



UNIVERSIDADE QUE TORNA OS DOCUMENTOS AINDA MAIS ESTRANHOS

Eduardo Pelli

Mapeamento do potencial madeireiro em área de floresta amazônica

Diamantina
2019

UNIVERSIDADE QUE TORNA OS DOCUMENTOS AINDA MAIS ESTRANHOS

Eduardo Pelli

Mapeamento do potencial madeireiro em área de floresta amazônica

Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. Eric Bastos Görgens

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM
Departamento de Engenharia Florestal - DEF
Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal - PPGCF

Diamantina
2019

\AM@currentdocname .png

.png

\AM@currentdocname .png

.png

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as oportunidades;

Aos meus pais Livia e Luciano, pelo apoio constante e incondicional;

À minha esposa Andreza, pelo carinho, estímulo, pela amizade e compreensão nas dificuldades e nos bons momentos durante o curso;

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri e ao Departamento de Engenharia Florestal, pela oportunidade de realização do Curso;

Aos Professores Eric Bastos Görgens e Gilciano Saraiva Nogueira, pela orientação, dedicação, amizade e confiança;

Ao Professor Euler Guimarães Horta, pela ajuda, dedicação, confiança e amizade;

À equipe do projeto Paisagens Sustentáveis Brasil¹, em especial à Maiza Nara dos Santos, por gentilmente terem cedido os dados para realização da pesquisa;

À equipe do grupo de pesquisa Otimização e Inteligência Artificial - OIA - DECOM/UFVJM, em especial ao Professor Alessandro Vivas Andrade, pela ajuda, dedicação, confiança e amizade;

Aos grandes amigos Humberto Antônio dos Santos e Sérgio Veloso Silva, pelo apoio constante;

Ao coordenador da pós-graduação, Professor Marcio Leles R. de Oliveira;

Aos funcionários da secretaria do DEF, Madalena e Gilmar;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

¹ <<https://www.paisagenslidar.cnptia.embrapa.br/webgis/>>

*“Cedo ou tarde você vai perceber, como eu, que
há uma diferença entre conhecer o caminho e
percorrer o caminho.”
(Matrix)*

RESUMO

A metodologia atual de determinação do potencial produtivo madeireiro no âmbito dos planos de manejo florestal, resultam frequentemente em intervenções desnecessárias, em dimensionamento equivocado de pátios, na estimativa errônea do estoque e de unidades de produção. Isto ocorre, em muitos casos, em decorrência da falta de informação prévia para definição inicial das unidades de trabalho, o que dificulta a otimização do dimensionamento em função da regulação florestal. Com os avanços no sensoriamento remoto, principalmente pelo crescimento da utilização da tecnologia de escaneamento por laser aerotransportado no setor florestal, surge a proposta de mapear o potencial madeireiro de áreas de floresta amazônica, possibilitando a determinação espacialmente explícita do potencial produtivo de áreas específicas bem como das árvores de interesse de manejo florestal. Para atingir os objetivos deste trabalho foi proposto um índice de incerteza para avaliar a correspondência entre características dos dados florestais provenientes do inventário florestal e das nuvens de pontos 3d obtidas do escaneamento por laser aerotranportado. Os dados com baixo nível de incerteza foram utilizados na modelagem estatística dos diâmetros, e na validação dos resultados no quesito localização de árvores. Foram localizadas 32% das árvores com diâmetro superior à 50 *cm* em relação aos dados de inventário florestal. Pode-se alcançar níveis de localização na ordem de 60% caso sejam utilizadas folgas no método. As análises qualitativas da estrutura da floresta composta pela amostragem de árvores localizadas no processo, constaram que a estrutura localizada é equivalente à amostrada no inventário florestal. O mapeamento do potencial produtivo realizado neste estudo pode prover informações relevantes para o dimensionamento das unidades de produção anual, podendo favorecer o planejamento de unidades de produção anual com enfoque na regulação florestal. Deste modo, foi possível obter informações importantes para o manejo florestal de precisão e uso sustentável dos recursos florestais.

Palavras-chave: *LiDAR*. Visão computacional. Manejo florestal de precisão.

ABSTRACT

The current methodology for determining the productive potential of timber in the context of forest management plans often results in unnecessary interventions, erroneous design of yards, erroneous estimation of stock and production units. This occurs, in many cases, due to the lack of previous information for the initial definition of the work units, which makes it difficult to optimize the sizing due to forest regulation. With advances in remote sensing, mainly due to the increased use of airborne laser scanning technology in the forestry sector, the proposal for mapping the potential of woodland areas of the Amazon forest, making possible the spatially explicit determination of the productive potential of specific areas as well as trees of forest management interest. The objectives of this work were to propose an uncertainty index to evaluate the correspondence between characteristics of forest data from forest inventory and clouds of points 3d. The data with low level of uncertainty were used in the statistical modeling of the diameters, and in the validation of the results in the location of trees. 32% of the trees with a diameter greater than 50 *cm* were found in relation to the forest inventory data. Localization levels of the order of 60% can be achieved if gaps are used in the method. The qualitative analyzes of the forest structure composed by the sampling of trees located in the process, showed that the localized structure is equivalent to that sampled in the forest inventory. The mapping of the productive potential can provide information relevant to the design of the annual production units and, and may favor the planning of annual production units with a focus on forest regulation. In this way, it was possible to obtain important information for the forest management of precision and sustainable use of forest resources.

Keywords: *LiDAR*. Computer vision. Precision forest management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALS	<i>Airborne Laser Scanning</i>
AMF	Área de Manejo Florestal
<i>arv</i>	Referência a dados de árvore do inventário florestal
<i>C</i>	Parâmetro custo do classificador SVM
Car	Características altura ou raio de copa médio
CarLiDAR	Característica altura ou raio de copa médio extraída dos dados <i>LiDAR</i>
CarINV	Característica altura ou raio de copa médio medida no inventário florestal
<i>Chao_{ptmedio}</i>	Estimativa da elevação do chão no ponto central dada janela de $25m^2$
<i>DA</i>	Densidade absoluta
DBH	Diâmetro da árvore medido à $1,3m$ do chão
<i>Dist</i>	Distância entre pontos
<i>DoA</i>	Dominância absoluta
<i>DoR</i>	Dominância relativa
<i>DR</i>	Densidade relativa
<i>erromax_{GPS}</i>	Erro máximo de correção
<i>Est</i>	Dado estimado
<i>FA</i>	Frequência absoluta
FN	Falso negativo
FP	Falso positivo
<i>FR</i>	Frequência relativa
GPS	<i>Global Positioning System</i>
<i>Ht</i>	Altura da árvore medida no inventário florestal
\overline{Ht}	Média da altura das árvores do inventário florestal
<i>HtLiDAR</i>	Altura da árvore extraída dos dados <i>LiDAR</i>
<i>idx</i>	Índice de incerteza para correspondência entre características
<i>Inv</i>	Referência aos dados do inventário florestal

IVC	Índice do valor de cobertura
IVI	Índice de valor de importância
k	Parâmetro do algoritmo <i>k-means</i> que define o número de grupos
kp	Referência a dados de <i>keypoint</i> extraídos dos dados <i>LiDAR</i>
<i>Las</i>	Referência aos dados <i>LiDAR</i>
<i>LiDAR</i>	<i>Light Detection and Ranging</i>
LMF	<i>Local Maxima Filter</i>
MDA	Modelo Digital de Altura
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
MSE	Erro quadrático médio
<i>Obs</i>	Amostra de dado observado em campo ou extraído dos dados <i>LiDAR</i>
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
<i>Quad</i>	Quadrante
R^2	Coefficiente de determinação
<i>RaioCopa</i>	Raio de copa
<i>RCM</i>	Raio de copa médio medido no inventário florestal
\overline{RCM}	Média do raio de copa médio das árvores do inventário florestal
<i>RCMLiDAR</i>	Raio de copa médio extraído dos dados <i>LiDAR</i>
RMSE	Raiz do erro quadrático médio
SVM	<i>Support Vector Machine</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UPA	Unidade de Produção Anual
UT	Unidades de Trabalho
UTM	Sistema de coordenadas
Var_z	Variação de elevação entre <i>pixels</i>

VN	Verdadeiro negativo
Vol	Volume da árvore
VP	Verdadeiro positivo
X	Posição UTM da coordenada leste
Y	Posição UTM da coordenada norte
Z	Aferição da elevação de um ponto em relação à superfície
γ	Parâmetro de configuração do classificador SVM
σ_{Ht}	Desvio padrão da altura das árvores do inventário florestal
σ_{RCM}	Desvio padrão do raio de copa médio das árvores do inventário florestal

SUMÁRIO

	Sumário	19
	Introdução Geral	21
I	CORRESPONDÊNCIA DE CARACTERÍSTICAS ENTRE DADOS DO INVENTÁRIO FLORESTAL E <i>LIDAR</i> EM ÁREA DE FLORESTA AMAZÔNICA	23
II	MAPEAMENTO DO POTENCIAL MADEIREIRO NUMA ÁREA DE FLORESTA AMAZÔNICA POR MEIO DO ES- CANEAMENTO POR LASER AEROTRANSPORTADO	27
	Considerações finais	31
	REFERÊNCIAS	33

INTRODUÇÃO GERAL

Artigo I

Correspondência de características entre dados do inventário florestal e *LiDAR* em área de floresta amazônica

**CORRESPONDÊNCIA DE CARACTERÍSTICAS ENTRE DADOS DO INVENTÁRIO
FLORESTAL E *LIDAR* EM ÁREA DE FLORESTA AMAZÔNICA**

Artigo II

**Mapeamento do potencial madeireiro numa área de floresta amazônica por meio do
escaneamento por laser aerotransportado**

**MAPEAMENTO DO POTENCIAL MADEIREIRO NUMA ÁREA DE FLORESTA
AMAZÔNICA POR MEIO DO ESCANEAMENTO POR LASER
AEROTRANSPORTADO**

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos desenvolvidos nos dois capítulos da tese demonstram a viabilidade da aplicação da tecnologia *LiDAR* em florestas tropicais, que possibilita realizar o mapeamento do potencial madeireiro para fins de facilitação e otimização do planejamento da exploração de manejos florestais que empregam técnicas de precisão.

Técnicas do sensoriamento remoto em conjunto com o manejo florestal de precisão podem vir a substituir processos referentes ao planejamento da exploração florestal sustentável, como por exemplo o inventário florestal 100%. Com a aplicação do mapeamento do potencial madeireiro proposto neste estudo, o planejamento passa a ter enfoque apenas nos indivíduos de interesse madeireiro, diferentemente do censo. Se aplicada em larga escala pode trazer economias de recursos financeiros e humanos, por meio de práticas menos invasivas, e podendo favorecer o conhecimento prévio e generalista da área destinada à exploração florestal.

O índice de incerteza proposto se apresentou versátil e crucial para realização do mapeamento do potencial madeireiro em áreas de floresta amazônica. Com sua utilização foi possível atingir maiores níveis de precisão na modelagem do diâmetro das árvores. Também foi utilizado com sucesso como parâmetro de validação da localização das árvores.

Cabe ressaltar que a fórmula proposta para esse índice de incerteza não é definitiva. Ela pode ser alterada de acordo com as características que estiverem disponíveis em ambas fontes de dados.

Uma questão que vem sendo estudada é a definição ótima das funções de janela de busca utilizadas junto ao algoritmo LMF. Este estudo traz um enfoque diferente para a janela de busca, sendo que o objetivo é encontrar os pontos chave que após filtragem remeterão às árvores localizadas. Portanto, otimizações das janelas de busca com esse enfoque podem vir a melhorar o nível de localização de árvores de interesse do manejo florestal.

A extração da característica raio de copa neste estudo, foi proposta conforme a forma apresentada no inventário florestal. A avaliação de outras técnicas para extração do raio de copa dos dados *LiDAR* podem trazer melhores níveis de precisão na definição da incerteza. Estudos específicos para obtenção do raio de copa, nas direções cardinais, podem denotar um parâmetro interessante para o manejo florestal de precisão, principalmente para regiões de florestas densas em que os métodos de definição do diâmetro de copa tendem a apresentar dificuldades em prover bons resultados.

Acredita-se que o mapeamento remoto dos indivíduos de interesse do manejo florestal de precisão pode fornecer informações consistentes para a otimização do dimensionamento de UPAs. O uso dessa abordagem pode prover vantagens estratégicas, ao possibilitar o planejamento da regulação florestal e definição das unidades de produção antes mesmo de ir a campo. Portanto, o dimensionamento e localização espacial das unidades de produção anual podem ser realizados com enfoque em diferentes objetivos, sejam eles do ponto de vista de otimização matemática ou heurística.

As técnicas de manejo de precisão em florestas tropicais encontram-se em constante desenvolvimento. Espera-se que os resultados deste trabalho contribuam de forma prática, com a

evolução do manejo florestal de precisão.

O código contemplando todas implementações utilizadas neste estudo está disponível para acesso na íntegra no *GitHub*².

² <<https://github.com/eduardopelli/tese.git>>

