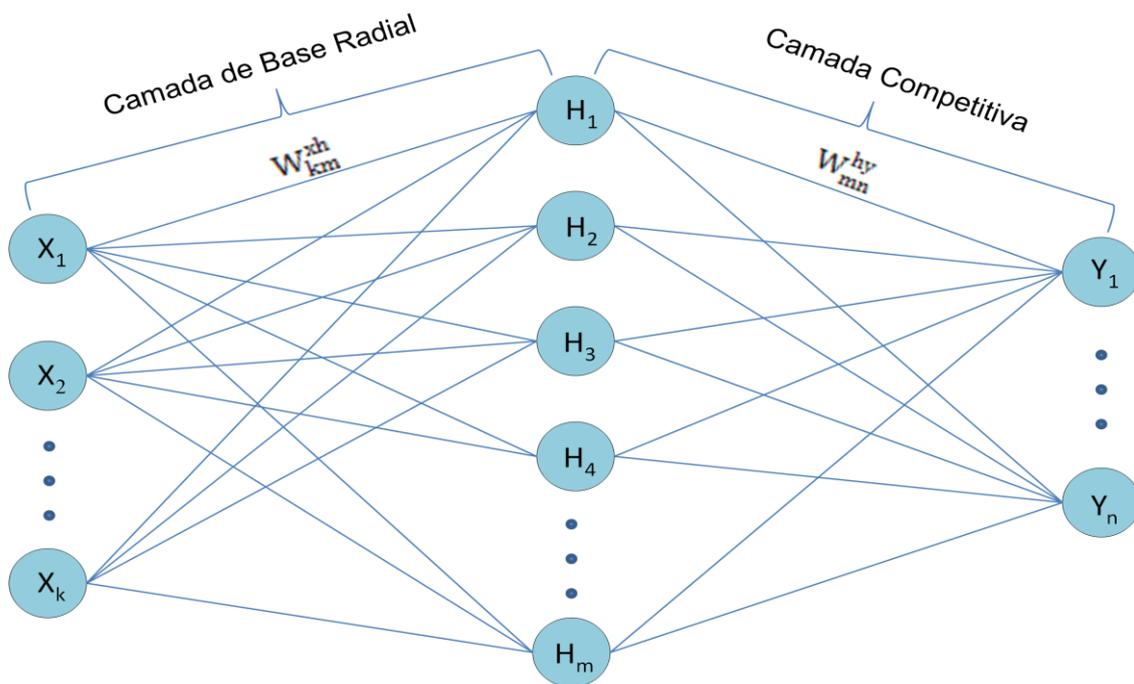
Para a obtenção dos *DigitalNumbers* (DN), foi seguida a seguinte metodologia: Cada subunidade das amostras por conglomerado é dimensionada em 20 x 200 m, entretanto o tamanho do pixel das imagens orbitais tem a dimensão de 30 x 30 m, para compensar isto, optou-se por selecionar sete pixels, a partir do ponto central para cobrir toda a área de cada subunidade amostral, totalizando 210 m por subunidade. Desta maneira as planilhas de dados foram formadas pelas colunas contendo as coordenadas da região, os valores de DN das bandas 3, 4 e 5, e o NDVI.

Posteriormente, os dados foram normalizados com o propósito de reduzir as discrepâncias entre os valores de entrada, utilizando-se a normalização *min-max*, que transformou os valores originais das variáveis de entrada em valores normalizados no intervalo [0, 1] (Sá et al., 2012). Este procedimento foi feito, primeiramente, para evitar a saturação da rede neural, uma vez que altos valores podem intervir na solução do problema e, posteriormente, para precaver que algumas variáveis de alto valor e pouca importância influenciassem em variáveis de pequena variação, porém, de grande importância (Chagas et al., 2009).

Foram selecionados de maneira aleatória dois conjuntos de dados independentes, um para treinamento e outro para teste. O número de exemplos do conjunto de dados de treinamento foi 400, sendo 200 exemplos para cada classe (Dbe e Dbe+Abp), e o tamanho do conjunto de dados de teste foi 100, sendo 50 exemplos para cada classe (Dbe e Dbe+Abp). Portanto a massa total de dados constituiu-se em 500 exemplos.

#### **2.4. Rede Neural Probabilística**

A rede neural utilizada neste estudo é a rede neural probabilística, proposta por Specht (1990), adequada para o reconhecimento e classificação de problemas. As redes neurais probabilísticas são um tipo de rede de base radial (RBF). O uso de uma rede RBF facilita a classificação, pois nenhuma forma de probabilidade é assumida para os dados e a determinação de um pixel à classe, é realizada pelo efeito simultâneo de todas as bases radiais que identificam a classe a ser classificada. É estruturada em três camadas: A camada de entrada, onde é fornecida a rede os dados de entrada da rede, a camada de base radial, que usa função de base radial, como a gaussiana, para medir a distância entre os vetores de entrada e vetores de peso linha de uma matriz de ponderação, e a camada competitiva, que determina o valor máximo de estas probabilidades, e produz 1 para essa classe e 0 para as outras classes (Xu et al., 2014). A arquitetura da rede neural probabilística é apresentada na figura 3, onde:  $X$ ,  $H$  e  $Y$  representam as variáveis de entrada, os neurônios da camada oculta e as variáveis de saída da rede, respectivamente, e  $k$ ,  $n$  e  $m$  representam o número de vetores de entrada, de saída e de neurônios na camada oculta, respectivamente.



**Figura 3.** Arquitetura de uma rede neural RBF.

Fonte: Adaptado de Xu et al. (2014).

A rede neural probabilística foi treinada utilizando-se de quatro parâmetros de entrada (B3, B4, B5 e NDVI), gerando como saída uma classificação pertencente ou não a determinado estrato florestal. O trabalho utilizou-se da ferramenta *newpnn* disponibilizado pelo MATLAB<sup>®</sup> R2011b. Para controlar a propagação de funções de base radial no PNN, uma função (*spread*) foi incluída. Se o valor do *spread* é perto de zero a rede irá funcionar como um classificador de vizinho mais próximo. Caso o valor do *spread* aumente, a rede projetada levará em conta vários vetores de entradas próximas e, portanto, leva mais tempo para treinar o PNN. A rede utilizada na classificação neste trabalho utilizou o valor que apresentou o melhor resultado de classificação (0.2). Realizaram-se o treinamento das amostras pelo classificador *newpnn*. Este passo foi desempenhado por meio do comando:

Net = newpnn (P, T, spread)

onde: P = vetores de entrada,

T = vetores de classe alvos,

Spread = Spread de funções de base radial e retorna uma nova rede neural probabilística.

## 2.5. Avaliação do classificador

A avaliação da eficiência das classificações para cada combinação de tipologias florestais foi determinado pelo processo da *matriz de confusão* ou *matriz de erro* (Figura 4), através da precisão global, do nível de exatidão ou confiança da classificação (índice Kappa)(Congalton e Green, 2009) e da análise do gráfico ROC.

		Classe Verdadeira	
		p	n
Classe Indicada pelo classificador	p	Verdadeiro positivo ( <i>tp</i> )	Falso positivo ( <i>fp</i> )
	n	Falso negativo ( <i>fn</i> )	Verdadeiro negativo ( <i>tn</i> )
Totais		P	N

**Figura 4.** Modelo de matriz de confusão.  
Fonte: Adaptado de Fawcett (2006).

A precisão global foi calculada pela soma dos valores que correspondem a diagonal principal ( $n_{ii}$  = número classificações corretamente), pelo ( $N$  = número total de amostras), convertidos em percentagem, conforme descrito na equação 2:

$$PG = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ii}}{N} \quad (2)$$

Onde  $m$ , representa o número de classes presentes na matriz.

O coeficiente Kappa foi calculado de acordo com a equação 3:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_i + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_i + x_{+i})} \quad (3)$$

Em que:  $\hat{K}$  representa o estimador do coeficiente *Kappa*,  $r$  é o número de linhas da matriz quadrada,  $x_{ii}$  é o número de observações na linha  $i$  e da coluna  $i$  (diagonal principal) e  $N$  representa o número total de observações.

O uso do coeficiente *Kappa* ( $K$ ) é satisfatório para avaliar a precisão de uma classificação, devido levar em consideração, principalmente todos os elementos da matriz de confusão, diferente da precisão global que utiliza somente a diagonal principal (Congalton e Green, 2009).

O coeficiente *Kappa* neste estudo é comparado aos índices apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Qualidade de classificação a partir dos valores do coeficiente *Kappa*

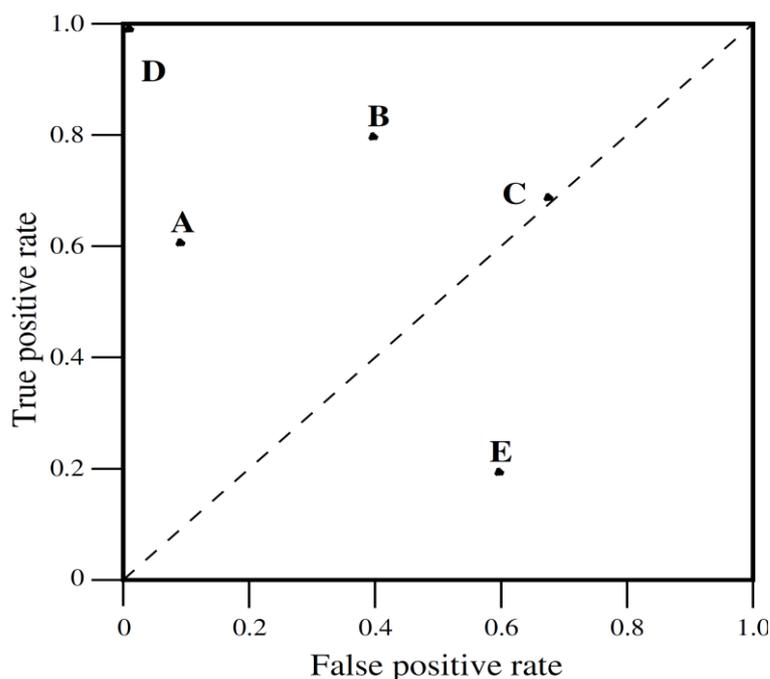
Valor de <i>Kappa</i>	Qualidade
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

Outro modelo eficiente que está em enfoque no aprendizado de máquina, devido à eficiência em analisar classificadores é o gráfico de características do receptor operacional (ROC), baseado na taxa de verdadeiros positivos  $tpr$ , e na taxa de falsos positivos  $fpr$ . O gráfico ROC é formado pela  $fpr$  no eixo das abscissas, e  $tpr$  no eixo das ordenadas (Prati et al., 2008). As taxas de verdadeiros positivos e falsos positivos são obtidas a partir do valor de verdadeiros positivos dividido pelo total positivos ( $P$ ) e o valor de falsos positivos dividido pelo total de negativos ( $N$ ), como demonstrado pela equação 4:

$$tpr\ rate = \frac{tp}{P} \quad fpr\ rate = \frac{fp}{N} \quad (4)$$

Para a classificação, a localização dos pontos dentro do gráfico ROC é importante para avaliar o desempenho (Figura 5). O ponto  $[0, 0]$  no canto inferior esquerdo indica que o classificador apresenta uma taxa de falsos positivos nula, entretanto, também apresenta uma taxa de verdadeiros positivos nula, o inverso acontece com o ponto superior direito  $[1, 1]$ . O melhor cenário possível, considerado como ideal, é uma classificação onde os pontos situam-se no canto superior esquerdo  $[0, 1]$ , onde a taxa de  $fpr$  é 0 e a taxa  $tpr$  é máxima (Fawcett, 2006, Prati et al., 2008).



**Figura 5.** Gráfico ROC mostrando cinco classificadores discretos.  
Fonte: Fawcett (2006).

Um ponto no gráfico ROC é considerado melhor do que outro, quando possui uma taxa de verdadeiros positivos mais elevada e uma taxa de falsos positivos mais baixa, ou ambos. Classificadores próximos ao eixo X podem ser vistos como “conservadores”, pois classificam positivamente apenas com fortes indícios, admitindo pequenos erros falsos positivos, porém, tendem a ter uma taxa de verdadeiros positivos também menor. Classificadores localizados no lado superior direito do gráfico são considerados como “liberais”, eles classificam positivamente com fraca evidência e tendem a ter altas taxas de falsos positivos (Fawcett,

2006, Sá et al., 2012). Na figura 5, A é mais conservador que B, C representa uma classificação aleatória, D é o ponto considerado ideal e E é o inverso de B.

Diversos algoritmos de redes neurais foram compilados no software MATLAB® R2011b, com o propósito de encontrar a rede neural com o melhor resultado na classificação dos estratos florestais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Várias arquiteturas de redes neurais artificiais foram testadas no software MATLAB® R2011b para avaliar os melhores desempenhos na classificação das tipologias florestais. As melhores classificações foram obtidas através das RNAs apresentadas na tabela 2.

**Tabela 2.** Melhores resultados de classificação.

Rede	Spread	Precisão Global	Coefficiente Kappa
<i>newpnn</i>	0.2	88%	76%
<i>newrb</i>	1.2	84%	68%
<i>newrbe</i>	0.9	81%	62%

Percebe-se que a rede que obteve o melhor resultado foi a rede neural probabilística de base radial pertencente ao pacote de ferramentas do programa, denominada “*newpnn*”. Obteve-se a melhor classificação com o ajuste do *spread* em 0.2.

O resultado da rede “*newpnn*” é apresentado na matriz de confusão, indicada na figura 6.

		Classe Verdadeira	
		p	n
Classe Indicada pelo classificador	p	43	5
	n	7	45
Totais		50	50

**Figura 6.** Matriz de confusão com os resultados do classificador.

O resultado da precisão global do classificador foi de 88%, resultado ligeiramente superior ao trabalho de Varella et al. (2002), que utilizou uma rede neural de retropropagação do erro para classificar solo descoberto da cobertura do solo com vegetação na localidade Paraíso, no município de Viçosa, Minas Gerais, obtendo um valor de índice global de 82,10%.

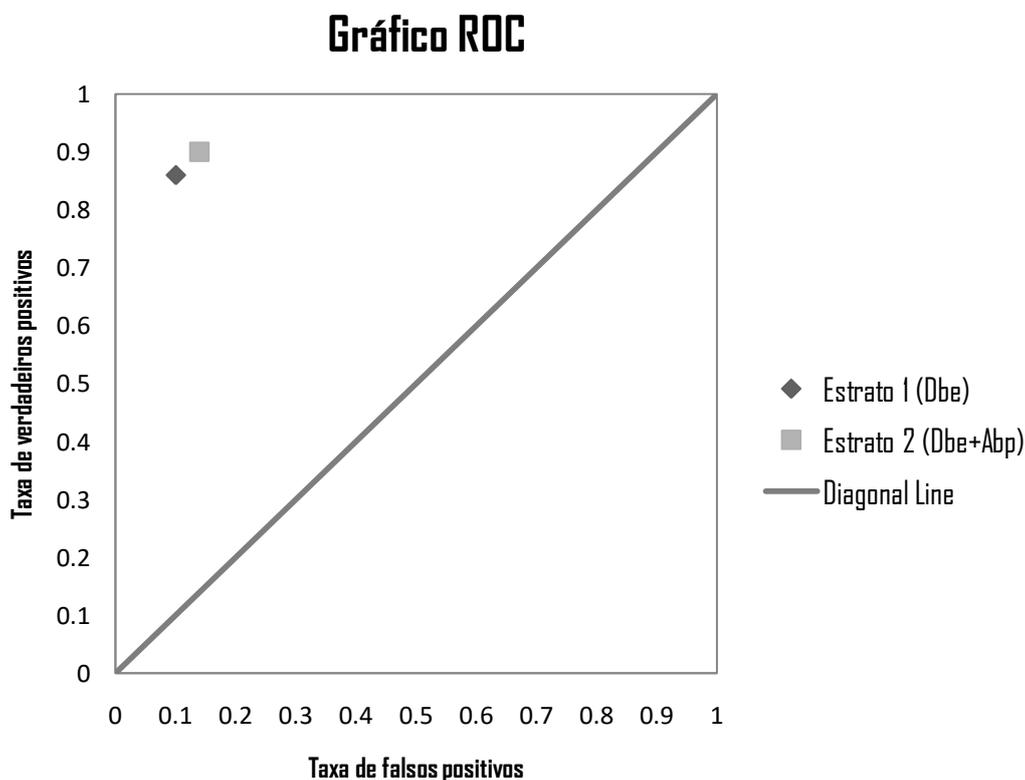
Entretanto, como a precisão global leva em consideração somente os resultados da diagonal principal, optou-se por calcular também o coeficiente *Kappa*, cujo resultado foi de 76%, sendo este avaliado, de acordo com Landis e Koch (1977), como um classificador muito bom. Todavia, mesmo valores de índice *Kappa* elevados, próximos a 100%, não garantem que os resultados obtidos na classificação sejam concordantes com a realidade de campo, pois o valor do coeficiente está relacionado com os dados da amostragem utilizada, mesmo quando os dados utilizados para a avaliação são diferentes dos da classificação, logo, mesmo sendo

importante e significativa a utilização do índice *Kappa* na avaliação do classificador, outro método de avaliação deve ser empregado para a verificação final da qualidade da classificação (Moreira et al., 2013) para isto, utilizou-se também neste estudo a análise do gráfico ROC.

Foram classificados incorretamente como pertencentes ao estrato 2, enquanto que pertenciam ao estrato 1, 14% dos pixels do estrato 1 e como pertencentes ao estrato 1, enquanto que pertenciam ao estrato 2, 10% dos pixels do estrato 2. Sendo que 86% do total de pixels do estrato 1 foram classificados corretamente para o estrato 1, e 90% do total de pixels do estrato 2 foram classificados corretamente como estrato 2.

A rede *newpnn*, devido a sua arquitetura de camadas de competição, devolve na saída da rede somente valores correspondentes a pertencer ou não a determinada classe, caracterizando-a como classificador discreto (Fawcett, 2006). Deste modo torna-se possível a construção do gráfico ROC.

Utilizou-se da análise do gráfico ROC, uma vez que é possível avaliar a classificação através da visualização. Este tipo de gráfico faz uma relação entre a taxa de verdadeiros positivos *tpr* e falsos positivos *fpr*. Sendo que o ponto, quando plotado, quanto a mais noroeste do gráfico [0,1], melhor a classificação (Fawcett, 2006). O gráfico ROC construído é apresentado na figura 7.



**Figura 7.** Gráfico ROC com dados do classificador

O ponto correspondente ao estrato 1 (Dbe), apresenta-se mais próximo ao eixo y, com uma menor taxa de falsos positivos, e uma menor taxa de verdadeiros positivos quando comparado a classificação do estrato 2 (Dbe + Abp).

Pontos localizados mais a esquerda do Gráfico ROC são denominados como conservadores, pois apresentam uma menor taxa de falsos positivos, enquanto que pontos mais a direita do gráfico são denominados liberais, por tanto apresentam uma maior taxa de falsos positivos (Fawcett, 2006). Os classificadores que se apresentam mais próximos ao canto inferior esquerdo são considerados conservativos, por fazer uma classificação positiva

quando há grande segurança na classificação, havendo menores erros falsos positivos e frequentemente também baixas taxas de verdadeiros positivos (Prati et al., 2008). Neste caso observamos que o classificador é mais conservativo para o estrato 1e mais liberal para o estrato 2. Desta maneira, ao comparar a localização dos pontos deste classificador com a figura 5, também nota-se que a classificação é muito próxima ao ponto considerado como ideal, pois os pontos do classificador, além de estarem muito próximos, estão situados a noroeste do gráfico, o que de acordo com vários autores (Prati et al., 2008; Fawcett, 2006; Sá et al., 2012), configura-se como uma excelente classificação.

Observa-se no gráfico uma aproximação entre os pontos dos estratos, ou seja, o classificador apresenta um grau de classificação similar para ambos os estratos.

#### 4. CONCLUSÃO

A classificação de duas tipologias florestais, provenientes de um inventário florestal, associados às bandas 3, 4 e 5 do Satélite LandSat 5TM, por meio da rede neural probabilística de base radial (RBF), apresentou resultados satisfatórios para o presente estudo, com uma precisão global de 88%, conseguindo uma classificação muito boa de acordo com o coeficiente Kappa.

A análise do gráfico ROC demonstra visualmente a eficiência do classificador, uma vez que os pontos encontram-se a noroeste do gráfico e longe da linha diagonal, o que significaria uma classificação aleatória.

É importante ressaltar que a tipologia florestal Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras é um estrato de transição entre a Dbe e Abp e, portanto, esperava-se uma confusão do classificador, uma vez que há certa similaridade entre as tipologias. Todavia, o classificador obteve resultados aceitáveis.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR), por fornecer o inventário florestal utilizado neste estudo e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

#### 6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. C.; BARROS, P. L. C.; MONTEIRO, J. H. A.; ROCHA, B. R. P. Estimation of aboveground forest biomass in Amazonia with neural networks and remote sensing. **IEEE Latin Amer. Trans**, v. 7, n. 1, p. 27-32, 2009.
- CHAGAS, C. S.; VIEIRA, C. A.; FERNANDES FILHO, E. I.; CARVALHO JUNIOR, W. Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 319-327, 2009.
- CONGALTON, R.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data - Principles and Practices**. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. 183 p.

- EMBRAPA. **Zoneamento Ecológico-Econômico da área de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)**. Belém: EMBRAPA, p. 101, 2007.
- ESPINHOSA, Miriam Cristina; GALO, Maria De Lourdes Bueno Trindade. O uso de redes neurais artificiais na análise da ambigüidade entre classes de água e plantas aquáticas. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 10, n. 2, 2004.
- FAWCETT, Tom. An introduction to ROC analysis. **Pattern recognition letters**, v. 27, n. 8, p. 861-874, 2006.
- GUTMAN, G.; HUANG, C.; CHANDER, G.; NOOJIPADY, P.; MASEK, J. G. Assessment of the NASA-USGS global land survey (GLS) datasets. **Remote sensing of environment**, v. 134, p. 249-265, 2013.
- LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. An application of hierarchical Kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, p. 363-374, 1977.
- MANFLOPS – Manejo Florestal e Prestação de Serviço - Inventário Florestal Diagnóstico do Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns, Santarém-Pará, 2010.
- MIRANDA, I. S. Fenologia do estrato arbóreo de uma comunidade de cerrado em Alter-do-Chão, PA. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 18, n. 2, p. 235-240, 1995.
- MOREIRA, Gilberto Fialho; FERNANDES, Raphael Bragança Alves; FERNANDES FILHO, Elpídio Inácio; VIEIRA, Carlos Antônio Oliveira; SANTOS, Karla Aparecida. Classificação Automatizada do Uso e Cobertura do Solo a Partir de Imagens Landsat (Automated Classification of Use and Land Cover from Landsat Images). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 1, p. 058-065, 2013.
- PRATI, R. C.; BATISTA, GEAPA; MONARD, M. C. Curvas ROC para avaliação de classificadores. **Revista IEEE América Latina**, v. 6, n. 2, p. 215-222, 2008.
- RIBEIRO, Selma Regina Aranha; CENTENO, Jorge Silva. Classificação do uso do solo utilizando redes neurais e o algoritmo MAXVER. **Anais do XX Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, p. CD, Foz do Iguaçu, INPE**, 2001.
- RIBEIRO, S. C., JACOVINE, L. A. G., SOARES, C. P. B., MARTINS, S. V., SOUZA, A. L. D., NARDELLI, A. M. B. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 33, n. 5, p. 917-926, 2009.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Symposium of Significant Results Obtained with ERTS-1, 3, 1973. Greenbelt, Maryland. Proceedings... Washington: NASA SP-351. p.309-317, 1973.
- SÁ, J. A. S.; ROCHA, B. R. P.; ALMEIDA, A. C.; SOUZA J. R. “Recurrent self-organizing map for severe weather patterns recognition,” *Recurrent Neural Networks and Self Computing*, pp. 151-175, March 2012
- SPECHT, D. F. Probabilistic neural networks and the polynomial Adaline as complementary techniques for classification. **IEEE Transactions Neural networks**, vol. 1, p. 111-121, 1990.

- VARELLA, C. A.; PINTO, F. D. A. D. C.; QUEIROZ, D. M. D.; SENA JÚNIOR, D. G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 225-229, 2002.
- VASCONCELOS, Cíntia Honório; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí PA. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 3, p. 487-493, 2004.
- XU, S.; WU, C.; GONSAMO, A.; SHEN, Y. Delineation of Rain Areas with TRMM Microwave Observations Based on PNN. **Remote Sensing**, v. 6, n. 12, p. 12118-12137, 2014.

## **Artigo 2**

Título: Estimativa de biomassa arbórea em diferentes intervalos volumétricos, por meio de redes neurais artificiais associadas a dados de Inventário Florestal e sensoriamento remoto no Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará – Brasil.

Autores: Wanderson Gonçalves e Gonçalves, Hebe Morganne Campos Ribeiro, José Alberto Silva de Sá, Gundisalvo Piratoba Morales, Hélio Raymundo Ferreira Filho, Arthur da Costa Almeida.

Revista: Scientia Florestalis (ISSN: 2318-1222. Qualis B1)

**Estimativa de biomassa arbórea em diferentes intervalos volumétricos, por meio de redes neurais artificiais associadas a dados de Inventário Florestal e sensoriamento remoto no Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará – Brasil.**

**Biomass estimation arboreal in different volumetric intervals through artificial neural networks associated with forest inventory data and remote sensing in set of Glebes Mamuru-Arapiuns - Pará - Brazil.**

**RESUMO**

O presente trabalho objetivou a classificação, de forma automática, de quantidades estimadas de biomassa arbórea de diferentes estratos florestais em diferentes intervalos volumétricos, através de dados provenientes de um inventário florestal, fornecido pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR), associados a imagens do Satélite LandSat 5TM, por meio de Redes Neurais Artificiais; Logo, este estudo avaliou a eficiência das redes neurais artificiais de função de base radial (RBF) na estimativa de biomassa de dois tipos florestais, Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (Dbe) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (Dbe + Abp), no conjunto de glebas estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará, com uma metodologia integrada envolvendo conhecimentos de inventário florestal, sensoriamento remoto e inteligência computacional com a finalidade de encontrar padrões entre os dados de refletância e os dados reais do levantamento de campo, afim de contribuir para a tomada de decisões e o desenvolvimento regional. Os melhores resultados de classificação de biomassa nos intervalos volumétricos para os dois estratos florestais por meio de redes neurais artificiais de função de base radial (RBF), obtiveram precisão global para a classificação de biomassa nos intervalos volumétricos para o estrato 1 de 88% e coeficiente kappa com 77.1%, avaliado como um bom classificador; e precisão global para a classificação de volume intervalar para o estrato 2 de 83% e coeficiente kappa de 65.7%, também avaliado como um bom classificador.

**Palavras-Chave:** Biomassa, Redes Neurais Artificiais, Desenvolvimento Regional, Sensoriamento Remoto, Inventário Florestal.

**ABSTRACT**

This study aimed to classification, of automatic way, of the estimated amounts of arboreal biomass of different forest strata in different volumetric intervals, using data from a forest inventory, provided by the Forest Development Institute of Para (IDEFLOR) associated with images Satellite Landsat 5TM through Artificial Neural Networks; Therefore, this study evaluated the efficiency of artificial neural networks in estimating biomass of two forest types, Forest of Lowland Emerging Canopy (Dbe) and Rain Forest Lowland Emerging Canopy + Open with palm trees (Dbe + Abp), the set of glebes, MamuruArapiuns - State - Pará, with an integrated approach involving, forest inventory expertise, remote sensing and computational intelligence in order to

find patterns between the reflectance data and the actual data of field survey in order to contribute to the decision-making and regional development. The best result biomass classification in volumetric intervals between forest strata was obtained by artificial neural networks radial basis function (RBF) with total accuracy for biomass classification in volumetric intervals to stratum 1 88% and kappa coefficient with 77.1%, considered a good classifier; and overall accuracy for the interval volume rating for the layer 2 of 83% and kappa coefficient of 65.7%, also considered as a good classifier.

**Keywords:** Biomass, Artificial Neural Networks, Regional Development, Remote Sensing, Forest Inventory.

## INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica possui grande importância, por ser a maior área de floresta tropical ainda existente, por exercer a função de sequestro do carbono atmosférico e pela potencial emissão de carbono na atmosfera devido ao desmatamento. (Fearnside, 1991; Soares et al., 2005).

Diversas atividades florestais são responsáveis pelo retorno do carbono armazenado nas árvores à atmosfera, entre elas o processo de fabricação do papel e a queima da madeira para a produção de carvão (Soares et al., 2005).

Devido a capacidade de armazenamento de substâncias prejudiciais à saúde na estrutura das árvores, há um crescente interesse em estudos relacionados à biomassa em florestas, bem como a quantificação de ciclagem de nutrientes e levantamento de informações para fins energéticos e de sequestro de carbono (Silveira et al., 2008; Silveira, 2010).

A criação de modelos que estimam com precisão a produtividade em regiões de floresta são fundamentais para a intensidade da intervenção do manejo, ações de proteção e a tomada de decisão nessas áreas florestadas (Santana et al., 2008; Rezende et al., 2006)

Como alternativa aos combustíveis fósseis, a biomassa apresenta-se em parte como alternativa renovável de geração de energia, pois, a utilização da biomassa por tecnologias modernas a torna uma escolha para a redução da emissão de carbono na atmosfera uma vez que é considerada como energia limpa (Sunphorka et al., 2015; Puig-Arnavat et al., 2013).

As dificuldades nos estudos de quantificação de biomassa estão relacionadas ao alto custo e a demora, além de serem muito trabalhosos. Estes estudos podem ser feitos por dois métodos conhecidos, o método direto, por meio do corte e pesagem dos componentes das árvores e pelo método indireto, por meio de estimativas que envolvem equações alométricas e dados de sensoriamento remoto, sem a necessidade do corte das árvores. Com a constante diminuição das florestas, e conseqüentemente também do carbono estocado, cresce a necessidade de estudos de biomassa com métodos que evitem a derruba das árvores (Watzlawick et al., 2006; Watzlawick et al., 2009).

Atualmente, com o crescente desenvolvimento e evolução dos aparatos tecnológicos relacionados a imagens de sensoriamento remoto e de processamento de imagens, alcançou-se um melhor conhecimento das características estruturais das florestas bem como informações de biomassa. Desta maneira, as informações de biomassa associadas a dados de sensoriamento remoto são utilizadas para alcançar as melhores estimativas (Watzlawick et al., 2009).

Assim, faz-se necessário a utilização de técnicas de determinação de biomassa adequadas ao estudo pretendido. As redes neurais artificiais têm sido usadas com sucesso em diferentes áreas da tecnologia, tais como processamento de imagem, processamento de sinais, aproximação de funções e controle, e quando associadas a dados de sensoriamento remoto tem se mostrado eficiente, pois manuseiam simultaneamente uma aplicação não-linear de um espaço multidimensional propiciando a aplicação em complexos relacionamentos estatísticos (Frate e Solimini, 2003, Haykin, 2001, Puig-Arnavat et al., 2013).

As redes neurais artificiais são baseadas nos sistemas neurais biológicos, e são constituídas por neurônios artificiais, unidades de processamento interconectadas, cujo funcionamento é determinado pelos pesos em cada conexão, logo, ao apresentar um conjunto de dados, as redes neurais tem a capacidade de armazenar esse conhecimento e generalizá-lo a dados desconhecidos. (Almeida et al., 2009; German e Gahegan, 1996; Gorgens et al., 2009; Sunphorka et al., 2015).

Watzlawick et. al (2009), utilizou redes neurais artificiais associadas a imagens do satélite IKONOS II com o objetivo de otimizar a estimativa de biomassa e carbono orgânico na Floresta com Araucária e obteve resultados satisfatórios, uma vez que a metodologia viabilizou a estimativa em menor tempo, logo, com menor custo. Almeida et al. (2009) estimou o potencial energético de biomassa florestal na região do entorno do Lago de Tucuruí, por meio de uma rede neural RBF associada a dados do sensor LANDSAT, índice de vegetação (NDVI) e levantamento de campo, obtendo resultados adequados para o tipo de trabalho com um erro médio quadrático (RMS) de 2,343 e um coeficiente de correlação de 0,81, propiciando uma redução de custos quando comparados ao uso de outras técnicas como inventário florestal.

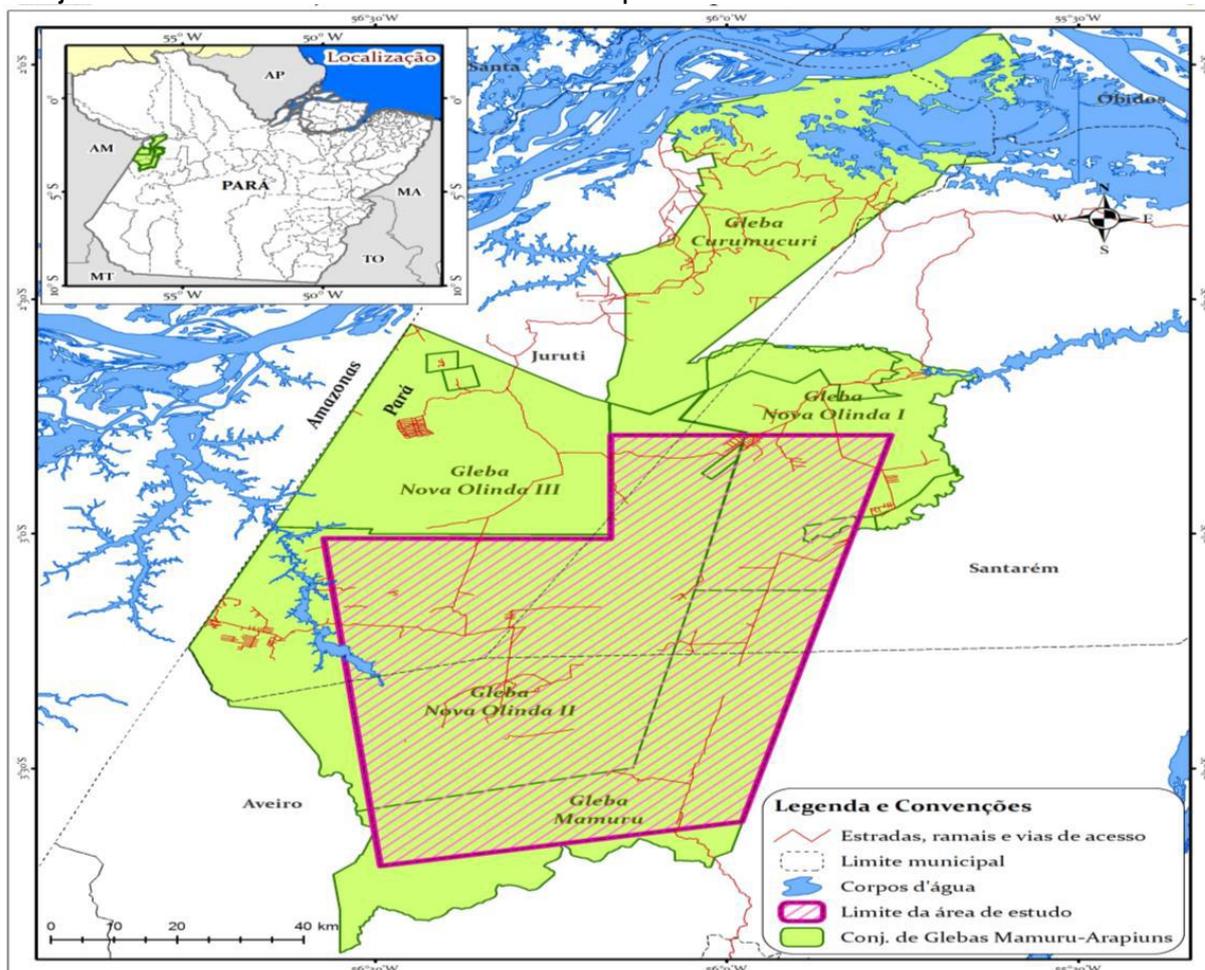
Várias pesquisas utilizam redes neurais artificiais para classificação de diversas classes de informação e na quantificação de biomassa arbórea. O presente trabalho visa classificar, de forma automática, quantidades estimadas de biomassa arbórea de diferentes estratos florestais em diferentes intervalos volumétricos, através de dados provenientes de um inventário florestal, fornecido pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará (IDEFLOR), associados a imagens do Satélite LandSat 5TM, por meio de Redes Neurais Artificiais; Logo, este estudo objetiva verificar a eficiência das redes neurais artificiais na estimativa de biomassa de dois tipos florestais, Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (Dbe) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (Dbe + Abp), no conjunto de glebas estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará, com uma metodologia integrada envolvendo conhecimentos de inventário florestal, sensoriamento remoto e inteligência computacional com a finalidade de encontrar padrões entre os dados de refletância e os dados reais do levantamento de campo, afim de contribuir para a tomada de decisões e o desenvolvimento regional.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### *Caracterização da área de estudo*

A região de estudo pertence ao conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns, localizadas entre os municípios de Santarém, Juruti e Aveiro, no Estado do Pará (Figura 1), e compreende uma área de aproximadamente 600.000 hectares, sendo incluídas dentro do limite as Glebas Nova Olinda I e II e a Gleba Mamuru. Os dados foram disponibilizados pelo Instituto de Desenvolvimento Florestal do Pará

(IDEFLOR), por meio de inventário florestal “Inventário Florestal Diagnóstico do Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns – Pará”.



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo, conjunto de Glebas Mamuru-Arapiuns, Estado do Pará.

Fonte: Silva, 2013

O relevo constitui-se predominantemente de planícies e planaltos, ocupando a parte norte e leste do entorno, sendo que essas planícies compõem-se de área de várzea formadas pelo rio Amazonas e os deltas de igarapés e rios afluentes da região, como o rio Mamuru. Essas planícies sofrem com inundações sazonais do rio Amazonas. A hidrografia é formada por quatro bacias principais, a Bacia do Rio Amazonas, importante por ser a principal via de entrada e saída da área, devido à alta navegabilidade; a Bacia do Tapajós, onde localiza-se grande floresta de terra firme e a margem direita a floresta nacional do Tapajós; a Bacia Mamuru, pouco conhecida, entretanto, com recursos naturais ainda intocados e localização estratégica, uma vez que se localiza entre o Estado do Pará e o Estado do Amazonas; e a Bacia Arapiuns, ultimo grande afluente do rio Tapajós, localizado entre a Bacia do Amazonas e Bacia do Tapajós, correspondendo ao equivalente a 28% da área total municipal (Manflops, 2010). O solo da região é composto de latossolo amarelo, nas áreas alagáveis, de terra firme e próximo a grandes rios, como o Amazonas; e GleissoloHáplico (Embrapa, 2007)

A estação chuvosa compreende os meses de dezembro a junho e a estação seca de julho a novembro, com temperatura média anual de 27,7°C e precipitação

pluviométrica em torno de 1.950mm por ano. O clima é definido como quente e úmido do tipo Amw de Köppen (Miranda, 1995).

### *Material*

Neste estudo, foram utilizadas duas cenas do sensor LandSat 5 TM, de outubro de 2009, para coincidir com o registro do inventário, uma vez que o mesmo foi realizado neste mesmo ano, com o objetivo de amenizar variações temporais nos dados e aproximar a veracidade das informações. As bandas utilizadas foram as 3, 4 e 5 com resolução espacial de 30 m x 30 m pertencentes a órbita/ponto 228/62 e 228/63, adquiridas do site USGS (earthexplorer.usgs.gov, espa.cr.usgs.gov).

### *Inventário Florestal*

A metodologia para a execução do inventário florestal deu-se por meio de sete etapas: planejamento, treinamento, amostragem, levantamento de campo, identificação de material botânico, consistência dos dados, tratamento e processamento dos dados. Neste estudo é importante a metodologia de amostragem, uma vez que a qualidade dos dados está diretamente ligada aos dados obtidos em campo.

O inventário apresenta quatro tipologias florestais (Tabela 1): Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (**Dbe**), com uma formação que ocupa em geral as planícies costeiras, caracterizada por ecótipos de dossel emergente; Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (**Dbe + Abp**), é um estrato de transição entre um dossel denso e um dossel aberto com presença de palmeiras; Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (**Abp**), apresenta predominância da faciação com palmeiras; e Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Uniforme (**Dau**), ocorre ao longo dos rios, com dossel uniforme e tipicamente com densa vegetação (IBGE, 1992)

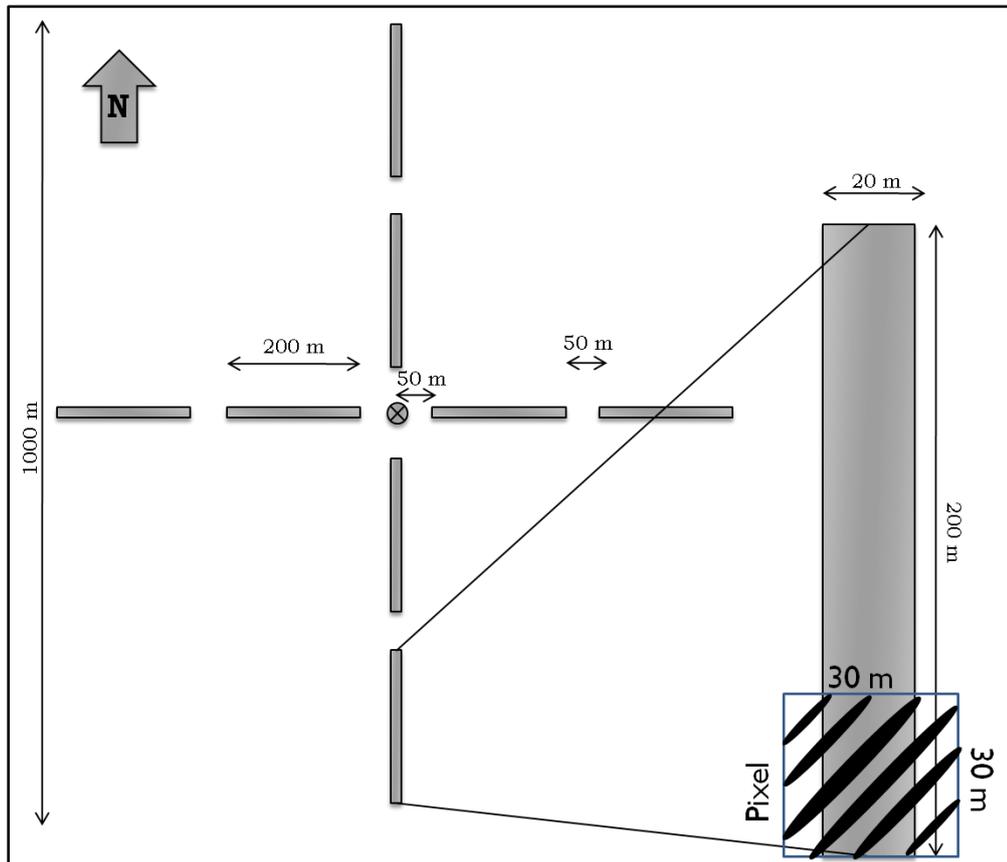
**Tabela 1.** Tipologias florestais presentes no inventário com as respectivas áreas estimadas.

Tipologias	Área (ha)
<b>Dbe - Floresta Ombrófila Densa Dossel Emergente</b>	246.321,394
<b>Dbe + Abp - Floresta Ombrófila Densa terras Baixas Dossel Emergente + Aberta com Palmeiras</b>	304.918,307
<b>Abp - Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras</b>	4.444,451
<b>Dau - Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Uniforme</b>	9.057,537
<b>Total:</b>	<b>564.741,689</b>

Fonte: Manflops, 2010.

O sistema de amostragem definido no inventário florestal seguiu as determinações do Serviço Florestal Brasileiro. Dois tipos de amostragem foram utilizados: A amostragem estratificada, utilizada nas tipologias florestais predominantes da região de estudo: Floresta Ombrófila Densa de Terras baixas Dossel emergente (**Dbe**) e Floresta Ombrófila Densa Terras baixas Dossel emergente + Aberta com palmeiras (**Dbe + Abp**), com 30 conglomerados

distribuídos aleatoriamente, sendo 15 unidades para cada tipologia florestal; e a amostragem simples ao acaso, aplicada para os estratos menores: Floresta Ombrófila Aberta com Palmeiras (**Abp**) e Floresta Ombrófila Densa Aluvial Dossel Uniforme (**Dau**), com 20 subunidades distribuídas aleatoriamente, sendo 10 para cada estrato florestal (Manflops, 2010). Cada subunidade possui as dimensões de 20 x 200m (Figura 2)



**Figura 2.** Representação da amostragem em conglomerado.

Para este trabalho foram utilizadas as tipologias florestais dominantes (**Dbe** e **Dbe +Abp**), pois representam a maior parte da área de estudo e por tanto, oferecem mais dados para alimentar a rede neural artificial. Os estratos menores, por terem metodologia de amostragem diferente e menos amostras, não foram utilizados.

#### *Metodologia no Quantum Gis*

As imagens provenientes do sensor LandSat 5 TM foram importadas para o software livre QGIS Wien 2.8 (2015). Foram montados os mosaicos e unidas as duas cenas para a obtenção dos dados. Posteriormente, foram plotados os pontos centrais de cada conglomerado, por meio das coordenadas disponibilizadas no inventário florestal.

Na figura 2 observa-se que a dimensão do pixel da imagem do sensor tem resolução de 30 m x 30 m, portanto, maior em largura e menor em comprimento que o tamanho da subunidade, 20 m x 200 m. Para contorna este problema foram extraídos o *Digital Number* (DN) de 7 pixels a partir do início de cada subunidade

totalizando 210 m, ou seja, aproximando-se do comprimento total da subunidade, 200 m.

Os valores de refletância das bandas 3, 4 e 5 e o *Normalized Difference Vegetation Index*(NDVI) foram copiados de cada pixel e importados para uma planilha do Excel constituindo-se a massa de dados.

O NDVI foi calculado de acordo com a equação 1 (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = \frac{(B4 - B3)}{(B4 + B3)} \quad (1)$$

Cada subunidade apresenta um determinado valor de volume, estimado pelas equações feitas no inventário florestal, sendo assim, este valor total de volume foi diluído proporcionalmente aos valores de NDVI para cada pixel constituinte da subunidade. A equação 2 de diluição do volume proporcional ao índice de vegetação é apresentada abaixo; onde :  $Vd$  é o Volume dissolvido.

$$Vd = \frac{(NDVI * V)}{(NDVI_1 + \dots + NDVI_7)} \quad (2)$$

A massa de dados foi ordenada com as informações das bandas 3, 4 e 5, NDVI e Volume dissolvido dispostas nas colunas. Foram escolhidos aleatoriamente 700 exemplos, dos quais 560 foram usados para treinamento e 140 utilizados para o teste. Destes, 350 exemplos pertencem ao estrato 1 (280 para treinamento e 70 para teste), e 350 para o estrato 2 (280 para treinamento e 70 para teste).

Devido aos erros gerados na estimativa de volume do inventário florestal e aos erros de diferença entre o tamanho do pixel e o tamanho da subunidade optou-se por estimar a biomassa em diferentes intervalos volumétricos. Este volume foi determinado em valores que variam de 20 a 40 m<sup>3</sup> e 40 a 60 m<sup>3</sup>.

Com o conjunto de dados escolhidos referentes às informações do sensor LandSat 5 TM, realizou-se a normalização dos dados, pelo método *min-max*, escalonando-os em valores entre 0 e 1. Este procedimento foi adotado em todas as colunas de dados, exceto no volume, que constitui a saída da rede, com o objetivo de evitar a saturação da RNA e que variáveis com grandes valores, mas pouco relevantes, influenciem variáveis pequenas, porém muito relevantes a rede.

### *Rede Neural com Função de Base Radial (RBF)*

O treinamento foi realizado por meio da *toolbox* do software MatLab 2011b, por possuir várias ferramentas de redes neurais artificiais. Foi apresentada à rede dois conjuntos de dados, de 350 exemplos para treinamento e 70 exemplos para teste, um para cada tipologia florestal (**Dbe** e **Dbe+Abp**) e os valores das faixas de volume foram apresentados como saída no conjunto de treinamento, uma vez que a rede é supervisionada.

A rede neural artificial utilizada neste estudo foi a do tipo de função de base radial (RBF). O diferencial deste tipo de rede é a utilização da função da base radial como função de transferência nos neurônios da camada oculta. A utilização de uma

rede RBF beneficia a classificação, pois não há atribuição de probabilidades ao conjunto de dados e a determinação do pixel a uma classe é feita por meio do efeito de todas as bases radiais simultaneamente (Nishida e Bastos, 1998).

A arquitetura de uma RBF, apresentada na figura 3, é formada basicamente de três camadas: onde a primeira corresponde a camada de entrada com os  $n$  vetores; a segunda à camada oculta com função de base radial, gaussiana; e a terceira é a camada de saída com os valores da classificação, neste caso, compreendendo uma saída igual a 20 - 40 m<sup>3</sup> ou a 40 - 60 m<sup>3</sup>. Onde  $w$  representa os pesos e  $y$  a saída da rede.

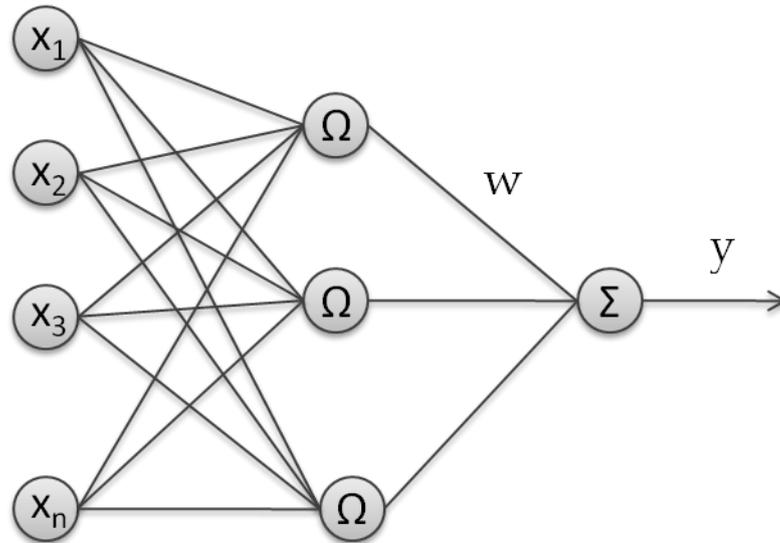


Figura 3. Arquitetura de uma rede neural de base radial (RBF)

#### *Avaliação do classificador*

A avaliação do classificador foi realizada por meio da análise da matriz de confusão ou matriz de erro, um dos métodos mais utilizados para avaliação de resultados de sensoriamento remoto (Watzlawicket al., 2003).

Através da matriz de confusão foi determinado o nível de exatidão global do classificador, o cálculo do coeficiente Kappa (Congalton, 1991), e a análise do gráfico ROC.

O nível de exatidão global foi determinado pela soma da diagonal principal ( $n_{ii}$ = número classificações corretamente), dividida pelo  $N$  ( $N$  = número total de amostras), como demonstra a equação 3:

$$PG = \frac{\sum_{i=1}^m n_{ii}}{N}$$

(3)

Onde  $m$ , é o numero de classes da matriz.

O índice kappa foi calculado de acordo com a equação 4:

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_i + x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (x_i + x_{+i})} \quad (4)$$

Onde:  $\hat{K}$  representa o estimador do coeficiente *Kappa*,  $r$  é o número de linhas da matriz quadrada,  $x_{ii}$  é o número de observações na linha  $i$  e da coluna  $i$  (diagonal principal) e  $N$  representa o número total de observações.

A utilização do coeficiente kappa como avaliador de classificação demonstra-se satisfatório, pois contabiliza todos os valores da matriz de confusão em contraponto a precisão global que utiliza somente a diagonal principal para determinação da acurácia. (Congalton, 1991).

O coeficiente *Kappa* neste estudo é comparado aos índices apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Qualidade de classificação a partir dos valores do coeficiente *Kappa*

Valor de <i>Kappa</i>	Qualidade
< 0,00	Péssima
0,00 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Boa
0,60 - 0,80	Muito boa
0,80 - 1,00	Excelente

**Fonte:** Adaptada de Landis e Koch (1977)

### Análise ROC

A análise gráfica da eficiência dos classificadores foi feita por meio do gráfico do *ReceiverOperatingCharacteristics* (ROC), pois possibilita uma melhor visualização multidimensional do problema. São gráficos bidimensionais baseados na compensação entre as taxas de verdadeiros positivos (*tpr*) plotada no eixo Y, e falsos positivos (*fpr*) plotada no eixo X (Fawcett, 2006, Prati et al., 2008).

Para a classificação, a localização dos pontos dentro do gráfico ROC é importante para avaliar o desempenho. O ponto [0, 0] no canto inferior esquerdo indica que o classificador apresenta uma taxa de falsos positivo nula, entretanto, também apresenta uma taxa de verdadeiros positivos nula, o inverso acontece com o ponto superior direito [1, 1]. O melhor cenário possível é uma classificação onde os pontos situam-se no canto superior esquerdo [0, 1], onde a taxa de *fpr* é 0 e a taxa *tpr* é máxima (Fawcett, 2006, Prati et al., 2008)..

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Várias arquiteturas de rede foram testadas no software Matlab 2011b, para avaliar os melhores desempenhos na classificação da biomassa dentro dos intervalos de volumes definidos. As melhores classificações do estrato 1 e do estrato 2, foram obtidas através das redes neurais artificiais de base radial (RBF), apresentadas na tabela 3.

**Tabela 3.** Resultado dos melhores resultados de classificação

Estrato	Rede	Spread	Precisão Global	Coefficiente Kappa
1	newpnn	0.1	87%	74.3%
1	newrbe	1	84%	68.6%
1	newrbe	3.8	88%	77.1%
2	newpnn	0.2	83%	65.7%
2	newrb	3.5	80%	60.0%
2	newrb	3.6	80%	60.0%

Para controlar a propagação de funções de base radial, uma função (*spread*) é incluída as redes. Se o valor do *spread* é perto de zero a rede irá funcionar como um classificador de vizinho mais próximo. Caso o valor do *spread* aumente, a rede projetada levará em conta vários vetores de entradas próximas e, portanto, levará mais tempo para treinar a rede.

### Resultado do volume intervalar referente ao estrato 1 (Dbe)

A rede que obteve o melhor resultado de classificação para o volume intervalar no estrato 1 foi a RNA *Exact Design* “*newrbe*”, com o *spread* ajustado em 3.8.

O resultado da rede “*newrbe*” correspondente as classificações do estrato 1 para as faixas de volume 20 – 40 m<sup>3</sup> e 40 – 60 m<sup>3</sup> é apresentado na matriz de confusão na figura 4.

		Classe Verdadeira	
		p	n
Classe Indicada pelo classificador	p	30 ( <i>tp</i> )	3 ( <i>fp</i> )
	n	5 ( <i>fn</i> )	32 ( <i>tn</i> )
Totais		P	N

**Figura 4.** Matriz de confusão com os resultados da rede *newrbe*.

A partir da matriz de confusão é possível observar uma boa classificação entre as duas faixas de volume. A precisão global do classificador foi de 88%, todavia, devido à utilização somente da diagonal principal, o cálculo do coeficiente kappa foi realizado, com um resultado de 77.1%, o que de acordo com a tabela 1 é considerado como um classificador muito bom.

Quanto aos níveis de acerto e erro, as classificações feitas incorretamente como pertencentes as faixas de volume 40 – 60 m<sup>3</sup>, enquanto que pertenciam a faixa 20 – 40 m<sup>3</sup>, foram de 14% dos pixels pertencentes a faixa 20 – 40 m<sup>3</sup>; e classificadas incorretamente como 20 – 40 m<sup>3</sup>, enquanto que pertenciam a faixa 40 – 60 m<sup>3</sup>, foram de 8,6% dos pixels pertencentes a faixa 40 – 60 m<sup>3</sup>. Logo, classificou-se corretamente 86% do total de pixels de volume 20 – 40 m<sup>3</sup>, e 91,4% do total de pixels de volume 40 – 60 m<sup>3</sup>.

#### *Resultado do volume intervalar referente ao estrato 2 (Dbe+Abp)*

O melhor resultado de classificação para a determinação do volume intervalar do estrato 2 foi obtido pela RNA *Probabilistic Neural Networks* “*newpnn*” com os *spread* ajustado em 0.2.

O resultado da rede “*newpnn*” correspondente as classificações do estrato 2 para as faixas de volume 20 – 40 m<sup>3</sup> e 40 – 60 m<sup>3</sup> é apresentado na matriz de confusão na figura 5.

		Classe Verdadeira	
		p	n
Classe Indicada pelo classificador	p	23 ( <i>tp</i> )	0 ( <i>fp</i> )
	n	12 ( <i>fn</i> )	35 ( <i>tn</i> )
Totais		P	N

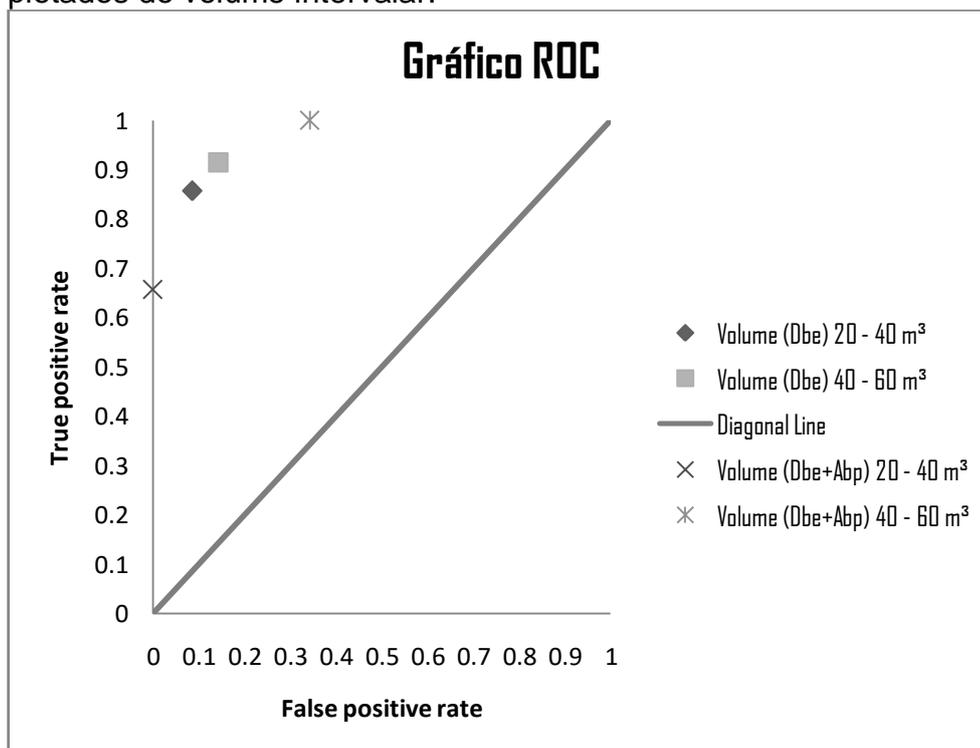
**Figura 5.** Matriz de confusão com os resultados da rede *newpnn*.

A precisão global do classificador para a estimativa do intervalo de volume de biomassa no estrato 2 foi de 83%, o cálculo do coeficiente kappa resultou em 65.7%, o que de acordo com a tabela 1 é avaliado como um classificador muito bom.

Quanto aos níveis de acerto e erro, as classificações feitas incorretamente como pertencentes as faixas de volume 40 – 60 m<sup>3</sup>, enquanto que pertenciam a faixa 20 – 40 m<sup>3</sup>, foram de 34% dos pixels pertencentes a faixa 20 – 40 m<sup>3</sup>; enquanto que na faixa de volume 40 – 60 m<sup>3</sup> não houveram pixels classificados incorretamente como 20 – 40 m<sup>3</sup> dentro da segunda faixa de volume. Logo, classificou-se corretamente 66% do total de pixels de volume 20 – 40 m<sup>3</sup>, e 100% do total de pixels de volume 40 – 60 m<sup>3</sup>.

### Resultado da Análise ROC para os estratos 1(Dbe) e 2(Dbe+Abp)

O método de avaliação visual adotado neste trabalho foi a análise do gráfico ROC, uma vez que relaciona as taxas de verdadeiros positivos *tpr* e falsos positivos *fpr*. A avaliação do gráfico é simples, quanto mais a noroeste os pontos no gráfico, melhor é a classificação. A figura 5 apresenta o gráfico ROC do estrato 1 e 2 com os valores plotados do volume intervalar.



**Figura 6.** Gráfico ROC com dados do classificador *newrbee newpnn*

Ao analisar o gráfico ROC do estrato 1 (Dbe), observa-se que o ponto associado a faixa de volume 20 – 40 m³ está ligeiramente mais próximo ao eixo y, logo, o classificador para este ponto tem uma menor taxa de falsos positivos e uma menor taxa de verdadeiros positivos em comparação com a faixa de volume 40 – 60 m³, em outras palavras, o classificador para o volume 20 – 40 m³ apresenta menos pixels da faixa de volume 40 – 60 m³ como sendo da faixa 20 – 40 m³ e também apresenta menos pixels como pertencentes a faixa de volume correspondente do classificador, 20 – 40 m³, e que realmente pertencem a essa faixa quando comparados com a classificação para o intervalo de volume 40 – 60 m³. Na qual o classificador aponta mais pixels da faixa de volume 20 – 40 m³ como sendo da faixa 40 – 60 m³ e mais pixels da faixa 40 – 60 m³ como pertencentes à faixa 40 – 60 m³ em relação a classificação da primeira faixa de volume.

Quanto ao estrato 2 (Dbe + Abp), o ponto associado faixa de volume 20 – 40 m³ está unido ao eixo y, indicando que o classificador para a esta faixa de volume apresenta uma taxa de falsos positivos nula, entretanto também possui uma taxa de verdadeiros positivos menor quando comparado ao da faixa de volume 40 – 60 m³ que apresenta uma taxa de verdadeiros positivos máxima, mas considera 34% de falsos positivos.

No gráfico ROC, os pontos localizados mais a esquerda, próximos ao eixo y, são denominados conservadores, logo, apresentam menores taxas de falsos positivos, e os pontos localizados mais a direita, mais afastados do eixo y, são denominados liberais e por tanto apresentam uma maior taxa de falsos positivos (Fawcett, 2006). Na classificação, do estrato 1, da rede *newrbe*, os pontos plotados estão próximos ao eixo y, logo, o classificador é considerado como conservador para ambas as faixas de volume. Os pontos referentes à biomassa intervalar estão próximos, com um poder de classificação similar, localizados a noroeste do gráfico, indicativo de uma boa classificação.

Na classificação, do estrato 2, da rede *newpnn*, o ponto correspondente ao volume intervalar 20 – 40 m<sup>3</sup> está em cima do eixo y, sendo considerado conservador, enquanto que o ponto de volume intervalar 40 – 60 m<sup>3</sup>, mais distante do eixo y é considerado como liberal. Neste caso, apesar de ser avaliado como um bom classificador de acordo com o coeficiente kappa, a utilização desta rede dependerá do objetivo do estudo, por exemplo, se a intenção for encontrar somente os pixels dentro da faixa 20 – 40 m<sup>3</sup>, o classificador apresentará 66% dos pixels classificados corretamente no intervalo de 20 – 40 m<sup>3</sup> e 34 % dos pixels da faixa 20 – 40 m<sup>3</sup> considerados erroneamente como do segundo intervalo de volume, sendo que nenhum pixel da faixa 40 – 60 m<sup>3</sup> será classificado como 20 – 40 m<sup>3</sup>, entretanto se a intenção for a classificação somente dos pixels da faixa de volume 40 – 60 m<sup>3</sup>, o classificador apresentará 100% dos pixels de volume 40 – 60 m<sup>3</sup> classificados como pertencentes a esta faixa, ou seja, toda entrada que for da segunda faixa de volume será classificada neste intervalo, todavia o classificador apontará 34% das entradas da primeira faixa como sendo da segunda faixa de volume, sendo assim, considerará 34% dos pixels 20 – 40 m<sup>3</sup> como sendo 40 -60 m<sup>3</sup>. Logo, a classificação dependerá do melhor custo x benefício do estudo.

## CONCLUSÃO

Para o gerenciamento econômico e ambiental de grandes áreas é necessário que se construam métodos que norteiem o desenvolvimento regional. Desta maneira, este trabalho apresenta grande relevância, com uma tecnologia inovadora que pode fundamentar diretamente as tomadas de decisão a nível econômico e ambiental no estado Pará, por meio da estimativa e valoração dos recursos naturais relacionados à biomassa arbórea e a tudo a que a faça referência.

Neste estudo os resultados obtidos apontaram a eficiência das redes neurais artificiais na classificação de biomassa em intervalos de volume predefinidos, servindo como uma alternativa viável de estimativa de volume em regiões de grande área territorial e de grande heterogeneidade, como é o caso da Amazônia, permitindo uma redução significativa de custos, quando comparado a metodologias de levantamento estritamente terrestres. Com uma técnica que atende bem aos erros da estimativa de volume dos inventários florestais.

É importante ressaltar que devido aos erros oriundos da amostragem do inventário, e da divergência entre o tamanho das subunidades e o tamanho do pixel esperava-se uma confusão do classificador. Todavia, os classificadores obtiveram resultados aceitáveis, demonstrando a viabilidade da metodologia adotada neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. C.; BARROS, P. L. C.; MONTEIRO, J. H. A.; ROCHA, B. R. P. Estimation of aboveground forest biomass in Amazonia with neural networks and remote sensing. **IEEE Latin Amer. Trans**, v. 7, n. 1, p. 27-32, 2009.

CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.49, n.12, p.1671-1678, 1991.

EMBRAPA. Zoneamento **Ecológico-Econômico da área de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém)**. Belém: EMBRAPA, p. 101, 2007.

FEARNSIDE, Philip M. Greenhouse gas contributions from deforestation in Brazilian Amazonia. **Global biomass burning. Atmospheric, climatic, and biospheric implications**. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, p. 92-105, 1991.

FAWCETT, Tom. An introduction to ROC analysis. **Pattern recognition letters**, v. 27, n. 8, p. 861-874, 2006.

FRATE, Fabio Del; SOLIMINI, Domenico. On the retrieval of forest biomass from SAR data by neural networks. In: **Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS'03. Proceedings. 2003 IEEE International**. IEEE. p. 1637-1638, 2003.

GERMAN, G.W.H; GAHEGAN, M.N. Neural network architectures for the classification of temporal image sequences. **Computers Geosciences**, v.22, n.9. 969-979p. 1996

GORGENS, E. B.; Leite, H. G.; SANTOS, H. D. N.; GLERIANI, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore, Viçosa**, v. 33, n. 6, p. 1141-1147, 2009.

HAYKIN, Simon S. **Redes neurais**. Bookman, 2001.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE. 1992.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, p. 363-374, 1977.

MANFLOPS – Manejo Florestal e Prestação de Serviço - Inventário Florestal Diagnóstico do Conjunto de Glebas Estaduais Mamuru-Arapiuns, Santarém–Pará, 2010.

MELLO, Sérgio Luis de Miranda; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes. Equações para estimar a biomassa da parte aérea e do sistema radicular em povoamentos de *Eucalyptus grandis* em sítios com produtividades distintas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 1, p. 101-111, 2008.

MIRANDA, I. S. Fenologia do estrato arbóreo de uma comunidade de cerrado em Alter-do-Chão, PA. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 18, n. 2, p. 235-240, 1995.

NISHIDA, Waleska; BASTOS, L. C. Classificação de imagens de sensoriamento remoto utilizando uma rede neural artificial com função de base radial. **Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil**, p. 11-18, 1998.

PUIG-ARNAVAT, M.; HERNÁNDEZ, J. A.; BRUNO, J. C.; CORONAS, A. Artificial neural network models for biomass gasification in fluidized bed gasifiers. **biomass and bioenergy**, v. 49, p. 279-289, 2013.

PRATI, R. C.; BATISTA, Geapa; MONARD, M. C. Curvas ROC para avaliação de classificadores. **Revista IEEE América Latina**, v. 6, n. 2, p. 215-222, 2008.

REZENDE, A. V.; VALE, A. T.; SANQUETTA, C. R.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FELFILI, J. M. (2006). Comparação de modelos matemáticos para estimativa do volume, biomassa e estoque de carbono da vegetação lenhosa de um cerrado sensu stricto em Brasília, DF. **ScientiaForestalis**, v. 71, p. 65-76, 2006.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Symposium of Significant Results Obtained with ERTS-1, 3, 1973. Greenbelt, Maryland. Proceedings... Washington: NASA SP-351. p.309-317, 1973.

SANTANA, Reynaldo Campos; BARROS, Nayram Felix; LEITE, Hélio Garcia; COMERFORD, Nicholas Brian; Novais, Roberto Ferreira. Estimativa de biomassa de plantios de eucalipto no Brasil. **Revista Árvore**, v. 32, n. 4, p. 697-706, 2008.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; SOBRINHO, V. G.; SCHNEIDER, P. S. P. Determinação indireta do estoque de biomassa e carbono em povoamentos de acácia-negra (*Acaciamearnsii* de Wild.). **Ciência Florestal**, v. 15, n. 4, p. 391-402, 2005.

SILVA, Etiane Silva; PENA. Uso e comercialização de produtos florestais não madeireiros da área de concessão florestal Mamuru-Arapiuns, Estado do Pará- Amazônia-Brasil. Belém: UFRA, 2003. 72p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2013.

SILVEIRA, Pérciles; Koehler, Henrique Soares; Sanquetta, Carlos Roberto; Arce, Julio Eduardo. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008.

SILVEIRA, Pérciles. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, v. 40, n. 4, 2010.

SOARES, Carlos Pedro Boechat; LEITE, Helio Garcia; GÖRGENS, Eric Bastos. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais e em plantios comerciais de eucalipto. **Revistaárvore**, v. 29, n. 5, p. 711-718, 2005.

SUNPHORKA, Sasithorn; CHALERMSINSUWAN, Benjapon; PIUMSOMBOON, Pornpote. Application of artificial neural network for kinetic parameters prediction of biomass oxidation from biomass properties. **Journal of the Energy Institute**, 2015.

WATZLAWICK, Luciano Farinha; KIRCHNER, Flávio Felipe; SANQUETTA, Carlos Roberto. Estimativa de biomassa e carbono em floresta com araucária utilizando imagens do satélite IKONOS II. 2009.

WATZLAWICK, Luciano Farinha; KIRCHNER, Flávio Felipe; DE AZAMBUJA MADRUGA, Pedro Roberto. Avaliação de classificação digital em imagens de vídeo multiespectral utilizando matriz confusão. **RECEN-Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 5, n. 1, p. 47-57, 2003.

## **CONCLUSÕES GERAIS**

Para o gerenciamento econômico e ambiental de grandes áreas é necessário que se construam métodos que norteiem o desenvolvimento regional. Desta maneira, este trabalho apresenta grande relevância, com uma tecnologia inovadora que pode fundamentar diretamente as tomadas de decisão a nível econômico e ambiental no estado Pará, por meio da estimativa e valoração dos recursos naturais relacionados à biomassa arbórea e a tudo a que a faça referência.

Neste estudo os resultados obtidos apontaram a eficiência das redes neurais artificiais na classificação de estratos florestais e na estimativa de biomassa arbórea em intervalos de volume predefinidos, servindo como uma alternativa viável de classificação de tipologias florestais e estimativa de volume em regiões de grande área territorial e de grande heterogeneidade, como é o caso da Amazônia, permitindo uma redução significativa de custos, quando comparado a metodologias de levantamento estritamente terrestres. Com uma técnica que atende bem aos erros da estimativa de volume dos inventários florestais.

É importante ressaltar que devido aos erros oriundos da amostragem do inventário, e da divergência entre o tamanho das subunidades e o tamanho do pixel esperava-se uma confusão do classificador. Todavia, os classificadores obtiveram resultados aceitáveis, demonstrando a viabilidade da metodologia adotada neste trabalho.

Imagens com maior resolução espacial e inventários florestais com menores erros de estimativas de volume e maior precisão de georeferenciamento poderiam melhorar os resultados e até mesmo permitir uma regressão de estimativa de biomassa.

## NORMAS DA REVISTA AMBIENTE & ÁGUA (ARTIGO 1)

### **INSTRUÇÕES AOS AUTORES**

#### **Escopo e política**

O periódico publica artigos inéditos em Inglês, Português ou Espanhol na área interdisciplinar, com inserção nas áreas de Ciências Ambientais, Recursos Hídricos, Hidrologia, Hidrogeologia, Engenharia Ambiental e Saneamento, Engenharia Florestal e Recursos Florestais, Ecologia, Aquicultura, Oceanologia e Recursos Pesqueiros, Agronomia, Agrometeorologia e Engenharia Agrícola, Mudanças Globais, Engenharia de Pesca e Zootecnia, Geografia, Geologia. Assim como, nas áreas de Sensoriamento Remoto, Geotecnologias e Análise Espacial, voltadas para o estudo da água ou das Ciências Ambientais.

Artigos de revisão inéditos também poderão ser aceitos desde que apresentem análise crítica de assuntos da temática da revista, baseados em literatura atual de revistas científicas de grande impacto.

O manuscrito deverá ser original, destinado exclusivamente à AMBIAGUA (Revista Ambiente & Agua - AnInterdisciplinaryJournalofApplied Science).

#### **Processo de Revisão por Pares da AMBIAGUA**

A cada edição, o Comitê Editorial selecionará, dentre os artigos considerados favoráveis para a publicação, aqueles que serão publicados por atenderem aos critérios acima. Não há nenhum comprometimento para seguir a ordem de submissão. A ordem depende do tempo de resposta dos revisores *ad hoc*, dos autores e da administração da revista. Todos os manuscritos submetidos serão examinados pelo editor para verificar se o conteúdo do manuscrito é apropriado para a revista e se o manuscrito foi preparado de acordo com as instruções para os autores. O editor poderá rejeitar o manuscrito se detectar: erros relativos às instruções; redação inadequada; suspeita de má conduta (plágio); ou se, o trabalho não contiver suficiente mérito científico ou tecnológico. Uma vez superada essa fase, o editor poderá enviar o manuscrito a um ou dois membros do Comitê Editorial, para que sejam sugeridos pelo menos dois avaliadores *ad hoc* especialistas no tema do manuscrito proposto. Os avaliadores devem ser especialistas científicos, de reconhecida formação, que trabalhem em áreas relacionadas com o tema do manuscrito e, portanto, devem estar plenamente capacitados para avaliar o manuscrito e recomendar a sua aceitação ou rejeição. Os avaliadores receberão o manuscrito, sem nenhuma identificação dos autores, e o formulário de avaliação para manifestarem seus comentários e recomendações sobre a aceitação, correção ou rejeição do manuscrito.

Em nenhuma etapa do processo, os avaliadores conhecerão a identidade dos autores, assim como, os autores não saberão a identidade dos avaliadores.

Depois de examinar as recomendações dos avaliadores, o editor tomará uma das seguintes decisões:

Aceitar o manuscrito com pequenas mudanças e, neste caso, o editor devolverá o

trabalho aos autores com uma lista de pequenas correções a serem implementadas. Caso contrário, optará por enviar a nova versão corrigida do manuscrito aos avaliadores. Os avaliadores *ad hoc* podem também indicar o desejo de rever o manuscrito após correções.

Quando receber a versão final do manuscrito, o editor se certificará de forma interativa de que as correções foram devidamente implementadas. Finalizadas as correções, ele informará aos autores sua aceitação e, após revisão de linguagem, referências, preparação do layout para publicação, os autores receberão as provas e o autor correspondente indicará as correções finais antes da publicação e ao retorná-las ele implicitamente autoriza a publicação e confirma o ineditismo do artigo.

Erros tipográficos, artigos citados no texto que não aparecem nas referências e vice-versa, pequenas discrepâncias entre o resumo e o abstract, pequenas mudanças na redação são exemplos de pequenas mudanças. Quando houver modificações maiores, o editor devolverá o artigo com uma lista de sugestões que o autor responsável deverá atender para que o trabalho seja novamente considerado. Exemplos de modificações maiores incluem a análise de dados usando provas estatísticas, revisão de tabelas e figuras, repetição de experimentos, revisão da redação da conclusão e mudanças substanciais na redação.

No caso de rejeição após análise dos avaliadores *ad hoc*, o editor informará aos autores as razões para não publicá-lo. Em geral, os motivos para rejeição envolvem o conteúdo do manuscrito não apropriado para a revista, violações graves da forma de publicação, manuscrito sem mérito científico e ou tecnológico.

Submissões de manuscritos que tenham sido publicados em anais de simpósios, congressos, etc., assim como artigos traduzidos de periódicos científicos estrangeiros não devem ser submetidos. Apresentações em eventos científicos e publicações de resumos apenas, não impedem a submissão.

A revista tem caráter científico. Seu público alvo inclui a comunidade acadêmica dos cursos de pós-graduação, assim como de instituições de pesquisa, especialmente da área Interdisciplinar, Ambiental e dos Recursos Hídricos.

### **Forma e preparação de manuscritos**

O artigo deverá ser submetido em formato texto (MS Office), não restringido por password para permitir edição. A publicação final será em pdf, html e xml. O artigo deve ser submetido com as seguintes características:

**Tamanho da página:** equivalente ao tamanho do papel A4 (210 x 297 mm);

**Margens (superior, inferior, esquerda e direita):** 2,5 cm;

**Fonte:** Times New Roman, 12, espaço entrelinhas simples, em uma única coluna, com parágrafos alinhados à esquerda e à direita;

**Tamanho:** os artigos serão analisados com base na qualidade e contribuição científica. Normalmente deveriam ter no máximo de 10 páginas incluindo tabelas e figuras, que não devem ultrapassar o número de cinco (figuras mais tabelas). Nosso custo editorial é proporcional ao tamanho do artigo. Assim, artigos maiores são possíveis, porém, páginas adicionais a 10 serão cobradas, contadas após layout padrão da revista e após aceitação do artigo para publicação.

Nos artigos em português ou espanhol, o título, o resumo e as palavras-chave deverão ser

escritos também em inglês; e artigos em espanhol e em inglês, o título, resumo e palavras-chave deverão ser escritos também em português.

### **Primeira página:**

Deverá conter apenas o título do trabalho, sem o nome dos autores, afiliação ou e-mail, o resumo e as palavras-chave, em letras minúsculas, separadas por “vírgula” e um ponto final após a última palavra-chave.

### **Tabelas e Figuras:**

Deverão ser numeradas com algarismos arábicos consecutivos, indicados no texto e anexadas no local do artigo mais próximo e depois da chamada. Os títulos das figuras deverão aparecer na sua parte inferior, antecidos da palavra **Figura** (notar a primeira letra maiúscula e em negrito), um espaço, mais o seu número de ordem em negrito, um ponto e espaço de um caractere, fonte 11, justificado, tabulado nos limites da figura, observando que o título da figura logo abaixo dela, não é em negrito. Os títulos das tabelas deverão aparecer na parte superior e antecidos pela palavra **Tabela** (notar a primeira letra maiúscula e em negrito), um espaço, mais o seu número de ordem (**em negrito**), um ponto e espaço de um caractere, fonte 11, justificado. Nas figuras e tabelas, quando houver uma fonte de referência, a palavra “Fonte:” vem na parte inferior, seguida da referência, fonte 10, justificado. Títulos de tabelas, figuras e a fonte terminam sempre com ponto final. As figuras poderão ser coloridas, se necessário, porém, atentar para que o tamanho do arquivo não fique grande; tamanho ideal de arquivo para submissão é de ~500 KB, caso o seu arquivo esteja maior, após verificação em propriedades do arquivo, use técnicas de redução de imagens, por meio de reamostragem, número de bits por pixel, etc. Arquivos até 2 MB poderão ser aceitos.

As tabelas devem ser sempre inseridas **como texto**, jamais como figuras/imagens e não usar espaços ou “tabs” para formatar e sim tamanho das células/colunas/linhas. Figuras devem ter fontes legíveis, atentar para o tamanho do texto, alta resolução e inseridas como objeto quando se tratar de gráficos. Figuras não devem ter título na parte superior, só a legenda abaixo dela. Certifique-se de que elas sejam editáveis.

É possível inserir imagens em documentos sem deixar os arquivos grandes, basta seguir as instruções abaixo:

Utilize arquivos de imagem em formato JPG, PNG ou GIF. Estes arquivos costumam ter bons padrões de qualidade e não consomem muito espaço em disco e memória;

Para inserir as figuras, não use Copiar/Colar (ou Ctrl+C/Ctrl+V), salve em seu computador as imagens que deseja inserir no documento;

Em seguida, acesse a opção de menu disponível para inserção de imagem do seu editor de texto (Ex: no MSWord e selecione a opção Inserir/Figura/do arquivo) e localize a imagem que deseja inserir no documento. Para finalizar, insira a imagem selecionada no texto.

Para as equações, usar o editor de equações e inserir como objetos e não imagens que devem ser numeradas com a numeração entre parênteses e chamadas previamente no texto. Usar o MS Word 2010 para a edição das equações.

### **Estrutura do artigo:**

O artigo em PORTUGUÊS deverá seguir a seguinte sequência: TÍTULO em português, 15, negrito, centralizado, primeira letra maiúscula, demais minúsculas (salvo nomes próprios),

RESUMO, seguido de Palavras-chave, TÍTULO DO ARTIGO em inglês, ABSTRACT (seguido de keywords); 1. INTRODUÇÃO (incluindo revisão de literatura); 2. MATERIAL E MÉTODOS; 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO (note o singular); 4. CONCLUSÃO; 5. AGRADECIMENTOS; e 6. REFERÊNCIAS, com parágrafo justificado à esquerda e à direita e com recuo à direita, especial, deslocamento 1 cm e espaçamento entre referências de 8 pt. Verifique artigos já publicados na revista para verificar quais textos devam ser negritados.

**O artigo em INGLÊS deverá seguir a seguinte sequência:**

TÍTULO em inglês; ABSTRACT (seguido de Keywords); TÍTULO DO ARTIGO em português; RESUMO (seguido de Palavras-chave); 1. INTRODUCTION (incluindo revisão de literatura); 2. MATERIALS AND METHODS; 3. RESULTS AND DISCUSSION; 4. CONCLUSIONS; 5. ACKNOWLEDGEMENTS; e 6. REFERENCES.

**O artigo em ESPANHOL deverá seguir a seguinte sequência:**

TÍTULO em espanhol; RESUMEN (seguido de Palabras Clave), TÍTULO do artigo em português, RESUMO em português (seguido de Palavras-chave); TÍTULO em inglês; ABSTRACT (seguido de Keywords); 1. INTRODUCCIÓN (incluindo revisão de literatura); 2. MATERIALES Y METODOS; 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN; 4. CONCLUSIONES; 5. RECONOCIMIENTO; e 6. REFERÊNCIAS.

**UNIDADES**

**Unidades de medida:** use sistema internacional com espaço após o número, e.g. 10 m ou, por exemplo, 10 km h<sup>-1</sup>, e não km/h. Observe a consistência toda vez que usar a mesma unidade.

Verifique todos os símbolos Gregos e todas as figuras cuidadosamente.

Escreva os números de um a nove por extenso, exceto se forem usados como unidades.

Use um espaço entre unidades: g L<sup>-1</sup>, e não g.L<sup>-1</sup>, ou gL<sup>-1</sup>, exceto % (e.g. 10%) ou °C (e.g. 15°C).

Use o formato 24-h para tempo, com quatro dígitos para horas e minutos: 08h00; 15h30.

**Subtítulos:** quando se fizerem necessários, serão escritos com letras iniciais maiúsculas, antecidos de dois números arábicos colocados em posição à esquerda, separados e seguidos por ponto, 12, negrito, alinhados à esquerda.

**Resumo:** deverá conter os objetivos, a metodologia, os resultados e as conclusões, devendo ser compostos de uma sequência corrente de frases em um único parágrafo e conter, **no máximo, 250 palavras.**

**Citações:** no texto, as citações deverão seguir as recomendações da ABNT-NBR 10520 com as seguintes especificidades:

Colocar o sobrenome do autor citado com apenas a primeira letra maiúscula, seguido do ano entre parênteses, quando o autor fizer parte do texto. Quando o autor não fizer parte do texto, colocar, entre parênteses, o sobrenome, seguido do ano separado por vírgula. Mais de um

autor, separam-se os sobrenomes pela conjunção “e” Mais de dois autores, a expressão et al. é colocada após o primeiro nome, não em itálico. As referências utilizadas deverão ser preferencialmente de periódicos nacionais ou internacionais de alto impacto (níveis A/B do Qualis CAPES), cerca de 15 referências, em revista científicas no máximo são esperadas.

#### **Exemplos de como citar:**

Jones (2015), Jones e Smith (2009) ou (Jones, 2015; Jones e Smith, 2009), dependendo da construção da sentença. Mais de dois autores: Jones et al. (2014) ou (Jones et al., 2014). Comunicações pessoais ou dados não publicados não devem ser incluídos na lista de referências; assim como Apud (citação indireta) não será aceita.

#### **Referências:**

Sempre que a referência tiver doiTM, citá-lo no final da referência.

Seguirão as recomendações da ABNT-NBR 6023, com especificidades da revista.

#### **Exemplos de como escrever as referências bibliográficas:**

##### **Livros:**

FALKNER, E. **Aerial Mapping: methods and applications**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 322 p.

##### **Capítulos de livros:**

WEBB, H. Creation of digital terrain models using analytical photogrammetry and their use in civil engineering. In: **Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering**. New York: McGraw-Hill, 1991. p. 73-84.

##### **Artigos em Periódicos Científicos:**

HADDAD, E.; SANTOS, C. L. dos; FRANCO Jr., R. S. Novas perspectivas sobre o Instituto da desapropriação: a proteção ambiental e sua valoração. **Fórum de direito urbano e ambiental**, Belo Horizonte, ano 6, n. 31, p. 17-25, jan./fev. 2007.

MEYER, M. P. Place of small-format aerial photography in resource surveys. **Journal of Forestry**, Washington, v. 80, n. 1, p. 15-17, 1982.

Observar que é importante identificar a cidade da edição e colocar um espaço entre as iniciais dos nomes.

##### **Trabalhos apresentados em eventos (Impresso)** (devem ser evitados, se essenciais):

DAVIDSON, J. M.; RIZZO, D. M.; GARBELOTTO, M.; TJOSVOLD, S.; SLAUGHTER, G. W. *Phytophthoraramorum* and sudden oak death in California: II Transmission and survival. In: SYMPOSIUM ON OAK WOODLANDS: OAKS IN CALIFORNIA'S CHANGING LANDSCAPE, 5. 23-25 oct. 2001, San Diego, **Proceedings...** Berkeley: USDA Forest Service, 2002. p. 741-749.

##### **Trabalhos apresentados em eventos (meio eletrônico)** (devem ser evitados, se

essenciais):

COOK, J. D.; FERDINAND, L. D. 2001. Geometric fidelity of Ikonos imagery. In: Annual Convention of American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 23-27 Apr., St. Louis. **Proceedings...** St. Louis: ASPRS, 2001. 1 CD-ROM.

**Teses e Dissertações:** Procurar citar os artigos derivados de teses e dissertações em revistas científicas, se não foram ainda publicados e essenciais, use a forma:

AFFONSO, A. G. **Caracterização de fisionomias vegetais na Amazônia oriental através de videografia aerotransportada e imagens LANDSAT 7 ETM+**, 2003, 120f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

**Referências de sites na Internet** (devem ser evitadas, se absolutamente essenciais):

DIAZ, H. F. Precipitation trends and water consumption in the southwestern United States. In: United States Geological Survey, 1997, Reston. **Web Conference...** Disponível em: <<http://geochange.er.usgs.gov/sw/changes/natural/diaz/>>. Acesso em: 15 julho 2014.

*Importante:*

O arquivo submetido (*uploaded*) não deve conter **nenhuma identificação dos autores**, portanto, sem nome dos autores, afiliação ou e-mail. Agradecimentos são desejáveis, mas serão editados para evitar a identificação dos autores até ter sido aceito para publicação. Contudo, o autor correspondente deverá submeter como arquivo suplementar, uma **Carta de Apresentação**.

As propriedades do arquivo de submissão que identificam a origem devem ser retiradas. Instruções:

**Word 2010:**

Em Arquivo, ir à aba **Informações, Verificando Problemas, Inspeccionar Documento** e desmarcar a janela de **Propriedades do Documento e Informações Pessoais, Fechar, e Salvar**.

**Word 2003**

Ir à aba **Opções, Segurança** e eliminar a propriedade de **Autoria** do arquivo.

**Todo o conteúdo do artigo é de responsabilidade exclusiva dos autores.**

No ato da submissão, o autor correspondente responsável pela submissão deverá fazer o “upload” de “Documentos Suplementares” contendo a **CARTA DE APRESENTAÇÃO**, seguindo o modelo: <http://www.ambi-agua.net/seer/files/carta-apresentacao.doc> Assim como um arquivo contendo o “**CHECK LIST DA SUBMISSÃO**” conforme modelo: <http://www.ambi-agua.net/seer/files/check-list-pt.docx>

Desde 15 de julho de 2014, a revista passou a cobrar taxas de submissão e de publicação conforme descritas em: <http://www.ambi-agua.net/splash-seer/?access=taxas>.

Cada edição publicada pela Ambi-Agua apresenta uma imagem representativa de um artigo publicado naquela edição que vai ser capa do número. Autores são convidados a destacar na carta que eles gostariam de ter determinada figura considerada como capa por ser cientificamente interessante e visualmente atraente para a revista. As imagens devem ser de

alta resolução (300 dpi) e devem ter aproximadamente 17 por 17 cm. As imagens devem ser originais, e os autores concedem à Revista Ambiente & Água licença para sua publicação. Caso deseje, submeter a imagem como um arquivo adicional suplementar. Os autores devem deter os direitos autorais das imagens apresentadas, sendo os únicos responsáveis pela permissão de uso delas.

Em qualquer caso, os autores concedem à Ambi-Água a licença para usar qualquer imagem do manuscrito publicado para ser usada como imagem de capa da edição, mesmo que não tenha sido expresso na Carta de Apresentação, a menos que expressamente informem o contrário.

### **Envio de manuscritos**

Antes de iniciar a submissão, revise a versão final do manuscrito, o arquivo da Carta de Apresentação, o recibo digital do pagamento da taxa de submissão, e *login*: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/login>. Como autor, iniciar nova submissão, seguindo as instruções. Lembre-se que sempre poderá mudar a língua de interface no sistema, no menu à direita. Sua submissão só estará completa com o “upload” de quatro arquivos: 1) texto do manuscrito; 2) Carta de Apresentação; 3) “Checklist da submissão” preenchido; e, 4) Recibo do pagamento da taxa de submissão digitalizado. Os arquivos devem ser submetidos como documentos suplementares no sistema da revista. Dúvidas? Escreva para [ambi.agua@gmail.com](mailto:ambi.agua@gmail.com).

NORMAS DA REVISTA SCIENTIA FLORESTALIS (ARTIGO 1)

Diretrizes para Autores

A revista **ScientiaForestalis** publica artigos científicos originais e inéditos relacionados com aspectos biológicos, ecológicos, econômicos e sociais do manejo, produção e uso de florestas e seus recursos naturais.

Os manuscritos submetidos devem apresentar mérito científico, ou seja, contribuir para o avanço do conhecimento científico, e não podem ter sido publicados ou encaminhados simultaneamente para outros periódicos.

O conteúdo e as opiniões apresentadas nos trabalhos publicados não são de responsabilidade desta revista e não representam necessariamente as opiniões do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), sendo o conteúdo de responsabilidade do autor.

Serão aceitos manuscritos em Português, Inglês e Espanhol. Textos em Inglês e espanhol passarão por avaliação do revisor de idioma, e estará sujeito à recusa ou devolução para readequação gramatical. Caso seja de interesse do autor, a revista poderá indicar revisores de idioma.

#### TAXA DE PUBLICAÇÃO

**A comissão editorial da revista ScientiaForestalis informa que, seguindo as tendências atuais dos periódicos científicos nacionais e internacionais, a partir de 01/01/2015 passaremos a cobrar uma taxa de publicação de artigos no valor de R\$ 400,00.**

**A cobrança será aplicada após o comunicado de aceitação do artigo. Tal medida já se aplica às submissões que se encontram em análise. Não haverá nenhuma cobrança durante o processo de submissão do manuscrito e avaliação pelos pares.**

As submissões devem ser realizadas através do Sistema Eletrônico de Revista IPEF, disponível no endereço <http://editora.ipef.br/ojs>.

Forma de apresentação.

1. Serão aceitos textos apenas em formatos compatíveis ao Microsoft Word
2. O texto deve conter no máximo 25 páginas numeradas, escritas em espaço duplo lauda em papel tamanho carta, utilizando a fonte Arial tamanho 12 pontos;
3. Abreviações devem ser usadas em apenas uma forma. Uma vez que uma abreviação é usada no texto, ela deve seguir o mesmo padrão para todo o manuscrito e também nas figuras e tabelas;
4. As figuras e tabelas devem ser apresentadas no final do texto, com as legendas em português e inglês e a sua localização aproximada deve ser indicada no texto com uma chamada entre dois parágrafos. Exemplo: Entra a Figura 2; Entra a Tabela 4;
5. As fotos devem ser enviadas em formato JPEG com, no mínimo 300 dpi de resolução e no máximo 20 cm de largura;
6. Os gráficos devem ser enviados no Microsoft Excel ou no formato de fotos, conforme comentado no item anterior;
7. As tabelas devem estar digitadas e não serão aceitas em formato de imagem
8. A primeira página deve conter: título em português e inglês
9. As referências bibliográficas e citações devem estar de acordo com as normas da ABNT NBR6023:2002 e NBR 10520:2002
10. Não são aceitas notas de rodapé

Sequência de apresentação:

1. Título em português e inglês;

2. Resumo em português e inglês: o resumo deve conter os objetivos, a metodologia, os resultados e as conclusões;
3. Palavras-chave em português e inglês;
4. Introdução, incluindo a revisão de literatura;
5. Material e métodos;
6. Resultados e discussão;
7. Conclusão
8. Referências bibliográficas

#### Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1. A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, deve-se justificar em "Comentários ao editor".
2. O arquivo da submissão está em formato Microsoft Word, ou RTF.
3. O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em [Diretrizes para Autores](#), na página Sobre a Revista.
4. Em caso de submissão a uma seção com avaliação pelos pares (ex.: artigos), as instruções disponíveis em [Assegurando a avaliação pelos pares cega](#) foram seguidas.
5. Todos os autores e co autores estão cientes e autorizam a submissão do manuscrito de acordo com a declaração de direito autoral utilizada pela revista.

#### Declaração de Direito Autoral

Autores que publicam nesta revista concordam com os seguintes termos:

- a. Autores mantêm os direitos autorais e concedem à revista o direito de primeira publicação, com o trabalho simultaneamente licenciado sob a [Licença Creative Commons Attribution](#) que permite o compartilhamento do trabalho com reconhecimento da autoria e publicação inicial nesta revista.
- b. Autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não-exclusiva da versão do trabalho publicada nesta revista (ex.: publicar em repositório institucional ou como capítulo de livro), com reconhecimento de autoria e publicação inicial nesta revista.
- c. Autores têm permissão e são estimulados a publicar e distribuir seu trabalho online (ex.: em repositórios institucionais ou na sua página pessoal).

#### Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.



Universidade do Estado do Pará  
Centro de Ciências Naturais e Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – Mestrado  
Tv. Enéas Pinheiro, 2626, Marco, Belém-PA, CEP: 66095-100  
[www.uepa.br/paginas/pcambientais](http://www.uepa.br/paginas/pcambientais)

