



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
**MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES**  
**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA**  
**MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI - MPEG**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**TATIANE CAMILA MARTINS SILVA**

**ANÁLISE DA PAISAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS  
PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO  
RIO ARAUAÍ, MOJU, PARÁ**

**BELÉM**  
**2018**

**TATIANE CAMILA MARTINS SILVA**

**ANÁLISE DA PAISAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS  
PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA BACIA DO  
RIO ARAUAÍ, MOJU, PARÁ**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural da Amazônia em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas. Área de concentração: Botânica Tropical. Linha de pesquisa: Ecologia, Manejo e Conservação.**

**Orientadora: Dra. Ima Célia Guimarães Vieira**

**BELÉM  
2018**

---

Silva, Tatiane Camila Martins

Análise da paisagem e identificação de áreas prioritárias para restauração florestal na bacia do rio Árauaí, Moju, Pará. – Belém, 2018.  
115 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Botânica Tropical) –  
Universidade Federal Rural da Amazônia / Museu Paraense Emílio Goeldi,  
2018.

Orientadora: Dra. Ima Célia Guimarães Vieira.

1. Manejo florestal 2. Uso da terra 3. Análise multicritério 4.  
Regeneração natural I. Vieira, Ima Célia Guimarães, (orient.) II. Título

**CDD – 634.92**

---

Bibliotecária-Documentalista: Letícia Lima de Sousa – CRB2/1549

**TATIANE CAMILA MARTINS SILVA**

**ANÁLISE DA PAISAGEM E IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS  
PRIORITÁRIAS PARA RESTAURAÇÃO FLORESTAL NA BACIA  
DO RIO ARAUAÍ, MOJU, PARÁ**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal Rural da Amazônia em convênio com o Museu Paraense Emílio Goeldi como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas. Área de concentração: Botânica Tropical. Linha de pesquisa: Ecologia, Manejo e Conservação.

Data de aprovação: 25 / 01 /2018.

**BANCA EXAMINADORA**



- Orientadora

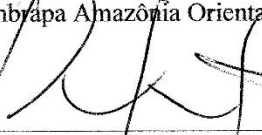
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Ima Célia Guimarães Vieira  
Doutora em Ecologia – University of Stirling  
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG



- 1º Examinador

Prof. Dr.º. Silvio Brienza Junior  
Doutor em Agricultura Tropical – August University of Goettingen  
Embrapa Amazônia Oriental

Embrapa Amazônia Oriental



- 2º Examinador

Prof. Dr.º. Rafael de Paiva Salomão  
Doutor em Ciências Agrárias – UFPA  
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG



- 3º Examinador

Prof<sup>a</sup> Dra.º Arlete Silva de Almeida  
Doutora em Ciências Ambientais – UFPA  
Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG

## DEDICATÓRIA

*Dedico esta dissertação primeiramente a DEUS, o autor do meu destino, carinhosamente a minha mãe querida JANETE MARTINS, por todo seu amor e dedicação por sempre me apoiar em minhas escolhas, pela compreensão e paciência que teve durante a execução deste trabalho.*

## **AGRADECIMENTOS**

A realização deste trabalho contou com a importante colaboração e apoio de pessoas e instituições, as quais ofereço meus sinceros agradecimentos:

À minha orientadora Ima Célia Guimarães Vieira, pela paciência e orientação dedicada à elaboração desta pesquisa.

À professora Arlete Silva de Almeida (MPEG), pelo apoio e contribuição para o andamento da pesquisa.

Aos professores Nazaré Maciel (UFRA) e Bruno Wendel (UFRA) pelos esclarecimentos sobre procedimentos de espacialização do modelo multicriterial em ambiente SIG.

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) pela oportunidade de fazer o curso, pelo ambiente proporcionado para elaboração e conclusão do trabalho.

Ao INCT/Biodiversidade e Uso da Terra na Amazônia, subprojeto Dinâmica de Usos da Terra no leste do Pará (processo CNPq no 574008/2008-0), pelo financiamento a realização dos trabalhos de campo.

À minha mãe Carmem Janete Martins e ao meu irmão Eduardo Martins Silva, pelo amor, apoio e incentivo.

Ao meu companheiro e amigo Alex Santos pelo incentivo, apoio e disposição em ajudar em cada etapa desta pesquisa.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram com a elaboração deste trabalho.

## RESUMO

As atividades antrópicas na Amazônia geram altas taxas de perda e fragmentação de florestas e caracterizam uma ameaça à manutenção da biodiversidade e de serviços ecossistêmicos. Neste contexto, a restauração florestal vem se tornando uma atividade crescente, como iniciativa à recuperação da vegetação nativa e o desenvolvimento de metodologias que identifiquem áreas prioritárias de restauração passiva (uso da regeneração natural) e ativa (plantio de sementes e mudas) é importante no contexto da paisagem. O longo histórico de ocupação da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará acarretou grandes mudanças na paisagem, provocadas pelo avanço das atividades econômicas, como a pecuária e a dendeicultura, e o resultado é uma paisagem composta por fragmentos de florestas primárias ou sem vestígio de exploração (25,1%) e degradadas (24,02%), permeados por áreas produtivas (24,72%), e em processo de regeneração (9,16%). Neste contexto, o objetivo deste estudo foi a definição de áreas prioritárias à restauração florestal na bacia do rio Arauaí utilizando-se o método de Análise Multicriterial, seguindo as etapas: definição de critérios, identificação da importância (pesos) dos critérios e, agregação de critérios por meio do método de Combinação Linear Ponderada. Nesta análise, cinco critérios representaram a paisagem estudada: a definição do tipo de cobertura e uso potenciais para restauração, proximidade à rede de drenagem, proximidade aos fragmentos florestais e distâncias até estradas e rodovias. Este trabalho gerou dois mapas indicando áreas prioritárias para restauração passiva e ativa. Para a restauração passiva, o estudo apontou que cerca de 66% da área tem prioridade média para esta estratégia de restauração florestal, seguido de 16,35% e 15,15% com baixa e alta prioridades, respectivamente. Quanto às áreas prioritárias para restauração ativa, os resultados mostram que 31,82% da área apresenta média prioridade para restauração ativa, 38,51% e 5,59% representam respectivamente baixa e alta prioridade. Os mapas prioritários para restauração passiva e ativa poderão ser usados como instrumentos de gerenciamento ambiental, fornecendo subsídios técnicos para planos de restauração em pequenas bacias hidrográficas da Amazônia.

**Palavras-chave:** cobertura vegetal, uso da terra, análise multicritério, regeneração natural, plantio de mudas.

## ABSTRACT

Anthropogenic activities in the Amazon generate high rates of forest loss and fragmentation and characterize a threat to the maintenance of biodiversity and ecosystem services. In this context, forest restoration is becoming a growing activity, as an initiative to recover native vegetation and thus provide methodologies that identify priority areas for passive (natural regeneration) and active restoration (planting of seeds and seedlings) is important in the landscape context. The long history of occupation of the Arauá River basin, Moju, Pará, has generated great changes in the landscape, caused by the advance of economic activities such as cattle ranching and palm oil cultivation, and the result is a landscape composed of fragments of intact primary forests (25.1%) and degraded forest (24.02%), permeated by productive areas (24.72%) and regeneration forest (9.16%). In this context, the objective of this study was to define priority areas for forest restoration in the Arauá river basin using the Multicriteria Analysis method, following the steps: definition of criteria, identification of importance (weights) of the criteria and aggregation of criteria using the Weighted Linear Combination method. In this analysis, five criteria represented the landscape studied: the definition of the type of potential cover and use for restoration, proximity to the drainage network, proximity to forest fragments and distances to roads and highways. The result was two maps indicating priority areas for passive and active restoration. For the passive restoration, the study indicated that about 66% of the area has medium priority for this forest restoration strategy, followed by 16.35% and 15.15% with low and high priorities, respectively. For active restoration, the results show that 31.82% of the area presents medium priority for active restoration, 38.51% and 5.59% respectively represent low and high priorities for this strategy. The priority maps for passive and active restoration can be used as instruments of environmental management, providing technical subsidies for restoration plans in small watershed of the Amazon.

**Key words:** vegetation cover, land use, multicriteria analysis, natural regeneration, planting of seedlings.



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 2.1.</b> Localização da bacia hidrográfica do Rio Arauaí, Moju, Pará .....	30
<b>Figura 2.2.</b> Mapa de classificação da cobertura vegetal e uso da terra para o ano de 2016, da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	33
<b>Figura 3.1.</b> Localização da bacia hidrográfica do rio Arauaí, no município de Moju, estado do Pará. ....	45
<b>Figura 3.2.</b> Mapa critério de Uso e Cobertura da Terra Potenciais à Restauração Passiva (Critério CTPP).....	57
<b>Figura 3.3.</b> Mapas do critério de Proximidade com a floresta primária (Critério Prox_FP)....	59
<b>Figura 3.4.</b> Mapa critério Déficit (%) de cobertura florestal em Áreas de Preservação Permanente (Critério DF_FP).....	61
<b>Figura 3.5.</b> Mapa critério de distância de estradas e rodovias (Critério Dist_EST).....	63
<b>Figura 3.6.</b> Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão (Critério VNE).....	64
<b>Figura 3.7.</b> Mapa de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	68
<b>Figura 4.1.</b> Localização da bacia hidrográfica do rio Arauaí, município de Moju, Pará.....	80
<b>Figura 4.2.</b> Mapa critério de Cobertura e Uso da terra Potenciais para Restauração Ativa na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	89
<b>Figura 4.3.</b> Mapa critério da Porcentagem de Floresta Primária em Áreas de Reserva Legal na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	92
<b>Figura 4.4.</b> Mapa critério de distância com a floresta primária na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	94
<b>Figura 4.5.</b> Mapa critério de Proximidade com as Estradas e Rodovias na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	96
<b>Figura 4.6.</b> Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará...	99
<b>Figura 4.7.</b> Mapa de áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	101
<b>Figura 5.1.</b> Mapas de áreas prioritárias à restauração passiva e ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	112

## LISTA DE TABELAS

### Página

<b>Tabela 2.1.</b> Quantificação das classes de cobertura e uso da terra da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	38
<b>Tabela 3.1.</b> Ponderação do critério CTPP para identificação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará .....	47
<b>Tabela 3.2.</b> Ponderação do critério Prox_FP para identificação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará. ....	48
<b>Tabela 3.3.</b> Ponderação do critério DF%_APP para identificação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	49
<b>Tabela 3.4.</b> Ponderação do critério Dist_EST para identificação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	49
<b>Tabela 3.5.</b> Intervalos de declividade, grau e classes de vulnerabilidade na área da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará .....	50
<b>Tabela 3.6.</b> Ponderação das classes de cobertura vegetal e uso da terra de acordo com o grau de cobertura do solo na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará. ....	51
<b>Tabela 3.7.</b> Ponderação das classes pedológicas de acordo com o grau de erodibilidade da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará. ....	51
<b>Tabela 3.8.</b> Unidades geomorfológicas de acordo com o nível de vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará. ....	52
<b>Tabela 3.9.</b> Ponderação das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural a Erosão da região da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	52
<b>Tabela 3.10.</b> Ponderação dos critérios prioritários à restauração passiva na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará. ....	53
<b>Tabela 3.11.</b> Classificação, ponderação e quantificação dos critérios para avaliação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	55
<b>Tabela 3.12.</b> Distribuição das classes de prioridade à restauração passiva, segundo a análise multicritério para a bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	67
<b>Tabela 4.1.</b> Ponderação do critério CTPA para indicar áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	82
<b>Tabela 4.2.</b> Ponderação do critério %FP-RL para indicar áreas prioritárias á restauração ativa na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	82
<b>Tabela 4.3.</b> Ponderação do critério Dist_FP para identificação de áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará .....	83
<b>Tabela 4.4.</b> Ponderação do critério Prox_EST para identificação de áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	83

<b>Tabela 4.5.</b> Temáticas relacionados a indicação da vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará .....	85
<b>Tabela 4.6.</b> Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural a Erosão da região da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará. ....	86
<b>Tabela 4.7.</b> Peso particular dos critérios no mapeamento de áreas prioritárias à restauração na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	87
<b>Tabela 4.8.</b> Distribuição das classes de prioridade de restauração ativa, segundo a análise multicritério usada para bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.....	100

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1.</b>	<b>Problema da Pesquisa.....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.</b>	<b>Hipóteses.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>14</b>
1.3.1.	Geral.....	14
1.3.2.	Específicos.....	14
<b>1.4.</b>	<b>Referencial Teórico.....</b>	<b>14</b>
1.4.1.	Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo.....	14
1.4.2.	Análise Multicritério.....	17
1.4.3.	Restauração Florestal.....	19
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>23</b>
<b>2.</b>	<b>CAPÍTULO 1: ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NA PAISAGEM DA BACIA DO RIO ARAUÍ, MOJU, PARÁ.....</b>	<b>29</b>
<b>2.1.</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2.</b>	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>30</b>
2.2.1.	Área de Estudo.....	30
2.2.2.	Processamento Digital.....	31
<b>2.3.</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>32</b>
2.3.1.	Cobertura Vegetal e Uso da Terra.....	32
<b>2.4.</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>39</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>41</b>
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO 2: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO PASSIVA NA BACIA DO RIO ARAUÁ, MOJU (PA).....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2.</b>	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>44</b>
3.2.1.	Caracterização da Área de Estudo.....	44
3.2.2.	Definição e Ponderação dos Critérios.....	46
3.2.2.1	Critério: Cobertura e Uso da Terra Potenciais à Restauração Passiva (CTPP).....	46
3.2.2.2	Critério: Proximidade com a Floresta Primária (Prox_FP).....	47
3.2.2.3	Critério: Déficit de Cobertura Florestal em APPs (DF_APP).....	48
3.2.2.4	Critério: Distância de Estradas e Rodovias (Dist_EST).....	49
3.2.2.5	Critério: Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE).....	49
3.2.3.	Análise Multicritério.....	53
<b>3.3.</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>55</b>
3.3.1.	Análise dos Critérios.....	55
3.3.2.	Avaliação do Grau de Prioridade para a Restauração Passiva.....	66
<b>3.4.</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIA.....</b>	<b>73</b>

<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA DEFINIÇÃO ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A RESTAURAÇÃO ATIVA NA BACIA DO RIO ARAUAÍ, MOJU (PA).....</b>	<b>78</b>
<b>4.1.</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>78</b>
<b>4.2.</b>	<b>Material e Métodos.....</b>	<b>79</b>
4.2.1.	Área de Estudo.....	79
4.2.2.	Definição e Ponderação dos Critérios.....	80
4.2.2.1	Critério: Cobertura e Uso Potenciais para Restauração Ativa (CTPA).....	81
4.2.2.2	Critério: Porcentagem de Floresta Primária em Reserva Legal (%FP-RL).....	82
4.2.2.3	Critério: Distância da Floresta Primária (Dist_FP).....	82
4.2.2.4	Critério: Proximidade com Estradas e Rodovias (Prox_EST).....	83
4.2.2.5	Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE).....	84
4.2.3.	Análise Multicritério.....	86
<b>4.3.</b>	<b>Resultados e Discussão.....</b>	<b>87</b>
4.3.1	Avaliação dos Critérios.....	87
4.3.1.1	Critério: Cobertura e Uso Potenciais à Restauração Ativa (CTPA).....	87
4.3.1.2	Critério: Porcentagem de Floresta Primária em Reserva Legal (%FP-RL).....	90
4.3.1.3	Critério: Distância da Floresta Primária (Dist_FP).....	93
4.3.1.4	Critério: Proximidade com Estradas e Rodovias (Prox_EST).....	95
4.3.1.5	Critério: Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE).....	97
4.3.2.	Avaliação das Áreas Prioritárias.....	100
<b>4.4.</b>	<b>Conclusão.....</b>	<b>105</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>111</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>115</b>

## 1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Na Amazônia brasileira, as transformações na paisagem são resultado da aceleração econômica, que contribui para conversão de florestas e de outros ecossistemas naturais em extensas áreas fortemente antropizadas (TOLEDO et al., 2015). Essa conversão colabora incisivamente no processo de degradação de ambientes naturais da região (PEREIRA, 2016).

O processo de degradação se inicia com a retirada da cobertura vegetal, que somada a outras intervenções (antrópicas ou naturais), reduz a capacidade de resiliência do ambiente. Pouco tem sido feito para evitar o agravamento dessa problemática, e toda e qualquer iniciativa direcionada à recuperação, conservação e preservação dos recursos naturais em áreas antropizadas deve ser priorizada, em busca de um modelo de desenvolvimento econômico sustentável (PRADO et al., 2014).

Estudos sobre dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra associados ao conhecimento sobre a vegetação e a biodiversidade vêm se mostrando fundamentais no entendimento dos processos que levam à alteração do espaço geográfico amazônico (VIEIRA; NAHUM, 2013), tendo grande valor para o entendimento da fragilidade do território amazônico e de seus recursos naturais. Neste sentido, as Bacias Hidrográficas (BH) vêm se destacando como áreas de estudo de intrínseca relação com as mudanças no uso da terra, consideradas uma unidade de análise que considera integralmente seus elementos bióticos e abióticos e as relações estabelecidas entre eles (SCHUSSEL; NETO, 2015).

A importância da BH como unidade de gestão e planejamento vem sendo reconhecida nas políticas públicas por sua capacidade de considerar diversos objetivos, tais como o desenvolvimento econômico, a equidade social, econômica e ambiental e a sustentabilidade, ampliando sua visão apenas territorial para ser um espaço em que as relações físicas e humanas possam ser interpretadas (CARVALHO et al., 2011; SILVEIRA, 2013).

A escolha da BH do Rio Arauá, município de Moju, estado do Pará, é justificada pelas grandes mudanças na paisagem, provocadas pelo avanço das atividades econômicas, como a monocultura de dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.), a qual está direcionando a ocupação e uso da terra, com papel importante na reconfiguração da paisagem do leste da região amazônica (NAHUM; BASTOS, 2014; ALMEIDA, 2015).

A expansão de grandes empreendimentos agrícolas, como a dendeicultura, acaba criando impactos preocupantes ao meio ambiente que interferem na qualidade e quantidade dos recursos naturais disponíveis na região (HOMMA; VIEIRA, 2012). Os recursos hídricos de certa forma

são mais vulneráveis às alterações do entorno e neste sentido, nota-se que as áreas naturais protegidas pela legislação, representadas pelas Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Áreas de Reserva Legal (RLs) da bacia do rio Arauaí são áreas fortemente ameaçadas pelo avanço das pastagens e agricultura de grande escala (ALMEIDA, 2015).

Estudos científicos mostram a alta intensidade da degradação das florestas de terra firme na Amazônia brasileira sujeitas à exploração seletiva de madeira e ação do fogo (ARAGÃO; SHIMABUKURO, 2010; SOUZA-JUNIOR et al., 2013), bem como os impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecológicos (BERENGUER et al., 2014; MOURA et al., 2013). Os estudos sobre os impactos da dendeicultura na biodiversidade e nos serviços ecológicos mostram que plantios dessa cultura perene mantêm comunidades empobrecidas de vegetação arbórea e aves, não oferecendo habitat para as espécies da floresta primária, incluindo espécies raras e de interesse para a conservação (ALMEIDA, 2015; LEES et al., 2015). Neste contexto, evidencia-se a importância de estudos mais centrados em obter respostas para a restauração de áreas que estão intensamente sujeitas aos processos de degradação e baixa capacidade de resiliência.

Diversos estudos referentes à priorização de áreas a serem restauradas foram desenvolvidos tendo com área de estudo bacias hidrográficas, como Francisco et al., (2007) elaboraram mapa de priorização de áreas de preservação permanente para recuperação na Bacia do córrego São Quirino, São Paulo, Sartori et al., (2012) consideram áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais com vistas a ações de recuperação florestal na Bacia do Rio Pardo, São Paulo e Valente et al., (2017) em que determinam áreas prioritárias para restauração florestal da bacia hidrográfica do rio Quilombo, São Paulo.

Todos estes estudos utilizam análise multicritério em ambiente SIG, possibilitando a identificação de área com alto risco de degradação ambiental, conduzindo a uma melhor avaliação dos impactos, fornecendo subsídios à gestão do território. Para isso, a escolha de um método de restauração, envolvendo diferentes técnicas, devem integrar conhecimentos sobre a importância e potencial de retorno das funções ecológicas da paisagem próximas ao estado original da floresta antes da degradação (HOLL, 2013).

Fatores (critérios) como cobertura vegetal e uso da terra e proximidade ou distância com a vegetação nativa, servem como principais indicadores para a restauração da paisagem. O primeiro representa o histórico de utilização e afeta de maneira significativa a taxa de recuperação e a proximidade com algum remanescente florestal é importante para recuperação de sítios, pois servem de fonte de sementes (HOLL, 2013).

Estes indicadores revelam se uma determinada região ou local apresenta características desejáveis para aplicação de técnicas de restauração passiva ou ativa. Assim, a definição de metodologias que indiquem ambientes potenciais à restauração da paisagem desflorestada ou em bacias hidrográficas, irá proporcionar a interpretação da realidade ambiental por meio de modelos, sendo possível a integração e o cruzamento de vários fatores geoespaciais (CARVALHO et al., 2014).

A tomada de decisão por meio de escolhas de ferramentas e metodologias que permitam o gerenciamento dos recursos naturais de forma sustentável, como o sistema de informação geográfica (SIG), gera a simplificação e representação do estado de degradação de uma determinada paisagem (BERENGUER et al. 2014). Técnicas de geoprocessamento e produtos de sensoriamento remoto, atualmente são instrumentos indispensáveis nas análises e monitoramento ambiental, integrando banco de dados computacionais com dados coletados *in loco*, permitindo o delineamento de análises mais complexas e precisas em escalas de maior detalhamento (LORENZZETTI, 2015).

### **1.1. Problema da Pesquisa**

O processo histórico de ocupação da região do nordeste paraense por grandes empreendimentos agropecuários resultou em intensas transformações espaciais e estruturais na paisagem. Na bacia do rio Arauaí, a expansão da pecuária e da dendeicultura com plantios consolidados ocorre desde 1980 (ALMEIDA, 2015) e as áreas de floresta primária ocupam cerca de 30% da paisagem.

A redução das áreas de florestas naturais é uma consequência evidente da influência das atividades econômicas nesta bacia, o que contribui para o aumento da fragmentação, perda de habitat, aumento dos processos erosivos e perda de resiliência da floresta (ALMEIDA, 2015). Além disso, as áreas de preservação permanente da região vêm sendo ocupadas com atividades econômicas de alto impacto ambiental que levam a supressão de vegetação, desrespeitando o regimento legal desse tipo de área protegida (ALMEIDA; VIEIRA, 2014).

Na tentativa de garantir a manutenção da estrutura e dos processos ecológicos dos remanescentes florestais em paisagens, tem sido dada muita atenção às metodologias que buscam a determinação de áreas prioritárias para adoção de práticas de restauração ecológica (CHAZDON; LAESTADIUS, 2016).

Assim, metodologias que possibilitem, de maneira simplificada, a determinação de áreas prioritárias à restauração e diferentes alternativas para restabelecimento das funções ecológicas



de ecossistemas, são fundamentais. Destacam-se, assim, aquelas feitas a partir do cruzamento espacial em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) de critérios ambientais que constituem a paisagem, facilitando a gestão, manejo e o monitoramento ambiental. A análise multicritério é uma abordagem de grande importância para estudos relacionados a restauração florestal (VETTORAZZI; VALENTE, 2016), devido a capacidade de agregar critérios que representam as características críticas da estrutura da paisagem.

## **1.2. Hipóteses**

- 1) Através da análise integrada dos componentes da paisagem é possível indicar áreas prioritárias para restauração passiva e ativa.
- 2) A análise multicritério torna possível alocar de maneira simplificada, áreas prioritárias para diferentes métodos de restauração.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Geral**

Identificar áreas prioritárias à restauração florestal passiva e ativa por meio da análise multicritério (AMC) em ambiente SIG na Bacia Hidrográfica do Rio Aruaí, Moju, Pará.

### **1.3.2. Específicos**

- 1) Analisar espacialmente as alterações antrópicas no uso e na cobertura da terra da bacia do rio Aruaí;
- 2) Identificar áreas prioritárias para a restauração passiva (uso da regeneração natural) e para a restauração ativa (com plantio de mudas e sementes).

## **1.4. Referencial Teórico**

### **1.4.1. Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo**

O termo “Bacia Hidrográfica” ou “Bacia de Drenagem” (GRANELL-PÉREZ, 2004) faz referência a uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água (canais e tributários), que drenam água da chuva, sedimentos e substâncias dissolvidas para um canal principal. O limite de uma bacia está baseado em critérios geomorfológicos, apresentando maior exatidão se comparada a outras unidades de planejamento baseadas em outros atributos como o clima e a vegetação (NOWATZKI et al., 2010; BOTELHO, 2010).

Cada Bacia Hidrográfica (BH) se interliga com outra de ordem hierárquica superior, constituindo, em relação à última, uma sub-bacia. Assim, os termos bacia e sub-bacia hidrográfica são relativos (CARMO; SILVA, 2010). Os canais primários (nascentes) são chamados de 1ª ordem. A convergência de dois canais primários forma um de 2ª ordem, e assim sucessivamente. A união de um canal de uma dada ordem a um canal de ordem superior não altera a ordem deste. A ordem do canal à saída da bacia é também a ordem da bacia (LIMA, 2008).

O tamanho da BH irá determinar a complexidade do estudo, assim, bacias hidrográficas menores facilitam o planejamento, devido a maior facilidade de individualizar e centralizar as principais problemáticas (SANTOS, 2004). O tamanho ideal de uma bacia hidrográfica é aquele capaz de incorporar toda a problemática de interesse (PORTO; PORTO, 2008).

As BHs vêm se tornando uma unidade territorial cada vez mais importante na gestão não apenas dos Recursos Hídricos, mas para gestores e pesquisadores na compreensão do conceito de bacia hidrográfica e suas subdivisões e na formulação de políticas de meio ambiente e na gestão territorial de uma maneira geral.

Estudos pioneiros utilizando BH como unidades de estudo, ocorreram nos Estados Unidos da América no início da década de 1990. Com a criação do Código Florestal Brasileiro – Lei 4.771/1965, foram estabelecidos alguns princípios que nortearam as intervenções sobre o meio ambiente, definindo as áreas de preservação permanente, protegendo indiretamente a quantidade e qualidade dos recursos hídricos ao determinar a preservação das florestas e das matas ciliares situadas ao longo de cursos d'água, nascentes, lagos ou reservatórios (BRASIL, 2007).

A Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, estabelece princípios e normas para a gestão de recursos hídricos seguindo a definição de bacias hidrográficas como unidade de estudo e gestão, entre outras medidas, cria o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, que começa a funcionar em 1998. No ano 2000, é criada a Agência Nacional de Águas por meio da Lei 9.984.

Dentre os métodos necessários ao desenvolvimento da gestão de recursos hídricos destacam-se os de codificação de bacias hidrográficas, como o método de Otto Pfafstetter desenvolvido como forma de classificar as bacias hidrográficas de forma hierárquica, classificando as bacias de ordem menor de otobacias (RUBERT; FIGUEIREDO, 2001). As características principais desse método são: tratar-se de um método que permite a hierarquização da rede hidrográfica; a topologia da rede está embutida no código; ser de

aplicação global; ser de fácil implementação computacional e, conseqüentemente, interagir bem com Sistemas de Informação Geográfica – SIGs .

Inúmeras definições de BH foram formuladas à medida que os estudos avançaram, baseando-se nas áreas de concentração de determinada rede de drenagem. As definições envolvem subdivisões da bacia hidrográfica em sub-bacias e microbacias, apresentando diferentes abordagens (TEODORO, 2007). As definições propostas para BH assemelham-se ao conceito formulado por Barrella et al. (2001), sendo um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas escoam pela superfície formando riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

O rio Arauaí constitui uma sub-bacia formada por cinco microbacias, este conjunto, por sua vez, está integrado à bacia hidrográfica do rio Moju (Figura 1). Os termos sub-bacia e microbacia hidrográfica também estão incorporados na literatura técnico-científica, no entanto, não existe convergência conceitual para o termo bacia hidrográfica.

As sub-bacias podem ser definidas como sendo áreas de drenagem dos cursos d'água principal, com áreas maiores que 100 km<sup>2</sup> e menores que 700 km<sup>2</sup> (FAUSTINO, 1996). Microbacias hidrográficas são conceituadas adotando unidades hidrológicas e ecológicas (CALIJURI; BUBEL, 2006). Para estes autores, são áreas formadas por canais de primeira e segunda ordem e, em alguns casos, de terceira ordem.

O uso de BH, em estudos ambientais como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental, apresenta grande importância para compreender os processos de degradação dos recursos naturais (ALMEIDA, 2014). Bacias hidrográficas são unidades naturais, adotadas para análises de diferentes paisagens (MARTINS; FREITAS, 2014), através da correlação de processos abióticos, assim como os agentes naturais e que fazem parte da sua dinâmica com a ação do homem, gerando uma concreta avaliação sobre o real estado de degradação da área e do seu entorno.

A dinâmica do uso e cobertura da terra em BH possuem inter-relações existentes entre os variados elementos da paisagem. As ações como o desmatamento e usos da superfície (exploração convencional de madeira, extensos plantios de culturas perenes), sobre os sistemas hídricos provocam alterações significativas na paisagem de bacias hidrográficas sobre o escoamento (TUCCI; MENDES, 2006), contribuindo para o agravamento da erosão.

O intenso uso dos recursos naturais para suprir as demandas das atividades humanas como a agropecuária, indústria, produção de energia, entre outras, geram impactos diretos na

qualidade e na quantidade de tal recurso, tendo a necessidade permanente de proteção dos recursos hídricos (COELHO et al., 2014). O diagnóstico da paisagem de uma BH facilita a equivalência do uso e ocupação da terra com a preservação ambiental, permitindo o desenvolvimento e monitoramento de estratégias de conservação na área de bacias hidrográficas.

#### 1.4.2. Análise Multicritério

A Análise Multicritério (AMC) é uma técnica que permite o envolvimento de várias partes interessadas, demonstrando que algumas questões com grande valor de importância podem ser utilizadas em diferentes situações, comparando possibilidades com elementos quantificáveis ou não (THERIVEL, 2010).

As ferramentas adotadas na AMC permitem agrupar características distintas, atribuindo pesos ou valores, priorizando diferentes alternativas, dessa forma facilitando a tomada de decisão. Carvalho Júnior et al. (2008), denominam análises multicritério, como árvore de decisão ou análise hierárquica de pesos, onde são realizados múltiplos procedimentos metodológicos de correlação e cruzamento de fatores, que são ponderados, atribuindo um valor, que irá expressar o grau importância do fator na análise.

Para cada fator ou variável, são atribuídos pesos, dos quais traduzem numericamente o grau de importância dos fatores envolvidos na análise. O peso é atribuído de acordo com a influência que variável irá refletir no cruzamento do conjunto de variáveis que compõem o estudo (PEREIRA, 2016). A análise de um ou mais critérios, podem ser de dois tipos, tais como: fatores que ressaltam ou atenuam determinada alternativa, sendo comumente ponderada em escala contínua; e restrições, que não recebem importância pois limitam a análise, expressa geralmente sob forma de mapas indicativos (EASTMAN, 2001).

A execução da AMC de modo geral, pode ser executadas levando em consideração seis etapas (VILAS BOAS, 2005):

- i) *Caracterização da problemática.* Cabe saber sobre o que se quer solucionar;
- ii) *Definição de um conjunto de atividades potenciais.* Os fatores envolvidos na tomada de decisão devem estabelecer alternativas que possam solucionar a problemática;
- iii) *Elaboração de um agrupamento de critérios.* Descrição de um conjunto de critérios que admita a analisar os danos das ações antrópicas sobre o meio ambiente;
- iv) *Avaliação dos critérios.* Nesta etapa são avaliados os critérios previamente estabelecidos com base em suas respectivas ações;

v) *Fixação dos pesos dos critérios e limites de caracterização*. Os pesos representam numericamente a importância relativa de cada critério;

vi) *Associação dos critérios*. Consiste em agregar (sobrepor) as avaliações dos diferentes critérios para cada ação.

As abordagens multicritérios possibilitam uma melhor adaptação aos contextos decisórios encontrados na prática, assegurando que um grande número de dados, interações e objetivos sejam avaliados de forma conjunta (VILAS BOAS, 2005).

Um dos métodos de sobreposição mais utilizados é chamado de Combinação Linear Ponderada (CLP), onde para cada variável analisada é atribuído um valor (peso) de importância em um intervalo comum, baseado em literaturas, sendo os mapas combinados por meio de uma média ponderada (EASTMAN, 2001).

A finalidade desse método é estabelecer a importância relativa entre os fatores, através dos pesos, partindo-se de dois pressupostos, o primeiro que é possível presumir e considerar o peso relativo de qualquer combinação de fatores, e o segundo, que os pesos são considerados aditivos (WERNKE; BORNIA, 2001).

Os métodos de AMC podem ser trabalhados em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), facilitando e simplificando a análise e gerenciamento de decisão em planejamento de ações ambientais (FRANCISCO, 2007), através da escolha de variáveis (critério) prioritárias para a indicação de locais ou áreas para estudos ambientais (FRANCISCO et al., 2008).

O uso de geotecnologias como subsídio ao planejamento e gerenciamento ambiental por meio da AMC possibilita de maneira eficiente, a manipulação e organização de informações espaciais relacionadas a configuração da paisagem, possibilitando ainda, obter novas informações a partir dos modelos gerados (LORENZZETTI, 2015).

No que concerne à priorização de áreas, o geoprocessamento e sensoriamento remoto são ferramentas mais eficientes e econômicas no manejo de bacias hidrográficas (SARTORI et al., 2012). Orsi e Geneletti (2010) abordam que para o sucesso de projetos de restauração florestal, torna-se indispensável e necessária a utilização dos SIGs para o gerenciamento de dados especiais. Atualmente, a integração de AMC com o SIG é considerado um avanço quando comparada aos procedimentos usuais de cruzamento de informações georreferenciadas (ÁVILA, 2016). Análise Multicritério e SIG podem ser acoplados para fornecer reforço à tomada de decisão em projetos de restauração florestal, como mostrado em várias outras aplicações, como à conservação da natureza, ao planejamento ambiental e ao manejo florestal

(PEREIRA; DUCKSTEIN, 1993; STORE; KANGAS, 2001; CEBALLOS SILVA; LOPEZ BLANCO, 2003).

#### 1.4.3. Restauração Florestal

As iniciativas mundiais abordam que ações para restauração sejam realizadas em escala regional, incorporando diferentes tipos de cobertura e uso da terra ou diferentes ecossistemas, principalmente em mosaicos de paisagem onde há um equilíbrio entre os usos produtivos da terra e tipos de florestas (CHAZDON; LAESTADIUS, 2016). A definição de restauração usada nessas iniciativas de escala local e global são variadas (HOLL, 2017). O termo restauração florestal esteve por muito tempo focado principalmente no restabelecimento da cobertura florestal para fins econômicos ou para restaurar funções protetoras, caracterizando a reabilitação. Restauração por razões ecológicas, com o propósito de conservação da biodiversidade, surgiu mais recentemente. Atualmente, a definição mais comum é a da Sociedade de Restauração Ecológica- SER (SER, 2004), em que a restauração ecológica “é o processo de assistir à recuperação de um ecossistema que foi degradado, perturbado ou destruído”.

A restauração ecológica é considerada uma peça-chave no planejamento e execução de operações de conservação da biodiversidade (TABARELLI et al., 2010), no entanto, é uma prática que ainda necessita de muitos avanços para que atinja a eficácia necessária, especialmente em regiões tropicais e subtropicais biodiversas, cuja vegetação remanescente está totalmente inserida em paisagens fragmentadas e degradadas (paisagens antrópicas) (BRANCALION, 2010).

A restauração almeja retornar um ecossistema à sua trajetória histórica. Para tanto, as condições históricas são o início do planejamento de restauração. O ecossistema restaurado pode não recuperar sua condição anterior, devido a limitações e condições atuais que podem orientar seu desenvolvimento por uma trajetória diferente (SER, 2004).

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (Lei 9.985/2000) (BRASIL, 2000), define restauração como sendo a “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original”. Sendo que o sucesso da restauração, ocorre geralmente em casos de degradação superficial, possibilitando o retorno da área a condições similares às originais com a adoção de práticas simplificadas de proteção aos ecossistemas (RODRIGUES; GANDOLFI, 2004).

Recentemente, os estudos científicos têm adotado o termo “restauração da paisagem florestal” (Forest Landscape Restoration-FLR), a qual é o “processo contínuo de recuperar a funcionalidade ecológica e melhorar o bem-estar humano em paisagens florestais desmatadas ou degradadas” (LAESTADIUS et al., 2015).

As ações de restauração florestal devem sempre ser reguladas na observância e cumprimento da legislação ambiental brasileira. O Código Florestal Brasileiro (Lei 4.771/65), no qual, passou por longo processo de reformulação com profundas alterações no seu conteúdo. Devido a essas alterações, esse texto vem sendo denominado como Novo Código Florestal (Lei 12.727/2012).

Restauração em escala de paisagem proporciona melhores opções para sobrevivência de populações de espécies ameaçadas de extinção em ecossistemas naturais, áreas agrícolas e áreas que apresentam potencial passivo e ativo de restauração. No entanto, restaurar e proteger pequenas unidades de ecossistemas florestais isolados não é suficiente para reduzir a perda de biodiversidade ou mitigar a mudança climática (CHAZDON et al., 2009).

A restauração de florestas e paisagens envolve processos e atividades que vão muito além do plantio de árvores. São procedimentos de longo prazo que objetivam criar ou recriar paisagens florestais biodiversas, fortalecer os meios de subsistência florestal (extrativismo), geração de renda e gerenciar de forma sustentável a cobertura florestal (LAESTADIUS et al., 2015; SABOGAL et al., 2015).

Nas últimas três décadas, a restauração ecológica apresentou muitos avanços, principalmente por considerar os processos ecológicos envolvidos na dinâmica florestal, através da inserção de espécies de distintos grupos funcionais e de alta diversidade, permitindo a auto sustentabilidade da área restaurada e reduzindo os custos e tempo de manejo (RODRIGUES et al. 2009).

Com a evolução da restauração ecológica, métodos foram sendo desenvolvidos, como a condução da regeneração natural (LAMB, 2005), transposição do solo (FERREIRA, 2015), a nucleação (REIS et al., 2003) e a semeadura direta (AGUIRRE et al., 2015).

Paisagens desmatadas podem se tornar reflorestadas por meio de processos sucessionais espontâneos como o uso da regeneração natural (restauração passiva) ou por restauração ativa, incorporando o plantio de árvores, semeadura direta e regeneração assistida (CHAZDON, 2012).

Como método de restauração passiva, a regeneração natural é um processo ecológico de auto-organização que ocorre em etapas a longo prazo (regeneração espontânea ou passiva), mas

que pode ser melhorado ou acelerado através da intervenção humana (regeneração assistida ou ativa). Inúmeros estudos sobre restauração ecológica vêm crescendo, baseados em técnicas de regeneração espontânea e assistida (RIETBERGEN-MCCRACKEN et al., 2007, BRANCALION et al., 2016, CHAZDON; GUARIGUATA, 2016).

A utilização da regeneração natural como técnica de restauração de áreas degradadas representa uma forte alternativa para aplicação, por consistir em uma técnica de baixo custo, baseada no potencial de resiliências do próprio ambiente. A autorregeneração do ecossistema sofre influência das características de uso e ocupação da área, tanto do passado quanto atual, pela qualidade do solo e pela existência de fragmentos florestais nas proximidades, que poderiam atuar como fontes dispersoras de sementes (ATTANASIO et al., 2006).

A partir da existência do banco de sementes ou plantas de espécies pioneiras ou ambientes próximos a áreas de vegetação natural é possível se determinar qual método de restauração mais adequado para a recuperação das funções ecológica dos ecossistemas. A regeneração natural pode ser uma alternativa mais dinâmica para a recuperação ambiental, aplicando de maneira singular estratégias mais eficazes em áreas localizadas, as quais perderam seu potencial de regeneração natural devido à degradação do solo ou limitações de dispersão (HOLL; AIDE, 2011).

Apesar da regeneração natural ser a estratégia mais barata de restauração ecológica, ela apresenta algumas restrições em certas áreas, em função da falta de remanescentes naturais, nível de degradação, ausência de banco de sementes e baixa resiliência das áreas (MMA, 2017). Nesse caso, a recuperação irá ocorrer predominantemente por meio do plantio de mudas ou sementes, via restauração ativa. Neste sentido, a restauração ativa envolve interferência humana predeterminada e direcionada a geração de renda para o agricultor, de maneira a exceder as barreiras naturais de colonização e regeneração (REY BENAYAS et al., 2008).

A recuperação vegetal de áreas que circundam os recursos hídricos em bacias hidrográficas por meio da regeneração natural é possível a partir do conhecimento de alguns fatores como: a distância dos remanescentes florestais, presença de agentes dispersores, presença de plantas competidoras e animais predadores que possam impedir o estabelecimento das plântulas (SOUZA, 2010).

Muitos estudos têm sido realizados na Amazônia com o objetivo de melhor conhecer os processos naturais de recuperação e restauração de florestas alteradas (POORTER et al., 2016). A ideia central do processo de restauração é a sucessão e esta pode ser mediada por diferentes agentes bióticos e abióticos, que interagem no tempo e no espaço para dar feições próprias ao



novo sistema ecológico que deve ser o mais próximo possível do sistema original (CHAZDON, 2012).

A restauração ecológica deve incluir metas a serem alcançadas a longo prazo, baseadas na recriação de um ecossistema auto-sustentável, estável e resiliente (VIEIRA, 2014). Dentro desta concepção de restauração, um conjunto de ações devem ser propostas no sentido de nuclear funções biológicas e econômico capazes de facilitar a natureza a se recompor. Definir a melhor estratégia para restaurar um ecossistema requer o entendimento de uma série de processos ecológicos que ocorrem na comunidade.

A avaliação do potencial de resiliência pode fornecer relevantes informações para a tomada de decisões sobre as ações mais apropriadas na restauração ecológica de uma área degradada, onde o ambiente foi totalmente modificado por distúrbios naturais ou antrópicos, dependendo da severidade ou frequência ultrapassa o limiar de recuperação natural do ecossistema (ARONSO et al., 2011). Este passo representa uma primeira etapa, de fundamental importância no processo de restauração ecológica (CHAZDON, 2012; VIEIRA, 2014).

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. de. **Mudanças de uso da terra em paisagens agrícolas com palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e implicações para a biodiversidade arbórea da Amazônia.** 2015. 115p. Tese (Doutorado – Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2015.
- ALMEIDA, A. S. de.; VIEIRA, I. C. G. Conflitos no uso da terra em áreas de preservação permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, 2014.
- AGUIRRE, A. G.; LIMA, J. T.; TEIXEIRA, J.; GANDOLFI, S. Potencial da semeadura direta na restauração florestal de pastagem abandonada no município de Piracaia, SP, Brasil. **Hoehnea**, 42 (4), p. 629-640, 2015.
- ALMEIDA, T. M. de. **Análise geossistêmica aplicada ao estudo da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São João de Tiba, Bahia.** 2014. 267p. Tese (Doutorado - Geografia). Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia. Bahia. 2014.
- ARAGÃO, L. E.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian forests with implications for REDD. **Science**, v. 328, n. 5983, p. 1275-1278, Jun. 2010.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 44, n. único, p. 1-38, 2011.
- ATTANASIO, C. M.; et al. **Adequação ambiental de propriedades rurais:** recuperação de áreas degradadas e restauração de matas ciliares. ESALQ, Piracicaba, 2006, 1-65p. Disponível em:<[http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Repositorio/222/Documentos/Gestao%20Projetos/20061\\_ap\\_LERF.pdf](http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam2/Repositorio/222/Documentos/Gestao%20Projetos/20061_ap_LERF.pdf)> Acesso em: 12 out 2016.
- ÁVILA, P. A. **Análise multicriterial como ferramenta para a AAE da Bacia Hidrográfica do Rio Grande.** 2016. 88p. Dissertação (Mestrado Acadêmico). Universidade Federal de Lavras. 2016.
- BARRELLA, W. et al. **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes.** In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.
- BRANCALION, P.; SCHWEIZER, D. U.; GAUDARE, J.; MANGUEIRA, F.; LAMONATO, F.; FARAH, R. R. Balancing economic costs and ecological outcomes of passive and active restoration in agricultural landscapes: The case of Brazil. **Biotropica**, v. 48, p. 856–867, 2016.
- BRANCALION, P. H. S.; et al. Instrumentos legais podem contribuir para a restauração de florestas tropicais biodiversas. **Revista Árvore**, v.34, n.3, p.455 - 470, 2010.
- BRASIL. **Lei no 9.985 de 18 de julho de 2000.** Regulament o art. 225, § 1o , incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 de julho de 2000.

Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm). Acesso em: 02 de Fevereiro de 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Brasil: Recursos Hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil**. Agência Nacional de Águas/Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007. 264 p.: il. GEO Brasil Série Temática: GEO Brasil Recursos Hídricos. 2007.

BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; CAMARGO, P.B. DE.; CERRI C.E.; DURIGAN, M.; OLIVEIRA, R.C.D.; VIEIRA, I.C.G.; BARLOW, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, 20, p. 3713-3726, 2014.

BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, S. J. T; SILVA, A. BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 340p. 2010.

CALIJURI, M. C.; BUBEL, A. P. M. Conceituação de Microbacias. In: LIMA, W de P.; ZAKIA, M. J. B. (Orgs.). **As florestas plantadas e a água. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: Ed. RiMA, 2006. 226p.

CARMO, J. P. A. e SILVA, P. D. D. A Bacia hidrográfica como unidade de estudo, planejamento e gestão. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, 2010, Porto Alegre. XVI ENG, 2010.

CARVALHO, J. R. M.; CARVALHO, E. K. M. A.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Metodologias para avaliar a saúde ambiental: uma aplicação em municípios empregados a análise multicriterial. **Saúde e Sociedade**, [Online]. vol. 23, n. 1, p. 204 – 216, 2014.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 456-465, 2011.

CARVALHO-JÚNIOR, O. A.; COELHO, M. A. N.; MARTINS, E. S. Mapeamento da vegetação na floresta atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**. São Paulo, v. 26, n. 3, p. 331 – 345, 2008.

CEBALLOS-SILVA, A.; LÓPEZ-BLANCO, J. Delineation of suitable areas for crops using a multi-criteria evaluation approach and land use/cover mapping: a case study in Central Mexico. **Agricultural Systems**, v.77, p.117-136, 2003.

CHAZDON, R. L.; LAESTADIUS, L. Forest and landscape restoration: Toward a shared vision and vocabular. **American Journal of Botany**, 103 (11): 1 – 3, 2016.

CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: Prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, p. 844–855. 2016.

CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. **Ciências Naturais**, Belém, v. 7, n. 3, p. 195-218, 2012.

CHAZDON, R. L.; PERES, C. A.; DENT, D.; SHEIL, D.; LUGO, A. E.; LAMB, D.; STORK, N. E.; MILLER, S. E. The potential for species conservation in tropical secondary forests. **Conservation Biology**, 23 (6): 1406-1417. 2009.

COELHO, V. H. R.; et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

EASTMAN, J. R. **Decision strategy analysis**. In: Idrisi 32 release 2: Guide to GIS and image processing, v.2, p.1–22. Clark University, Worcester, 2001.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, p. 90, 1996.

FERREIRA, S. P. **Estimativa de emissões de gases de efeito estufa em reservatórios de hidrelétricas utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. 85 p. 2015. Tese (doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2015.

FRANCISCO, C. E. S.; et al. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 1-13, 2008.

FRANCISCO, C. E. S.; et al. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2643-2650, 2007.

GRANELL-PÉREZ, M. D. C. **Trabalhando geografia com as cartas topográficas**. Ijuí-RS: UNIJUÍ, 2004.

HOLL, K. D. Research Directions in Tropical Forest Restoration. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, 102 (2), p. 237-250, 2017.

HOLL, K. D. Restoring Tropical Forest. **Nature Education**, 4(4):4, 2013.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore ecosystems? **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1558-1563, 2011.

HOMMA, A. K. O; VIEIRA, I. C. G. Colóquio sobre dendezeiro: Prioridades de Pesquisas Econômicas, sociais e Ambientais na Amazônia. **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, Belém, PA, v. 8, n. 15, p. 79-90, 2012.

LAESTADIUS, L., S. MAGINNIS, S.; MINNEMEYER, P. V.; POTAPOV, K.; REYTAR.; C.; SAINT-LAURENT. Sparing grasslands: Map misinterpreted. **Science**, 347: 1210–1211. 2015.

LAMB, D, et al. Restoration of degraded tropical forest landscapes. **Science**, n. 310, p. 1628–1632, 2005.

LEES, A. C.; MOURA, N. G.; ALMEIDA, A. S. DE.; VIEIRA, I. C. G. Poor Prospects for Avian Biodiversity in Amazonian Oil Palm. **PLoS ONE**, 10 (5), 2015.

LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ/USP, p. 245, 2008.

LORENZZETTI, J. A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. EUA, Editora Blucher. 1ª edição. p. 121 – 129, 2015.

MARTINS, F.; FREITAS, A. R. de. Identificação das unidades de paisagem na bacia hidrográfica do Arroio dos Pereiras, em Irati-PR. **Perspectiva**, v. 38, n. 143, p. 39-49, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.: **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG**. Brasília, DF: MMA, 73p. 2017. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg\\_plano\\_nacional\\_recuperacao\\_vegetacao\\_nativa.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf). Acessado em: 16 de novembro de 2017.

MOURA, N. G.; LEES, A. C.; ANDRETTI, C. B.; DAVIS, B. J. W.; SOLAR R. R. C.; ALEIXO A.; BARLOW J.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A. Avian biodiversity in multiple-use landscapes of the Brazilian Amazon. **Biology Conservation**, 167, p. 339 – 348, 2013.

NAHUM, J.; BASTOS, C. dos S. Dendeicultura e descampesinização na Amazônia paraense. CAMPO-TERRITÓRIO. **Revista de Geografia Agrária**, v. 9, n. 17, p. 469-485, abr., 2014.

NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C.; PAULA, E. V. Utilização do SIG na delimitação das áreas de preservação permanente (APP's) na Bacia do Rio Sagrado (Morretes/PR). **Sociedade e Natureza**, v. 22, n. 1, p. 107-120, 2010.

ORSI, F.; GENELETTI, D. Identifying priority áreas for Forest Landscape Restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. **Landscape and Urban Planning**, n. 94, p. 20 – 30, 2010.

PEREIRA, B. W. de F. **Avaliação da degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste do estado do Pará**. 2016. 104p. Tese (Doutorado – Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. 2016.

PEREIRA, J. M. C.; DUCKSTEIN, L. A Multiple Criteria Decision-Making Approach to GIS-Based Land Suitability Evaluation. **International Journal of Geographical Information Systems**, n. 7, p. 407-424, 1993.

PRADO, F. B.; VASCONCELOS, F. C. W.; CHIODI, C. K. Regime jurídico da Mata Atlântica e o risco à sobrevivência in situ de espécies ameaçadas. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo. v. 17, n. 2, p. 1-16, 2014.

POORTER, L. et al. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. **Nature**, v. 0, 2016.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 43 – 60, 2008.

REIS, A.; BECHARA, F. C.; ESPINDOLA, M. B.; VIERA, N. K.; SOUZA, L. L. Restauração de áreas degradadas: a nucleação como base para incrementar os processos sucessionais. **Natureza & Conservação**, 1 (1): p. 28-36, 2003.

REY BENAYAS, J. M., J. M. BULLOCK & A. C. NEWTON, Creating woodland islets to reconcile ecological restoration, conservation, and agricultural land use. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 6, n. 6, p. 329-336, 2008.

RIETBERGEN-MCCRACKEN, J., S. MAGINNIS, AND A. SARRE. **The forest landscape restoration handbook**. International Tropical Timber Organization, Yokohama, Japan. 2007.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, PH. S.; ISERHAGEN, I. (orgs.) **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica. p. 256, 2009.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. **In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.) Matas ciliares conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP. p. 249-269, 2004.

RUBERT, O. A. V.; FIGUEIREDO, L. C. C. Divisão Hidrográfica Nacional – Aplicação da Metodologia de Otto Pfafstetter. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Aracaju, 25 a 29 de novembro, 2001. **Anais...** (CD-ROM).

SABOGAL et al. **Community forest monitoring: experiences from the Chico Mendes Extractive Reserve**. Oxford: Global Canopy Programme. 2015.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SARTORI, A. A. da C.; SILVA, R. F. B. da.; ZIMBACK, C. R. L. Combinação linear ponderada na definição de áreas prioritárias à conectividade entre fragmentos florestais em ambiente SIG. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1079 – 1090, 2012.

SCHUSSEL, Z.; NETO, P. N. Gestão por bacias hidrográficas: do debate teórico à gestão municipal. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo. v. 18, n. 3, p. 137-152, 2015.

SER. Society for Ecological Restoration International. Grupo de Trabalho sobre Ciência e Política. **Princípios da SER International sobre a restauração ecológica**. 2004. Disponível em: <[https://www.ser.org/pdf/SER\\_Primer\\_Portuguese.pdf](https://www.ser.org/pdf/SER_Primer_Portuguese.pdf)>. Acesso em: 02 nov. 2016.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, p. 943, 2013.

SOUZA JÚNIOR, C. M.; SIQUEIRA, J. V.; SALES, M. H.; FONSECA, A. V.; RIBEIRO, J. G.; NUMATA, I.; COCHRANE, M. A.; BARBER, C. P.; ROBERTS, D. A.; BARLOW, J. Ten-year Landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 5, n. 11, p. 5493-5513, 2013.

SOUZA, L. M. de. **Análise do potencial de regeneração natural no entorno de nascentes em processo de recuperação**. 2010. 164 p. Dissertação (Mestrado – Ciências Florestais). Universidade Federal de Lavras. 2010.

STORE, R.; KANGAS, J. Integrating spatial multicriteria evaluation and expert knowledge for GISbased habitat suitability modelling. **Landscape and Urban Planning**, Amsterdam, v.55, p.79-93, 2001.

TABARELLI, M. et al. Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v. 143, p. 2328 – 2340, 2010.

TEODORO, V. L. I.; FULLER, B. B. ; TEIXEIRA, D ; COSTA, D. J. L. . O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista UNIARA**, v. 20, p. 137-156, 2007.

THERIVEL, R. Strategic environmental assessment in action. **New York: Routledge**, p. 366, 2010.

TOLEDO, P. M. DE.; VIEIRA, I. C. G.; JARDIM, M. A. G.; ROCHA, E. J. P. DA.; COELHO, A. DOS S. A Amazônia em tempo de transformações e desafios: uma visão a partir da Pós – Graduação em Ciências Ambientais. In: VIEIRA, I. C. G.; JARDIM, M. A. G.; ROCHA, E. J. P. (Org.). **Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais**. Belém: Universidade Federal do Pará: Museu Paraense Emílio Goeldi: Embrapa Amazônia Oriental, p. 462, 2015.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente/ SQA – Brasília: MMA, p. 302, 2006.

VALENTE, R. A.; PETEAN, F. C. de S.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 53-60, 2017.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. **Ecological Engineering**, v. 94 , p. 255-267, 2016.

VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M. de.; SANTOS JR, R. A. O. (Orgs.). **Ambiente e sociedade na Amazônia: uma abordagem interdisciplinar**. Rio de Janeiro: Garamond, p. 498, 2014.

VIEIRA, L. L.; NAHUM, J. S. Campesinato e dendeicultura: rupturas e continuidades, um estudo de caso no município de Moju. In: VI SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA E VII SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA AGRÁRIA, 2013, João Pessoa. A questão agrária no século XXI: escalas, dinâmicas e conflitos territoriais, 2013.

VILAS BOAS, C. L. de. Análise da aplicação de métodos multicritérios de decisão na gestão de recursos hídricos. In: XVI Simpósio de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Integrando a gestão de águas às políticas sociais e de desenvolvimento econômico, 2005.

WERNKE, R.; BORNIA, A. C. A contabilidade gerencial e os métodos multicriteriais, **Revista Contabilidade & Finanças FIPECAFI – FEA – USP**, vol.14, n. 25, p. 60, janeiro/abril 2001.

## **2. CAPÍTULO 1: ALTERAÇÕES ANTRÓPICAS NA PAISAGEM DA BACIA DO RIO ARAUAÍ, MOJU, PARÁ**

### **2.1. Introdução**

A investigação sobre a cobertura florestal e uso da terra tem se tornado fundamental para o entendimento da ação humana num dado território, contribuindo na gestão e planejamento dos recursos naturais de uma forma geral (NASCIMENTO; FERNANDES, 2017). Neste aspecto, estudos utilizando técnicas espaciais como o sensoriamento remoto associadas ao Sistema de Informação Geográfica (SIG), têm contribuído para o diagnóstico e monitoramento ambientais, especialmente em regiões de grande extensão territorial como a Amazônia (SÁNCHEZ, 2015). A obtenção de informações ambientais da paisagem através de SIG e ferramentas de sensoriamento remoto podem ser usadas para fazer diagnóstico, por exemplo, sobre a ação humana num dado território contribuindo na gestão e planejamento dos recursos naturais de uma forma geral (NASCIMENTO; FERNANDES, 2017).

Assim, as análises de mudanças de usos da terra vêm sendo realizadas na Amazônia como forma de auxiliar no entendimento das rápidas mudanças que vêm ocorrendo na paisagem regional e para fins de monitoramento do impacto das atividades agrícolas nos ecossistemas e, mais recentemente, no processo de restauração florestal (ALVES et al., 2010).

Em bacias hidrográficas, o planejamento da ocupação e uso da terra é necessário para compatibilização das atividades produtivas com os recursos naturais limitados (TUCCI, 2002; ZACCHI et al., 2012). Na bacia do Rio Aruaí, a pecuária e a dendecultura são as duas atividades agrícolas que mais tem modificado a cobertura florestal (ALMEIDA, 2015). A expansão agrícola ocorre a partir de políticas públicas oficiais que tem gerado impactos socioambientais, que envolvem desde queimadas e degradação florestal até mudanças no uso da terra e concentração fundiária (HOMMA; VIEIRA, 2012; NAHUM; SANTOS, 2013).

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise do uso da terra e da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Aruaí, Moju, Pará, por meio do Sensoriamento Remoto e Sistema de Informação Geográfica (SIG) para fins de verificar as alterações antrópicas na paisagem e servi de base para identificar áreas prioritárias à restauração florestal.

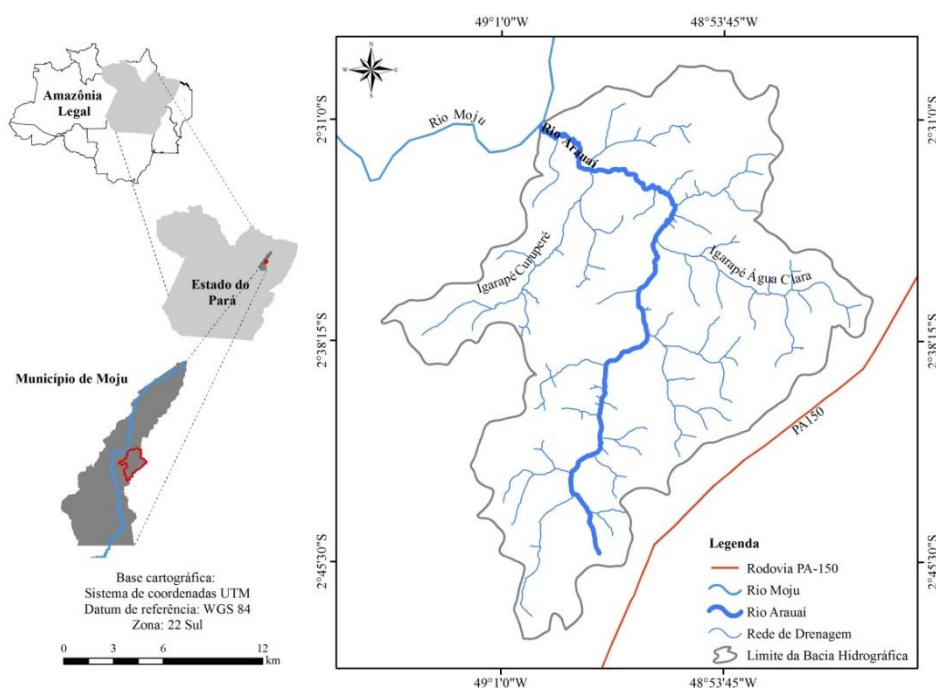


## 2.2. Material e Métodos

### 2.2.1. Área de Estudo

A bacia do rio Arauaí está localizada na mesorregião do Nordeste Paraense, microrregião de Tomé-Açu, município de Moju entre as coordenadas  $2^{\circ} 29' 15,13''\text{S}$  /  $48^{\circ} 55' 15,43''\text{W}$  e  $2^{\circ} 48' 1,23''\text{S}$  /  $49^{\circ} 00' 16,55''\text{W}$  (Figura 2.1.). A área total desta bacia é de 465,82 km<sup>2</sup>, com perímetro é de 128,26 km, tendo 31,45 km de extensão na direção norte-sul e 29,06 km na direção Leste-Oeste, representando cerca de 5,12% do município de Moju (9.094,10 km<sup>2</sup>).

**Figura 2.1.** - Localização da bacia hidrográfica do rio Arauaí, Moju, Pará.



**Fonte:** SILVA, T. C. M.

Nesta bacia há predominância de solos do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), relevo de compartimentação discreta: platôs baixos (tabuleiros), terraços fluviais e várzeas. O clima característico é quente e úmido, com temperaturas médias mensais de 25°C a 27°C. Precipitação pluviométrica varia entre 2000 a 3000mm/ano, sendo o período de janeiro a junho a época mais chuvosa. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (IDESP, 2013).

A vegetação é composta de florestas ombrófila densa aluvial nas áreas de várzea bastante alteradas, favorecendo o surgimento de capoeiras e vegetação secundária latifoliada de terra firme. Atualmente a bacia do rio Arauaí apresenta forte expansão de

atividades produtivas, destacando-se em termos socioeconômicos por fazer parte do polo para expansão do cultivo da palma de óleo, em grande escala (ALMEIDA, 2015).

O Rio Arauaí constitui uma sub-bacia hidrográfica do Rio Moju, estando situada a sua margem direita (Médio Moju) e é considerado um dos afluentes mais importantes do Rio Moju. O Rio Arauaí é um tributário de quinta ordem, possuindo como principais afluentes os igarapés Curuparé na margem esquerda e Água Clara na margem direita, ambos de terceira ordem.

### 2.2.2. Processamento Digital

A delimitação da bacia do rio Arauaí foi realizada por meio do arquivo *shapefile* referente a Ottobacia codificada Nível-5, disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA). Nesse trabalho, foi usado Sistema de Coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), datum WGS-84, Zona 22S. A edição dos dados vetoriais foi realizada no software ArcGis 10.1.

Para análise da cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Arauaí, foi utilizada a imagem LANDSAT-8, sensor OLI, órbita-ponto 224/062, bandas espectrais 4 (vermelho), 5 (infravermelho próximo) e 6 (infravermelho médio) que possui resolução de 30 metros, adquirida na data de 27/08/2016. As bandas espectrais foram fusionadas com a banda 8 (pancromática), assim obtendo melhor resolução espacial (15m). As bandas foram combinadas R(6) G(5) B(4) e recortadas de acordo com a área de estudo.

Para o recorte e classificação da imagem foi utilizado o programa, ENVI versão 4.5. Foi aplicada classificação supervisionada, usando o algoritmo de agrupamento Máximo Verossimilhança (MaxVer). Este algoritmo, necessita de informações para que o avaliador defina qual a probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe. Essa probabilidade é definida pela distância do valor da célula para o valor central da classe, pelo o tamanho e a forma da classe no espaço (ALMEIDA, 2015).

Após o processo de classificação da imagem definindo os tipos de cobertura vegetal e uso da terra foi realizado o procedimento que permite avaliar a qualidade da classificação a partir de uma matriz de erro, obtida pelo cruzamento dos dados de campo com informações do mapeamento, gerando assim o cálculo da Exatidão Global e Índice de Kappa (valor de 0 – 1) (HUDSON; RAMM, 1987).

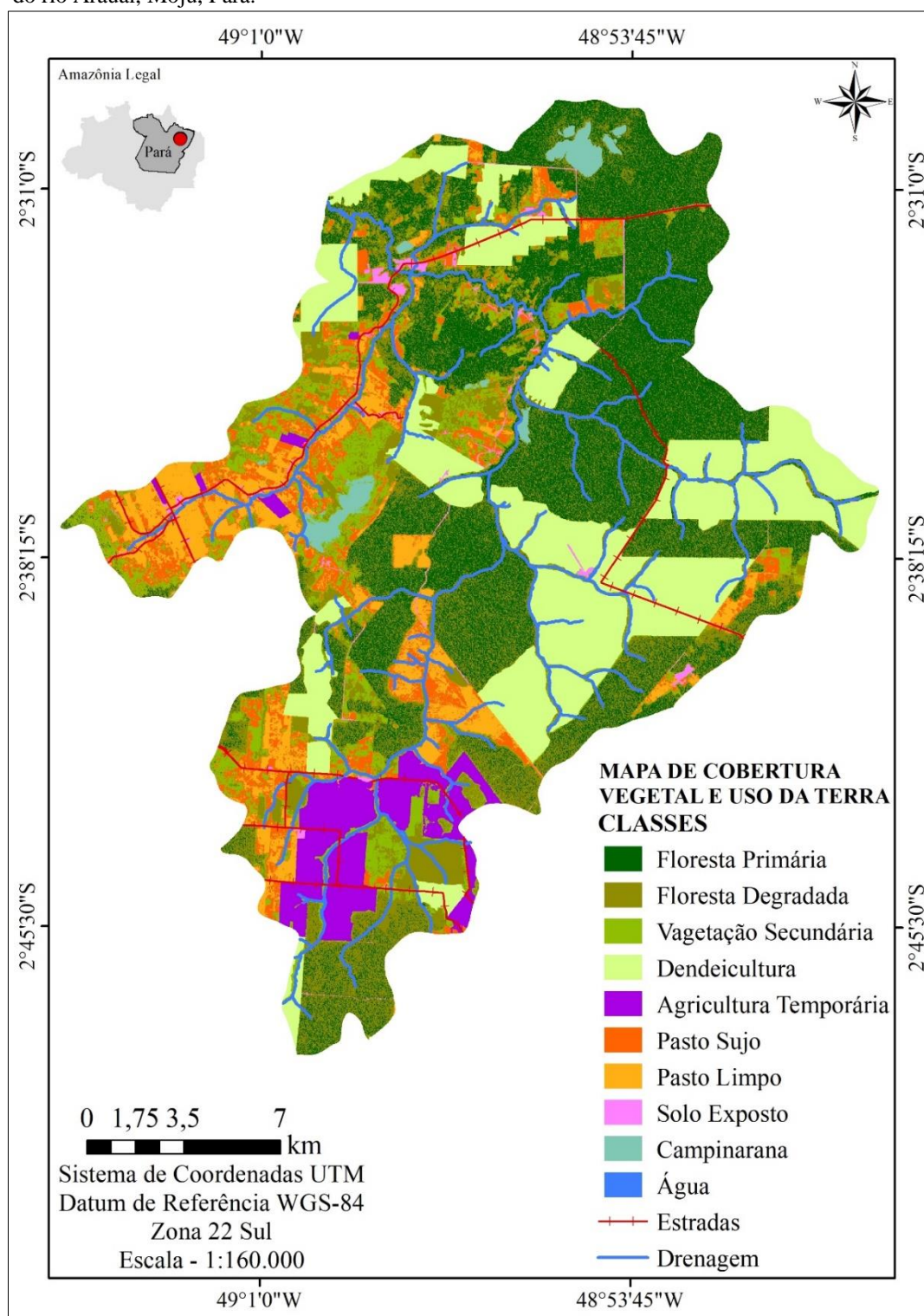
## **2.3. Resultados e Discussão**

### **2.3.1. Cobertura Vegetal e Uso da Terra**

A bacia do rio Arauaí apresenta uma paisagem diversificada, onde as atividades econômicas norteiam o grau de ocupação e uso da terra na região. Desde da década de 1990, a principal atividade econômica da região é representada pelo plantio de palma de óleo, pode estar influenciando na condição de perda de áreas de florestas. Em um estudo realizado por Almeida (2015) na Mesorregião do Nordeste do Pará, apontou a substituição de floresta primária por atividades produtivas em expansão, como a do dendezeiro e pecuária, contribuindo para ocupação de novas áreas para atender à crescente demanda.

A análise da cobertura vegetal e uso da terra nesta bacia proporcionou a identificação de 10 classes no limite da bacia do rio Arauaí, distribuídas entre floresta primária, floresta degradada, vegetação secundária, campinarana, área com dendeicultura, agricultura temporária, pasto sujo e pasto limpo, solo exposto e água (Figura 2.2).

**Figura 2.2.** Mapa de classificação da cobertura vegetal e uso da terra para o ano de 2016, da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



**Fonte:** SILVA, T. C. M.

A classificação foi validada através da matriz de erro, que consiste em um indicativo da veracidade da classificação. Assim, obteve-se maior acerto para as classes de vegetação secundária (100%) e pasto limpo (95,25%) e floresta primária (95%) e o menor

acerto para outras classes (80%). Isso é comum em estudos no leste da Amazônia, onde há mosaicos agrícolas e áreas de vegetação secundária, pastagens e floresta (VIEIRA, et al., 2003; ALMEIDA; VIEIRA, 2008). Ao obter a exatidão global de 90,1% e o índice de Kappa de 0,9, percebe-se por esses altos valores que a classificação é excelente (Quadro 1). O resultado reflete número suficiente de amostras utilizadas para a classificação.

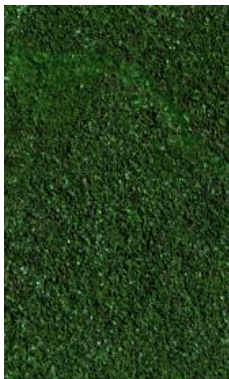

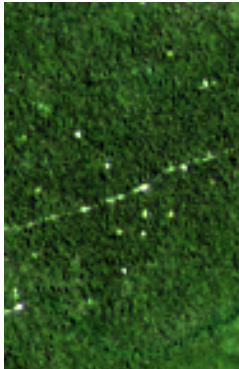

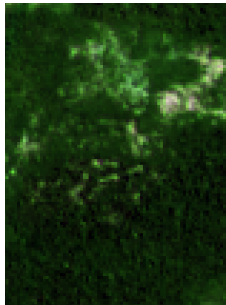

**Quadro 1:** Índice Kappa e o correspondente desempenho da classificação da cobertura vegetal e uso da terra na bacia do rio Arauaí.

<b>Kappa</b>	<b>Qualidade</b>
<0,00	Péssima
0,00 - 0,20	Ruim
0,21 - 0,40	Razoável
0,41 - 0,60	Boa
0,61 - 0,80	Muito Boa
0,81 - 1,00	Excelente





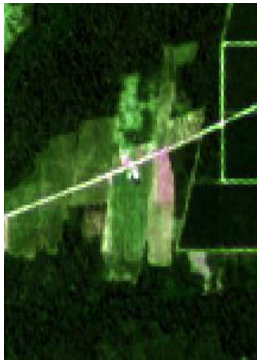



**Fonte:** Fonseca (2000).

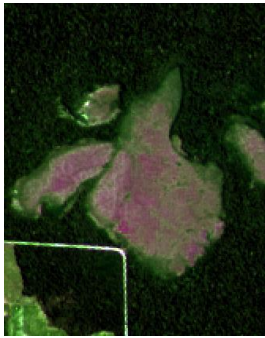

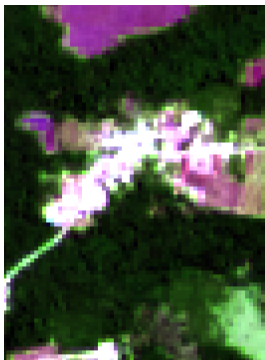

Os termos referentes a cada classe de uso e cobertura da terra estão descritos na chave de interpretação (Quadro 2), onde estão distinguidas as respectivas classes por meio da interpretação visual, considerando elementos de interpretação de imagens de satélite, como a tonalidade, cor, textura, forma, tamanho, padrão, que auxiliam na extração das informações que possam diferenciar os padrões de uso e cobertura na bacia hidrográfica do rio Arauaí. Essas classes ocorrem com frequência em estudos na região de abrangência do nordeste paraense (ALMEIDA; VIEIRA, 2014; ALMEIDA, 2015).

**Quadro 2.** Chave de interpretação do mapeamento das classes de cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Classes de Cobertura Vegetal e Uso da Terra</b>	<b>Sensor OLI Composição RGB LANDSAT 8</b>	<b>Representação Fotográfica</b>
<p><b>Floresta Primária</b></p> <p>Feição relacionada às áreas de floresta formada por vegetação nativa, que se desenvolveu sem interferência humana perceptível (exploração convencional e fogo) (BARLOW et al., 2007), apresentando diferentes estratos e estrutura diamétrica superior. Possui as seguintes características: Cor verde escuro, textura muito rugosa, fragmentos com forma irregular.</p>		 <p>(Foto: Arlete Almeida, INCT*)</p>
<p><b>Floresta Degradada</b></p> <p>Feição relacionada a áreas de floresta primária que sofreu perturbações, causando alterações em sua estrutura (ARONSO et al., 2011), onde ocorreu corte exploração convencional de madeira e queima (ALMEIDA, 2015) formando pontos de clareira e abertura de estradas sem planejamento prévio. Apresenta cor verde escuro e pontos com tonalidade clara, com textura rugosa e fragmentos com forma irregular.</p>		 <p>(Foto: Arlete Almeida, INCT*.)</p>
<p><b>Vegetação Secundária</b></p> <p>Feição relacionada a áreas com regeneração natural e vegetação em diferentes estágios sucessionais, que cresce após o abandono de cultivos agrícolas em áreas originalmente de florestas (BARLOW et al., 2007). Possui cor verde com tonalidade variando do claro ao escuro. Apresenta textura pouco lisa a rugosa e forma irregular.</p>		 <p>(Foto: Camila Martins, INCT*.)</p>



<p><b>Plantio de Dendê (Agricultura Permanente)</b></p> <p>Feição relativa as áreas de dendê com tempo de plantio acima de oito anos. Possui cor verde escuro, textura lisa a pouco rugosa e com formas regulares bem definidas (talhões e estradas).</p>		 <p>(Foto: Camila Martins, INCT*.)</p>
<p><b>Agricultura Temporária</b></p> <p>Feição correspondente a áreas de agricultura de ciclo curto como o milho. Possui tonalidades de rosa e cor verde claro a branca, textura lisa a pouco rugosa e com formas regulares bem definidas (talhões e estradas).</p>		 <p>(Foto: Camila Martins, INCT*.)</p>
<p><b>Pasto Sujo</b></p> <p>Feição pertencente a áreas de pastagem abandonada com presença de vegetação secundária (juquira) e algumas gramíneas invasoras. Possui cor verde claro, textura lisa e com formas regulares (talhões).</p>		 <p>(Foto: Camila Martins, INCT*.)</p>
<p><b>Pasto limpo</b></p> <p>Feição pertencente a agropecuária com presença de vegetação rasteira (gramínea). Possui tonalidades de verde claro, textura lisa e com formas regulares bem definidas (talhões e estradas).</p>		 <p>(Foto: Arlete Almeida, INCT*.)</p>

<p><b>Campinarana</b></p> <p>Feição relacionada a áreas de vegetação natural tipo arbustiva, vegetação rasteira e alguns pontos com solo exposto. Possui cor lilás com bordas na cor verde claro, textura lisa e com formas irregulares.</p>		 <p>(Foto: Camila Martins, INCT*.)</p>
<p><b>Solo Exposto</b></p> <p>Feição correspondente a áreas urbanas como vilas e vicinais (estradas estreitas). Possui cor variando do lilás a branca, textura lisa e com formas irregulares.</p>		 <p>(Foto: Camila Martins, INCT*.)</p>

\*Acervo: INCT Biodiversidade e Uso da Terra na Amazônia, Museu Paraense Emílio Goeldi.

As florestas primárias sem vestígio de perturbação humana e fogo, ocupam 25,10%, sendo um quarto da área total da bacia do rio Aruaí. As áreas ocupadas pela classe floresta degradada, que são florestas primárias, porém houve perturbação e alteração em sua estrutura, causadas pela exploração convencional de madeira e vestígios de fogo, correspondem a 24,02% (praticamente um quarto da área). A vegetação secundária, resultante da regeneração natural e do processo de sucessão ecológica em áreas abandonadas após cultivo, ocupa 9,16% (Tabela 2.1). Estudos de Almeida (2015) demonstram que a partir do desmatamento; cerca de 40% das áreas da bacia, sofrem um processo típico de intensificação do uso da terra, tais como redução do número de manchas, redução e fragmentação da vegetação nativa e diminuição da diversidade total de manchas da paisagem (ALMEIDA, 2015). Esse resultado revela que a bacia do rio Aruaí acompanha o ritmo de desmatamento do município de Moju, no nordeste paraense, com a conversão de florestas em áreas agrícolas, sejam elas permanentes ou temporárias (ALMEIDA; VIEIRA, 2014).



**Tabela 2.1.** Quantificação das classes de cobertura e uso da terra da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

CLASSES	ÁREA (km <sup>2</sup> )	% CLASSES
Floresta Primária	116,95	25,10
Floresta Degradada	111,90	24,02
Vegetação Secundária	42,65	9,16
Dendeicultura	92,31	19,82
Agricultura Temporária	22,84	4,90
Pasto Sujo	35,16	7,55
Pasto Limpo	32,57	6,99
Solo Exposto	5,09	1,09
Campinarana	5,86	1,26
Água	0,50	0,11
<b>TOTAL</b>	<b>465,83</b>	<b>100,00</b>

Fonte: SILVA, T. C. M.

A pastagem ocupa uma área de 67,73 km<sup>2</sup> (14,54%) envolvendo tanto pasto limpo, recém-implantado com predomínio de cobertura de espécies de gramíneas; quanto pasto sujo, caracterizado por polígonos onde é possível identificar uma vegetação de fisionomia variada, com predominância de gramíneas e ervas invasoras. Ressalta-se que a ocupação de áreas com pasto limpo (32,57 km<sup>2</sup>) deve estar associado à baixa estabilidade dos sistemas agropecuários empregados nessa região, em sua maior parte, caracterizados por base tecnológicas deficientes (HOMMA, 2017). As áreas de pastagem ainda são o principal uso da terra na Amazônia Legal, ocupando cerca de 68% do território (TERRACLASS, 2014). No município de Moju como um todo, a pastagem foi o tipo de uso que apresentou maior predominância de ocupação (ALMEIDA, 2015).

A bacia do rio Arauaí é considerada uma região que apresenta uma sólida economia comandada pelo cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq) desde o ano de 1982, liderada pelo grupo Agropalma (ALMEIDA, 2015). A dendeicultura é a classe de uso da terra com maior extensão na bacia estudada, ocupando 92,31 km<sup>2</sup> (19,82%). No estado do Pará, a dendeicultura ocupa cerca de 150 Mha, onde atuam mais de 10 empresas (BANCO DA AMAZÔNIA, 2012).

A cultura da palma de óleo ainda continua em ascensão econômica, tendo em vista a grande demanda pelo óleo de palma nos mercados nacional e internacional. Em Moju essa ascensão é percebida no aumento das áreas plantadas com dendezeiro neste município, passando de 7,1 Mha para 34,6 Mha entre o período de 2010 a 2013 (IBGE, 2017) diminuição de áreas de florestas primárias e vegetação secundárias (ALMEIDA, 2015).

A situação espacial da bacia do rio Arauaí, assim como do município de Moju, é marcada por um conjunto de ações e políticas estatais e empresariais em benefício da expansão da dendeicultura (NAHUM; SANTOS, 2015), ocupando áreas desmatadas e alteradas, sendo que a floresta degradada ocupa quase um quarto (25%) da área da bacia, resultado do processo desordenado de ocupação impulsionado pela economia, contribuindo para fragilidade do processo de regeneração com alto valor de conservação da biodiversidade (LAMEIRA, 2015).

Na atual ocupação de cobertura e uso da terra na bacia do rio Arauaí, observa-se substituições recentes de florestas (floresta primária e degradada) por pastagem, assim como, de áreas vegetação secundária (capoeira) para cultivo agrícolas, em especial o dendezeiro. As dinâmicas estabelecidas nessa região a partir de políticas públicas para incentivar tal cultura causaram expressivas mudanças na paisagem (IGAWA et al., 2015).

A conversão de florestas para usos da terra com objetivo de formação de monoculturas em larga escala leva ao empobrecimento da paisagem florestal (ALMEIDA, 2015). Assim como em qualquer monocultura, a homogeneização da paisagem contribui de forma negativa para conservação da biodiversidade. Desse modo é importante a integração e participação das esferas do governo (federal, estadual e municipal), da sociedade civil e instituições de ensino de pesquisa para acompanhar a expansão da dendeicultura, com o objetivo de avaliar os riscos de desmatamento, concentração de terras e perda de biodiversidade (ALMEIDA, 2010).

## **2.4. Conclusão**

O diagnóstico do uso e ocupação da terra proporciona informações que devem ser aproveitadas como ferramenta de análise e tomada de decisão na gestão ambiental em bacias hidrográficas.

A bacia do rio Arauaí é dominada por 50% de paisagem florestal, porém, a metade dessas, cerca de 1/4 da área total, já se encontra em estado de degradação, caracterizado por alterações na sua estrutura e biodiversidade.

As áreas de floresta degradada ou antropizadas são bem representativas, estando ainda sujeitas a intervenções, notadamente à descaracterização de sua estrutura pela exploração madeireira e fogo e perda de biodiversidade. As áreas de vegetação secundária ocupam áreas contíguas na paisagem. A dendeicultura é o uso da terra mais representativa na bacia do rio Arauaí, por ser uma cultura consolidada por políticas públicas em benefícios do avanço desta cultura na região do nordeste paraense.

As florestas primárias, mesmo as degradadas e a vegetação secundária são fontes de propágulos importantes para o processo de restauração florestal, porém apresentam grande tendência a serem convertidas em outros usos da terra. A falta de definições e políticas que especifiquem os níveis de degradação da terra, e que mostrem o mapeamento de áreas com elevado potencial de restauração, acabam desencadeando o desmatamento em grande escala na região da bacia do rio Arauaí.

A análise da cobertura vegetal e usos da terra da bacia do rio Arauaí, possibilitou verificar o estado espacial atual da paisagem, onde as mudanças são regidas em função de políticas agrícolas que não estabelecem limites para a expansão de monoculturas, tornando a paisagem fragmentada e o ambiente mais vulnerável aos efeitos da degradação.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. de. **Mudanças de uso da terra em paisagens agrícolas com palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e implicações para a biodiversidade arbórea da Amazônia.** 2015. 115p. Tese (Doutorado – Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2015.
- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará (Pará, Brasil) com o uso da técnica de sensoriamento remoto. **Ciências Naturais**, v. 3, n. 1, p. 81-92, 2008.
- ALMEIDA, A. S. de.; VIEIRA, I. C. G. Conflitos no uso da terra em áreas de preservação permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, 2014.
- ALVES, L. de S.; HOLANDA, A. C. de.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUSA, J. da S.; ALMEIDA, P. G. de. Regeneração natural em uma área de Caatinga situada no município de Pombal-PB. **Revista Verde**, v. 5, n. 2, p. 152 – 168, 2010.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 44, n. único, p. 1-38, 2011.
- BANCO DA AMAZÔNIA. **A experiências do Banco da Amazônia com projetos integrados de dendê familiar.** 2012. Disponível em: <[http://www.basa.com.br/bancodaamazonia2/includes/institucional/arquivos/biblioteca/contextoamazonico/contexto\\_amazonico\\_22.pdf](http://www.basa.com.br/bancodaamazonia2/includes/institucional/arquivos/biblioteca/contextoamazonico/contexto_amazonico_22.pdf)> Acesso em: 13 janeiro 2016.
- BARLOW, J.; GARDNER, T. A.; ARAUJO, I. S.; ÁVILA-PIRES, T. C.; BONALDO, A. B.; COSTA, J. E.; et al. Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 104(47): 18555 – 18560, 2007.
- HOMMA, A. K. O. A Terceira Natureza da Amazônia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, v. 38, n. 132, p. 27 - 42, 2017.
- HOMMA, A. K. O.; VIEIRA, I. C. G. Colóquio sobre dendezeiro: prioridades de pesquisas econômicas, sociais e Ambientais na Amazônia. **Revista Amazônia Ciência e Desenvolvimento**, v. 8, n. 15, 2012.
- HUDSON, W, D.; RAMM, C, W, Correct formulation of the kappa coefficient of agreement, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v, 53, n,4, p, 421-422, 1987.
- IGAWA, T. K., DIAS, F. G., SOUSA, T. G. de. Análise da expansão da dendeicultura no município de Tailândia: Um estudo de caso dos anos de 1991 a 2006. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, João Pessoa-PB. 2015. **Anais...** João Pessoa. INPE, 2015.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de Dados Agregados.** Sistema de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso: 15 abril 2017.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP); INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. **Programa Municípios Verdes: diagnóstico da gestão ambiental dos municípios paraenses.** Belém, 53 p. 2013.

LAMEIRA, W. J. de M. **Análise e modelagem do dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) no nordeste do Pará e implicações para o planejamento de territórios sustentáveis.** 2015. Tese (Doutorado – Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2015.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. O boom do dendê na microrregião de Tomé-Açu, na Amazônia paraense. **Revue franco - brésilienne de géographie**, n. 25, 2015.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. Impactos socioambientais da dendeicultura em comunidades tradicionais na Amazônia paraense. **ACTA Geográfica**, Esp. Geografia Agrária, p.63-80, 2013.

NASCIMENTO, T. V. do.; FERNANDES, L. L. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 170-178, 2017.

SANCHÉZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental.** [S.l.]: Oficina de texto, 2015.

TERRACLASS. Embrapa. **Projeto Terraiclass.** 2014. Disponível em <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?cod\\_Noticia=3302](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?cod_Noticia=3302)>. Acesso em: 25 maio 2017.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5 – 282, 2002.

VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, A. S. de. DAVIDSON, E. A.; STONE, T. A.; CARVALHO, C. J. R. de; GUERRERO, J. B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 470-481, 2003.

ZACCHI, R. C.; FARIAS, M. M.; FERREIRA, E. S. Fatores morfométricos como condicionantes da ocorrência de enchentes na bacia do córrego Serafim, sub-bacia do rio Paraimbuna, Juiz de Fora, MG. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 6, n. 1, p. 151 – 160, 2012.

### **3. CAPIÍTULO 2: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO PASSIVA NA BACIA DO RIO ARAUAÍ, MUNICÍPIO MOJU (PA)**

#### **3.1. Introdução**

A conversão de florestas para fins econômicos no Brasil está associada a inúmeras políticas públicas de incentivo ao avanço da fronteira agrícola e essas alterações levaram a desequilíbrios ecológicos em diferentes ecossistemas e biomas. Segundo o INPE (2016), o desmatamento acumulado na Amazônia atinge 19,5% (778.403 km<sup>2</sup>) e dados recentes do Terraclass (2014) mostram que 36,2% da região amazônica está ocupada com vegetação secundária, áreas de regeneração com pasto e pastos sujos, que possuem elevado potencial de regeneração natural.

Análises recentes do município de Moju mostram mudanças significativas ocorridas na paisagem ao longo de 22 anos (ALMEIDA, 2015; LAMEIRA, 2015). A Bacia Hidrográfica do Rio Aruaí-BHRA segue o mesmo padrão deste município, com extensas áreas ocupadas por cultivos agrícolas, principalmente o cultivo do dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.), para produção do óleo de palma. Este monocultivo está associado à perda de floresta primária desde o início da década de 1990 (ALMEIDA, 2015), alterando a paisagem original, criando um mosaico de usos da terra, dominados por fragmentos isolados de vegetação nativa.

Em um cenário de mudanças climáticas globais, o Brasil enfrenta o desafio de estabelecer a restauração de 15 milhões de hectares até 2050 (MMA, 2017). Do ponto de vista nacional, várias análises e critérios vêm sendo definidos para indicar as áreas potenciais para a restauração ecológica (BRANCALION et al., 2012). Porém, do ponto de vista regional, é necessário adotar estratégias e testar metodologias para priorização de áreas a serem restauradas. Como política pública, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa, o PLANAVEG, estabelece a regeneração natural como uma das principais estratégias a serem utilizadas na restauração dos biomas.

A restauração passiva é baseada em um processo de sucessão natural, tendo o mínimo da intervenção humana (HOLL; AIDE 2011), definida como o retorno espontâneo de um ecossistema a um status ou trajetória desejável (ARONSON et al., 2011), promovendo a recuperação das comunidades de plantas e animais quando o nível de degradação é relativamente baixo (GUERRERO; ROCHA, 2010; MORRISON;

LINDELL, 2011), dada a existência de fontes colonizadoras e agentes de dispersão da fauna próximas (CHAZDON, 2008).

O processo de tomada de decisão no planejamento de ações para aplicação do método de restauração passiva, requer um estudo espacial da paisagem. As análises multicritério vêm sendo utilizadas por diversos autores, com enfoque na priorização de áreas destinadas a restauração florestal (VALENTE, 2005; VETTORAZZI, 2006; FRANCISCO et al., 2008, ORSI; GENELETTI, 2010, VALENTE et al., 2017), através de agregação de critérios (fatores) que representam as características críticas da paisagem (VETTORAZZI; VALENTE, 2016).

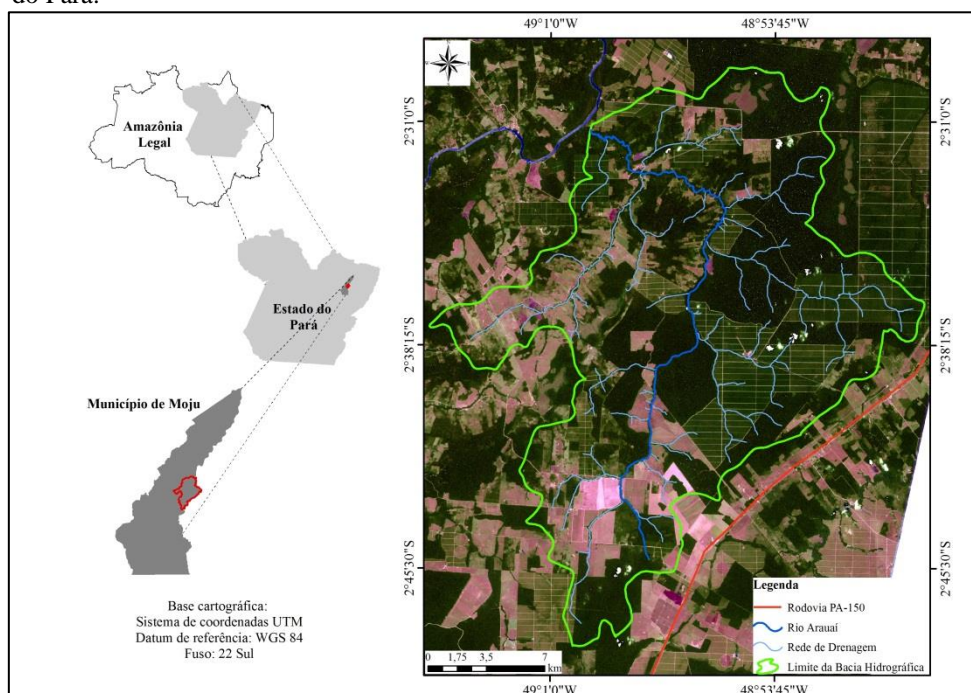
Nesse contexto, esta pesquisa tem como objetivo identificar regiões prioritárias potenciais à restauração passiva na bacia do rio Arauaí, município de Moju, Estado do Pará, utilizando a técnica de análise multicritérios em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), como apoio à tomada de decisão.

### **3.2. Material e Métodos**

#### **3.2.1. Caracterização da Área de Estudo**

A bacia do rio Arauaí está localizada na mesorregião Nordeste Paraense, microrregião de Tomé-Açu, município de Moju entre as coordenadas 2° 29' 15,13"S / 48° 55' 15,43"W e 2° 48' 1,23"S / 49° 00' 16,55"W (Figura 3.1.). A área total desta bacia é de 465,82 km<sup>2</sup>, com perímetro é de 128,26 km, tendo 31,45 km de extensão na direção norte-sul e 29,06 km na direção Leste-Oeste, representando cerca de 5,12% do município de Moju (9.094,10 km<sup>2</sup>).

**Figura 3.1.** - Localização da bacia hidrográfica do rio Arauaí, no município de Moju, estado do Pará.



**Fonte:** SILVA, T. C. M.

A bacia do rio Arauaí apresenta solos predominantes do tipo latossolo amarelo distrófico (LAd), relevo de compartimentação discreta: platôs baixos (tabuleiros), terraços fluviais e várzeas. O clima característico é quente e úmido, com temperaturas médias mensais de 25°C a 27°C. Precipitação pluviométrica varia entre 2000 a 3000mm/ano, sendo o período de janeiro a junho a época mais chuvosa. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (IDESP, 2013).

A vegetação é composta de florestas ombrófila densa aluvial nas áreas de várzea bastante alteradas, favorecendo o surgimento de capoeiras e vegetação secundária latifoliada de terra firme. Atualmente a área da bacia do rio Arauaí apresenta forte expansão de atividades produtivas, destacando-se em termos socioeconômicos por fazer parte do polo para expansão do cultivo da palma de óleo, em grande escala (ALMEIDA, 2015).

O Rio Arauaí constitui uma sub-bacia hidrográfica do Rio Moju, estando situada a sua margem direita (Médio Moju) e é considerado um dos afluentes mais importantes do Rio Moju. O Rio Arauaí é um tributário de quarta ordem, possuindo como principais afluentes os igarapés Curuperé na margem esquerda e Água Clara na margem direita, ambos de terceira ordem.



### 3.2.2. Definição e Ponderação dos Critérios

Foram definidos e ponderados cinco critérios relacionados ao aspecto biofísico da paisagem de grande contribuição para a restauração florestal em áreas degradadas ou em processo de degradação na bacia do rio Arauaí. A seleção dos critérios proporcionará a identificação de áreas prioritárias potenciais a serem restauradas pelo método passivo (uso da regeneração natural).

A ponderação foi realizada conforme o grau de importância de cada critério para a restauração passiva, seguindo a escala definida por Crepani (2001), adaptada para este estudo.

As temáticas de cada critério foram normalizadas em uma escala de 1,0 a 3,0, onde valores próximos de 1,0 indicam baixa prioridade para restauração, próximos de 2,0 são considerados de prioridade intermediária (média) e valores próximos de 3,0 são atribuídos às temáticas de alta prioridade à restauração passiva na bacia do rio Arauaí. As restrições, ou seja, temáticas que não apresentaram valor para restauração passiva, foi atribuído peso zero de forma a não interferir no resultado final.

Espacialmente as áreas prioritárias à restauração passiva foram determinadas pelos seguintes critérios, também utilizados em outros estudos (FRANCISCO et al., 2007; PEREIRA, 2016; VALENTE et al., 2017):

1. Cobertura e Uso da Terra Potenciais à Restauração Passiva (CTPP);
2. Proximidade com a Floresta Primária (Prox\_FP);
3. Déficit de cobertura florestal em APPs (DF\_APP);
4. Distância de Estradas e Rodovias (Dist\_EST);
5. Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE).

#### 3.2.2.1. Critério: Cobertura e Uso da Terra Potenciais à Restauração Passiva (CTPP)

O critério Cobertura e Uso da Terra Potenciais à Restauração Passiva (CTPP), foi elaborado a partir do mapa de cobertura vegetal e uso da terra abordado no capítulo 1. Deste mapa foram extraídas e ponderadas as classes de floresta degradada, vegetação secundária, pasto sujo e pasto limpo, consideradas potenciais para restauração passiva. Foi aplicado maior peso para a classe que apresentar maior grau cobertura vegetal, indicando alto potencial de resiliência em relação as demais classes e alta capacidade de regeneração natural (Tabela 3.1).

**Tabela 3.1.** Ponderação do critério CTPP para identificação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Classes de Uso e Cobertura</b>	<b>Peso</b>
Floresta Primária	0,0
Floresta Degradada	3,0
Vegetação Secundária	2,5
Pasto Sujo	1,2
Pasto Limpo	1,0
Dendeicultura	0,0
Agricultura Temporária	0,0
Campinarana	0,0
Solo exposto	0,0
Água	0,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

### 3.2.2.2. Critério: Proximidade com a Floresta Primária (Prox\_FP)

Na elaboração deste critério, foram utilizados os polígonos (*shapefile*) da classe de floresta primária e os polígonos das classes referentes ao critério CTPP. Foram selecionados os polígonos de floresta acima de 10 ha de modo que estes tivessem alguma influência na ocorrência de chuva de sementes em áreas próximas aos componentes de uso e cobertura.

A distância entre a floresta primária e o critério CTPP foi calculada através da ferramenta *Near* (*ArcToolbox* > *Proximity* > *Near*) do programa Arcgis 10.1, estabelecendo uma distância mínima de 35 metros proposta por Dias (2008), pois apresenta uma dispersão de sementes é alta e constante. Em seguida o arquivo foi convertido para o formato raster.

Este processamento resultou em um mapa critério com cinco classes de distância (Tabela 3.2), conforme proposto por Reich e Francelino (2012), foram atribuídos pesos próximos de 3,0 a áreas próximas (0 – 35 m) da floresta primária e para áreas distantes, foram aplicados pesos próximos de 1,0, ou seja, quando mais próximo o critério CTPP estiver de fragmentos floresta primária maiores que 10 ha, maiores os pesos atribuídos.

**Tabela 3.2.** Ponderação do critério Prox\_FP para identificação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Araguaí, Moju, Pará.

<b>Distância (m)</b>	<b>Peso</b>
0 – 35	3,0
35 – 100	2,5
100 – 150	2,0
150 – 200	1,5
≥ 200	10

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

### 3.2.2.3. Critério: Déficit de Cobertura Florestal em APPs (DF\_APP)

Para elaboração deste critério foram utilizados arquivos em formato shapefile da drenagem da bacia do rio Araguaí, disponíveis no site da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (SEMAS-PA), na escala 1:100.000.

A rede de drenagem foi digitalizada no programa ArcGis 10.1, que permitiu a obtenção das Áreas de Preservação Permanente (APPs). Foram consideradas apenas as APPs de cursos d'água e de nascentes. A delimitação das APPs foi realizada por meio da criação de zona de taponamento (buffer) a partir do leito regular dos cursos d'água. A área de abrangência do buffer foi estabelecida de acordo com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa, denominado de Novo Código Florestal Brasileiro Art.4º (Lei 12.727/2012). Nas APPs no entorno de nascentes foram criados buffer de 50 m em pontos localizados em áreas de floresta e de 15 m aqueles inseridos em áreas consolidadas que já sofreram algum tipo de alteração de acordo com a delimitação estabelecida no Art.61A, parágrafo 5º da lei 12.727/2012.

Após espacialização, foi utilizada a ferramenta dissolve para corrigir sobreposições de APPs de cursos d'água e de nascentes, possibilitando mensurar o total de áreas correspondentes as APPs na bacia do rio Araguaí.

A área de floresta primária nas APPs, foi utilizada a ferramenta clip, da qual, faz um recorte dos polígonos de floresta dentro dos polígonos de APPs. Em seguida foi calculada a área (km<sup>2</sup>) e o déficit (%) existente de floresta primária nas APPs. O déficit foi ponderado de acordo com a classificação realizada por Sparovek et al. (2011) adaptada para realidade da área de estudo, aplicando maior peso (3,0) em APPs que apresentaram um déficit de cobertura florestal maior do que 70% (Tabela 3.3).

**Tabela 3.3.** Ponderação do critério DF%\_APP para identificação de áreas prioritárias para restauração passiva na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Déficit (%) de cobertura florestal em APP</b>	<b>Peso</b>
0 – 20	1,0
20 – 30	1,5
30 – 40	2,0
40 – 70	2,5
70 – 100	3,0

Fonte: SILVA, T. C. M.

#### 3.2.2.4. Critério: Distância de Estradas e Rodovias (Dist\_EST)

Neste critério foram utilizados arquivos *shapefile* (tipo linha) referentes a estradas e rodovias e os polígonos do Critério CTPP. Com o uso da ferramenta *Near* (programa Arcgis 10.1), foi gerado um mapa de distância entre os vetores CTPP e estradas e rodovias, adotando um limite máximo de 200 m de distância a partir da malha viária (Francisco, 2007). Foi estabelecido que quanto maior a distância do critério CTPP estiver das estradas e rodovias, maior a prioridade (peso 3,0) de restauração passiva (Tabela 3.4).

**Tabela 3.4.** Ponderação do critério Dist\_EST para identificação de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Distância (m)</b>	<b>Peso</b>
0 – 10	1,0
10 – 25	1,2
25 – 50	1,5
50 – 100	2,0
100 – 150	2,2
150 – 200	2,5
≥ 200	3,0

Fonte: SILVA, T. C. M.

#### 3.2.2.5. Critério: Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE)

Para elaboração do critério VNE aplicou-se a metodologia utilizada por Crepani (2001) e adotada por Pereira (2016), considerando as seguintes temáticas: declividade, cobertura vegetal e uso da terra, pedologia, geologia e geomorfologia. Estas temáticas contribuíram de forma diferenciada, na identificação do critério vulnerabilidade natural à erosão (VNE) na área de abrangência da bacia do rio Arauaí.

### a) Declividade

Para elaboração da temática de declividade utilizou-se a base de dados altimétricos SRTM/Topodata, com resolução espacial de 30 m, obtida a partir da grade vetorial do banco de dados do projeto Topodata do INPE (INPE/PDI, 2014 e 2015). Para área de estudo foi utilizada uma cena SRTM (02S495).

A declividade está diretamente relacionada com a atividade de variação da energia potencial em energia cinética, da qual é responsável pelo arraste e perda de solo gerando erosão, o que permite inferir que quanto maior a declividade, maior será a vulnerabilidade a erosão (PEREIRA, 2016). Esta temática apresenta seus valores em percentagem classificados em cinco intervalos (Tabela 3.5), onde cada um deles está associado a uma classe de vulnerabilidade a erosão (CREPANI, 2001).

**Tabela 3.5.** Intervalos de declividade, grau e classes de vulnerabilidade na área da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Classe de Vulnerabilidade</b>	<b>Declividade (%)</b>	<b>Peso</b>
Muito Baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 – 20	2,0
Alta	20 – 50	2,5
Muito Alta	> 50	3,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

### b) Cobertura Vegetal e Uso da Terra

Esta temática foi elaborada a partir do mapa de classificação da cobertura vegetal e uso da terra, citado no capítulo 1. As classes de cobertura vegetal e uso da terra foram ponderadas de acordo o grau de cobertura vegetal (Tabela 3.6), que consiste em um fator de proteção contra os processos erosivos, ou seja, em ambientes com alta densidade de cobertura os pesos próximos de 1,0 (representando estabilidade), para densidade intermediárias pesos ao redor de 2,0 e para baixas densidade de cobertura vegetal atribui-se pesos próximos de 3,0 (representando instabilidade) (CREPANI, 2001).

**Tabela 3.6.** Ponderação das classes de cobertura vegetal e uso da terra de acordo com o grau de cobertura do solo na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
Floresta Primária	1,0
Floresta Degradada	1,1
Vegetação Secundária	1,3
Pasto Sujo	2,9
Pasto Limpo	3,0
Dendeicultura	1,5
Agricultura Temporária	2,8
Campinarana	2,6
Solo Exposto	2,5
Água	0,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

*c) Pedologia (tipo de solo)*

Na temática pedologia foi utilizado como base o mapa pedológico da Amazônia Legal na escala de 1:250.000 obtido da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016). As classes de solos encontradas dentro da área de estudo foram ponderadas em uma escala de 1,0 a 3,0 de acordo com sua capacidade de resistência a erosão (Tabela 3.7), de acordo com os valores de erodibilidade encontrados por Mannigel et al., (2002), sendo que quanto mais arenoso, mais suscetível a erosão, logo terá maior peso de vulnerabilidade.

**Tabela 3.7.** Ponderação das classes pedológicas de acordo com o grau de erodibilidade da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Tipologia do Solo</b>	<b>Pesos</b>
Latossolo Amarelo Distrófico	1,0
Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico	2,0
Plintossolo Argilúvico Distrófico	3,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

*d) Geologia*

A geologia da bacia do rio Arauaí foi elaborada a partir do arquivo *shapefile* gerado pelo IBGE (2016), na escala de 1:250.000, contendo as descrições e detalhamento geológico para área de estudo. Nesta temática, foi constatada apenas uma unidade geológica, sendo representada pela Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica, a qual foi atribuído peso 3,0. Este peso foi atribuído em virtude de a unidade geológica ser constituída principalmente de materiais arenosos e oriunda de intensa a atividade agrícola (MENDONÇA, 2011; LEITE; ROSA, 2013).

e) *Geomorfologia*

A geomorfologia foi preparada tendo como base também o arquivo *shapefile* disponibilizado pelo IBGE (2016), na escala de 1:250.000. Os valores para vulnerabilidade foram ponderados, em função do tipo de relevo, considerando os parâmetros morfométricos das formas de relevo e drenagem, assim como sua dinâmica de evolução (PEREIRA, 2016). Na bacia do rio Arauaí, foram notadas três classes (Tabela 3.8) morfométricas, dentre elas, a classe Planície de Terraço Fluviais, as quais receberam maior peso (3,0) por serem áreas de vales fluviais, margeando cursos d'água, parcialmente alagados e terrenos planos. Já a classe Pediplano Retocado Inumado, foi atribuída o menor peso (1,0).

**Tabela 3.8.** Unidades geomorfológicas de acordo com o nível de vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Classes</b>	<b>Pesos</b>
Pediplano Retocado Inumado	1,0
Planos Abaciados de Inundação	2,0
Planície de Terraços Fluviais	3,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

Os arquivos em formato *shapefile* de cada temática foram convertidos para o formato *Raster* por meio da ferramenta *Feature to Raster* no programa ArcGIS 10.1. Para cada temática foi atribuído um valor (peso), o qual representa a importância de cada temática para o critério Vulnerabilidade Natural à Erosão descrito na tabela 3.9.

**Tabela 3.9.** Ponderação das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural a Erosão da região da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Variável</b>	<b>Peso</b>
Declividade	2,5
Cobertura Vegetal e Uso da Terra	3,0
Pedologia	2,2
Geomorfologia	1,3
Geologia	1,0

**Fonte:** Adaptado de Pereira (2016).

Foi realizado a integração das temáticas do critério VNE e os valores obtidos foram reclassificados, através do uso da ferramenta *Reclassify* do programa Arcgis 10.1. A reclassificação foi realizada de acordo com a escala vulnerabilidade determinada por Crepani et al. (2001), utilizada por Pereira (2016). A equação 1 apresentada abaixo, busca

representar espacialmente a posição de cada unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à erosão:

(1)

$$VNE = (D * p + CV * p + P * p + G * p + GE * p)$$

Onde:

$VNE$  = Vulnerabilidade Natural à Erosão da bacia do rio Arauaí;

$p$  = valor (peso) de importância da temática;

$D$  = mapa temático de declividade;

$CV$  = mapa temático de cobertura vegetal e uso da terra;

$P$  = mapa temático de pedologia;

$G$  = mapa temático de geologia;

$GE$  = mapa temático de geomorfologia.

### 3.2.3. Análise Multicritério

Após a elaboração e combinação dos mapas critérios, foram identificadas e classificadas áreas prioritárias à restauração passiva. Os cinco critérios foram utilizados na construção do mapa final. Cada critério foi representado espacialmente através de mapa temático, o qual recebeu um peso ou valor final, atribuído conforme o grau de importância do critério para indicação de áreas prioritárias à restauração passiva na bacia do rio Arauaí (Tabela 3.10).

**Tabela 3.10.** Ponderação dos critérios prioritários à restauração passiva na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Critérios</b>	<b>Peso</b>
Cobertura e Uso da Terra Potenciais à Restauração Passiva (CTPP)	2,8
Proximidade com a Floresta Primária (Prox_FP)	2,7
Déficit de cobertura florestal em APPs (DF_APP)	1,9
Distância de Estradas e Rodovias (Dist_EST)	1,1
Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE)	1,5

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

A integração dos critérios foi realizada através de uma abordagem multicritério denominada de Combinação Linear Pondera (CLP) sendo incorporada ao ambiente SIG (CREPANI et al., 2001; PEREIRA, 2016; VALENTE et al., 2017), implementada pela álgebra de mapas (*ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator*) no programa ArcGis 10.1. O método CLP é o mais popular desenvolvido por



Voodg (1983), uma vez que os mapas de critérios tenham sido gerados, cada mapa é multiplicado (isto é, cada célula, ou pixel, de cada mapa) pelo seu peso e, então, somados os resultados (Equação 2) (MALCZEWSKI; RINNER, 2015).

(2)

$$AP_{passiva} = (CTPP * p + Prox_{FP} * p + DF_{APP} * p + Dist_{EST} * p + VNE * p)$$

Onde:

$p$  = peso ou valor de importância à restauração passiva;

$AP_{passiva}$  = Mapa de Áreas Prioritárias à Restauração Passiva;

$CTPP$  = Mapa Critério Cobertura e Uso da Terra Potenciais à Restauração Passiva;

$Prox_{FP}$  = Mapa Critério Proximidade com a Floresta Primária;

$DF_{APP}$  = Mapa Critério Déficit de cobertura florestal em APPs;

$Dist_{EST}$  = Mapa Critério Distância de Estradas e Rodovias;

$VNE$  = Mapa Critério Vulnerabilidade Natural à Erosão.

Este método, foi aplicado em vários estudos relacionados a restauração florestal e considera a interação dos diferentes aspectos ambientais da paisagem (mapas critérios), que influenciam na determinação das áreas prioritárias à restauração (GENELETTI, 2007; GENELETTI; DUREN, 2008; CHANDIO; MATORI, 2011; AMIRI et al., 2013; VETTORAZZI; VALENTE, 2016).

Neste estudo, a aplicação do método CLP resultou em mapas de prioridade em uma escala contínua de valores (pesos) variando de 1,0 a 3,0 para bacia hidrográfica do rio Arauaí, que foi reclassificada em cinco níveis de prioridade: muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. Cada critério contribuiu de maneira distinta para a identificação de áreas prioritárias à restauração passiva, somado a extensas revisões de trabalhos elaborados na área, incluindo o amplo conhecimento que o autor possui sobre a área de estudo conforme o grau de mudanças na paisagem, segundo salientam Mateo (1984) e Perim e Cocco (2016).

### 3.3. Resultados e Discussão

#### 3.3.1. Análise dos Critérios

Os critérios foram ponderados por seus respectivos valores (pesos) expressos na tabela 3.11, conforme bordados em diversos estudos (CREPANI et al., 2001; VALENTE, 2005; FRANCISCO et al., 2008; FRANCO et al., 2013; PEREIRA, 2016; VALENTE et al., 2017).

**Tabela 3.11.** Classificação, ponderação e quantificação dos critérios indicativos de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Critério*</b>	<b>Classificação</b>	<b>Pesos</b>
CTPP	Floresta Degradada	3,0
	Vegetação Secundária	2,5
	Pasto Sujo	1,2
	Pasto Limpo	1,0
Prox_FP	0 - 35 m	3,0
	35 - 100 m	2,5
	100 - 200 m	2,0
	200 - 300 m	1,5
	≥ 300 m	1,0
DF_APP	00 - 20%	1,0
	20 - 30%	1,5
	30 - 40%	2,0
	40 - 70%	2,5
	70 - 100%	3,0
Dist_EST	0 - 10 m	1,0
	10 - 25 m	1,2
	25 - 50 m	1,5
	50 - 100 m	2,0
	100 - 150 m	2,2
	150 - 200 m	2,5
	≥ 200 m	3,0
VNE	Muito Baixa	1,0
	Baixa	1,5
	Média	2,0
	Alta	2,5
	Muito Alta	-

\* CTPP: Critério Uso e Cobertura da Terra Potenciais à Restauração Passiva; Prox\_FP: Critério Proximidade com a floresta primária; DF\_APP: Critério Déficit% de cobertura florestal em APP; Dist\_EST: Critério Distância de estradas e rodovias; VNE: Critério Vulnerabilidade Natural à Erosão. **Fonte:** SILVA, T. C. M.

Por meio do critério Cobertura e Uso da Terra Potenciais à Restauração Passiva (CTPP) (Figura 3.2) foi possível verificar que as ocorrências de perturbações antrópicas estão localizadas principalmente na região oeste da bacia, onde predominam áreas de pastagem (pasto limpo e pasto sujo) representam cerca de 14,54% (67,73 km<sup>2</sup>) da área da bacia do rio Arauaí.

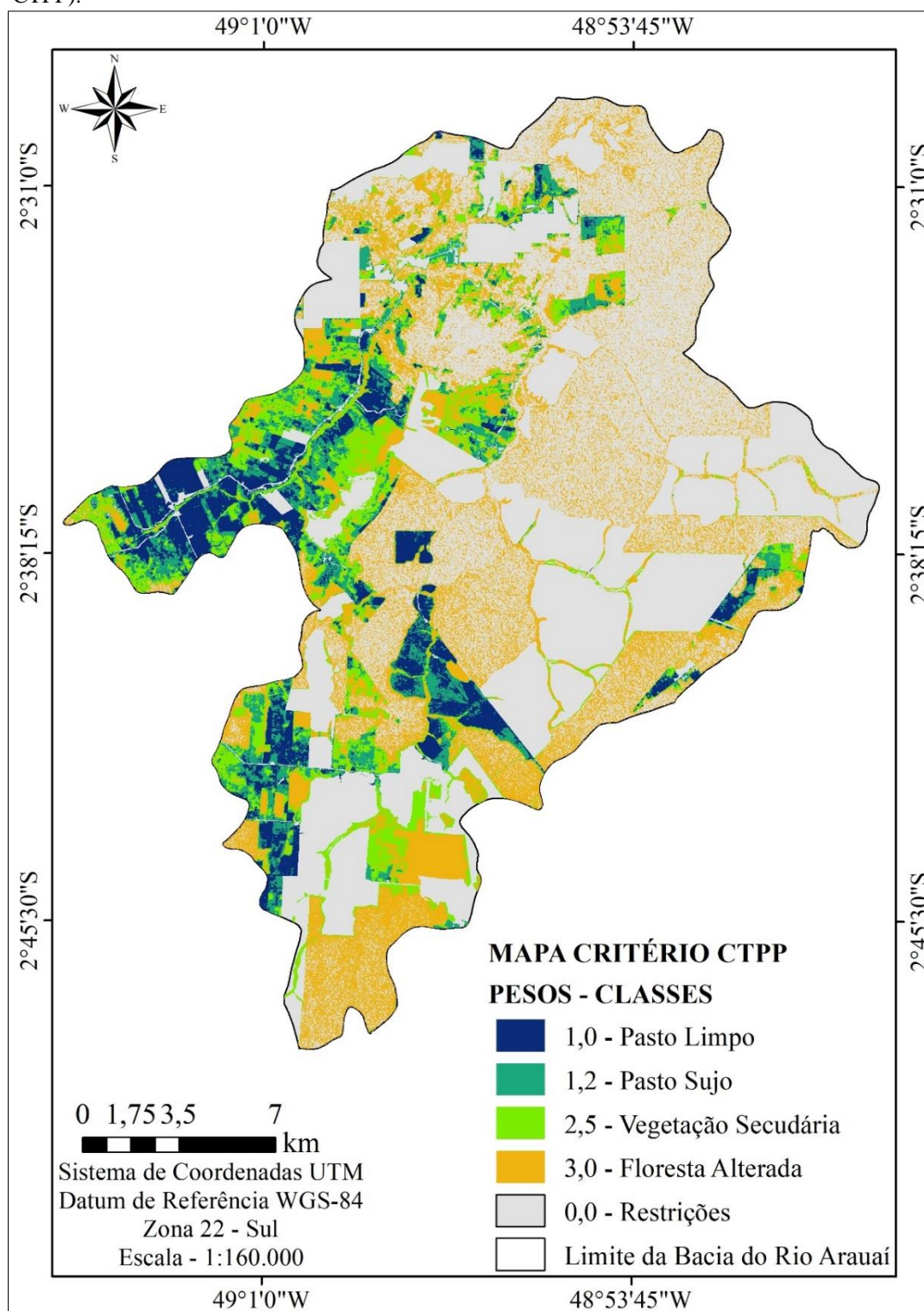
As classes pasto sujo e pasto limpo receberam respectivamente pesos de 1,2 e 1,0, sendo classificadas como de baixa prioridade para a restauração passiva. As áreas de pastagem em geral são áreas produtivas e/ou em estado de pousio onde ocorreu o corte raso da vegetação natural, também há desenvolvimento de atividade agropastoril (pecuária extensiva) e vegetação em início do processo de regeneração natural.

A falta de cobertura florestal indica a fragilidade ambiental dessas áreas, desestabilizando o equilíbrio dinâmico e possibilitando a atuação de agentes climáticos, como as chuvas, que agem diretamente sobre o solo, gerando processo erosivo, resultando na diminuição ou perda da capacidade de resiliência desse ambiente.

O processo de desconstrução da estrutura da cobertura vegetal protetora contribui diretamente para a degradação da paisagem da bacia do rio Arauaí, pois a pequena cobertura do solo proporcionada pelos pastos, e culturas agrícolas, não são suficientes para proteger e conservar as características dos solos (FANTINEL; BENEDETTI, 2016), sendo necessária a intervenção humana aplicando práticas de manejo adequadas para a recuperação do solo.

As classes floresta degradada e vegetação secundária foram classificadas como sendo de alta prioridade (peso 3,0 e 2,5 respectivamente) para a restauração passiva, uma vez que ambas representam ambientes com alta capacidade de regeneração natural em virtude da existência de fontes de propágulos (banco de sementes no solo, chuva de sementes), presença de dispersores, boas condições microclimáticas e edáficas, pouca ou nenhuma ação de predadores e agentes antrópicos, para que haja o estabelecimento e ocorrência do processo de sucessão (FARIA et al., 2001).

**Figura 3.2.** Mapa critério de Uso e Cobertura da Terra Potenciais à Restauração Passiva (Critério CTPP).



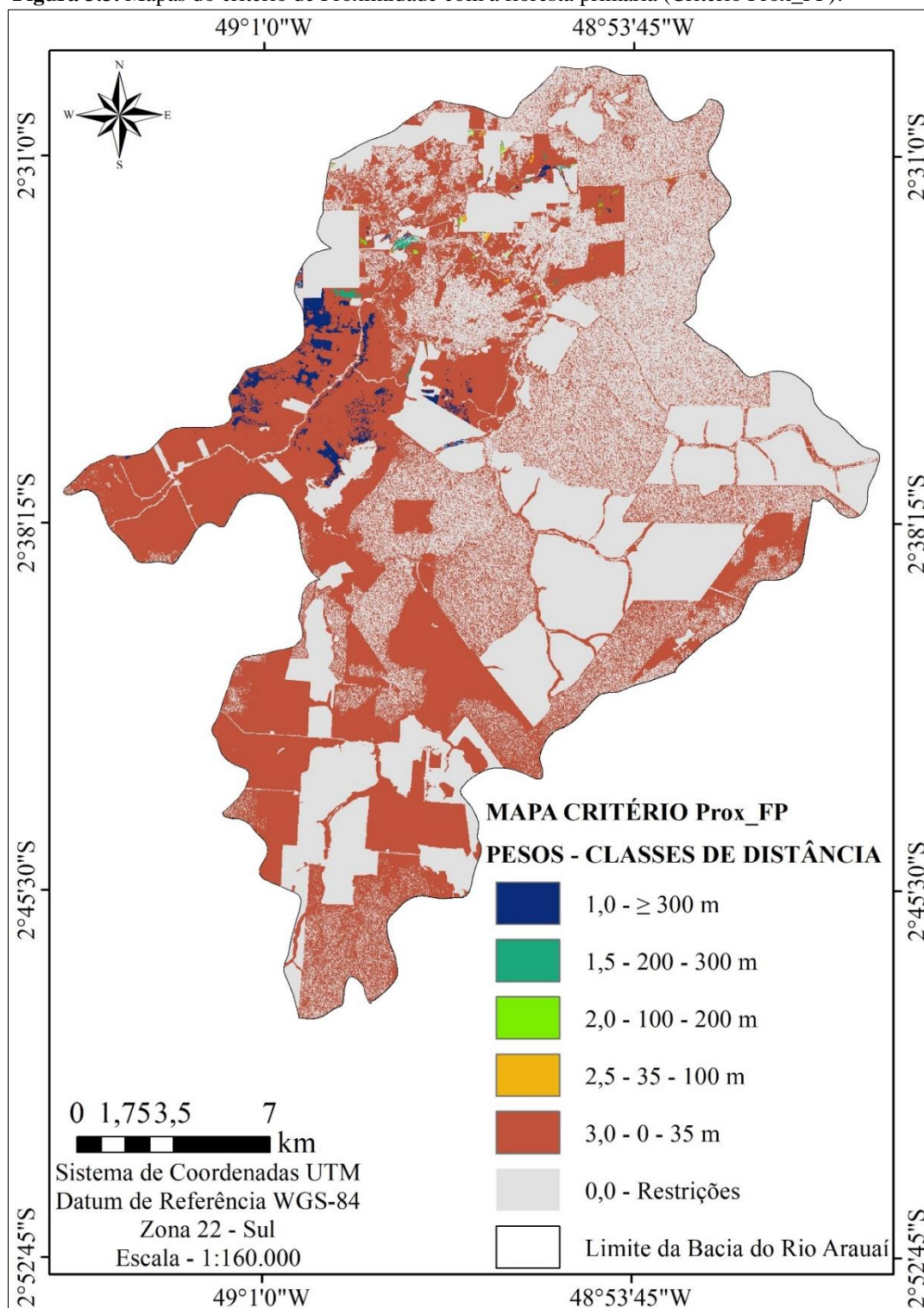
Fonte: SILVA, T. C. M.

A Proximidade com a Floresta Primária (Prox\_FP) compõe o critério de maior valor à restauração passiva (Figura 3.3) em razão dos fragmentos de floresta primária proporcionarem maior dispersão de propágulos e fluxo de animais contribuindo para formação de corredores ecológicos nas áreas a serem restauradas passivamente. Os grandes fragmentos de floresta primária na bacia do rio Arauaí estão localizados principalmente na parte leste da bacia e são conectados a fragmentos menores formando corredores ecológicos ao longo de rios que percorrem por toda extensão da bacia. Isso pode ser considerado como importante fator para tomada de decisão sobre onde iniciar o processo de restauração, uma vez que, áreas restauradas em ambientes com grande conectividade de habitat e alto potencial de fluxo de organismos possuem maior chance de serem recolonizadas por indivíduos de fauna e flora, aumentando a probabilidade do sucesso da restauração passiva (SILGUEIRO et al., 2016).

Para Holl et al., (2000) a velocidade e eficácia da restauração dependem principalmente da disponibilidade de propágulos no solo e de fragmentos florestais próximos. Assim quanto mais próxima uma área a ser restaurada estiver da vegetação nativa, mais rápida e intensa será chegada das sementes trazidas por agentes dispersores (CUBIÑA; AIDE, 2001).

Os usos que apresentam baixa presença antrópica e áreas menos descampadas (neste caso, a floresta degradada e a vegetação secundária) tendem a favorecer os processos ecológicos (PINHEIRO, 2015), no sentido de aumentarem a possibilidade de recolonização local. A floresta degradada e a vegetação secundária são formações florestais remanescentes e em regeneração, respectivamente e continuam a sofrer transformações antrópicas (VIEIRA; GARDNER, 2012). Na bacia do rio Arauaí, o uso dessas áreas contribui para o surgimento de conflitos socioambientais com populações tradicionais (NAHUM; MALCHER, 2012).

**Figura 3.3.** Mapas do critério de Proximidade com a floresta primária (Critério Prox\_FP).



Fonte: SILVA, T. C. M.

O déficit (%) de cobertura florestal ou passivo ambiental em áreas de preservação permanente (DF\_APP) (Figura 3.4) constitui um critério de grande relevância para a indicação de áreas para restauração passiva. As APPs são áreas protegidas por lei (12.727/2012), de interesse prioritário para preservação dos recursos hídricos e suas áreas

de recarga, porém a situação de irregularidade e não conformidade com a Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Novo Código Florestal) é bastante expressiva (SPAROVEK et al., 2011). Isso ocorre em virtude de a fiscalização apresentar problemas estruturais, como deficiência de capacitação e não integração efetiva entre os órgãos gestores das políticas de meio ambiente (ALARCON et al., 2010), no entanto com o advento do CAR os padrões vão incorporar essa restauração em APPs.

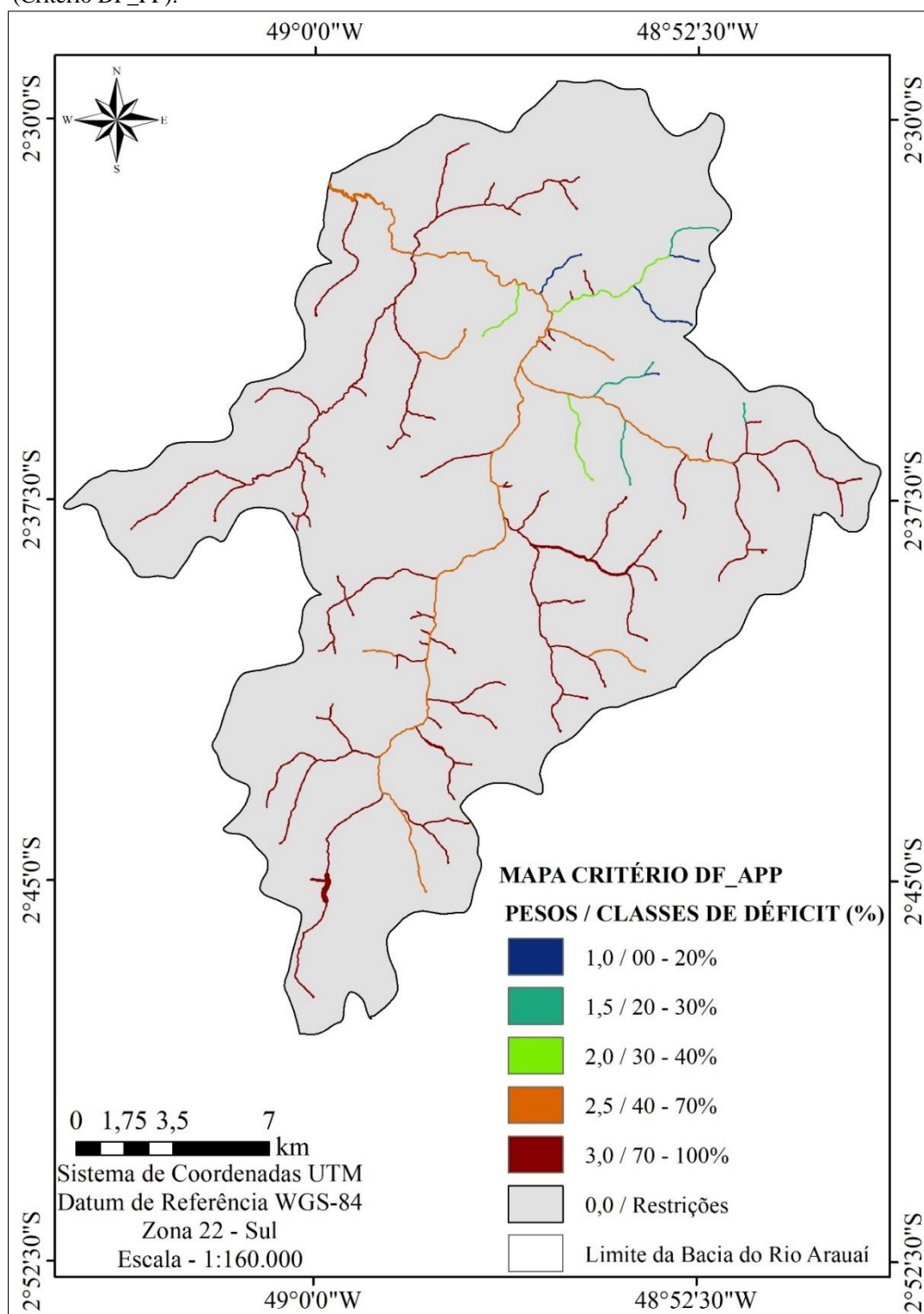
Nas APPs da bacia hidrográfica do rio Arauaí o déficit de cobertura florestal corresponde a 80,02% de uma área total de 15,2 km<sup>2</sup> de APP, incluindo curso d'água e nascentes. Conforme menciona PLANAVEG, as áreas de APPs são os principais alvos para restauração juntamente com as de reserva legal (MMA, 2017), sendo atribuído a essas áreas alta prioridade para de restauração. Pelo ao menos se não recuperadas racionalmente com vegetação nativa, as APPs deveriam estar em isolamento para garantir o processo de regeneração natural. Isso denota um problema na ordem política ambiental, onde da falta de planejamento regional voltadas às preocupações ambientais traduz nas ocupações irregulares na bacia do rio Arauaí.

Cerca de 9,54 km<sup>2</sup> de APP, possui um déficit de cobertura florestal variando de 70 a 100%, sendo atribuído um alto valor de prioridade (peso 3,0) de restauração, constituída por tributários (rios) de primeira, segunda e terceira ordem, localizados em áreas próximas de pastagem e de dendeicultura. Estes tributários são os mais afetados com as mudanças de usos da terra, pois compõem a ligação mais próxima com os ambientes terrestres e aquáticos (COGO, 2005), outros estudos demonstram que a conversão de florestas em pastagem, em áreas de APP de primeira e segunda ordem, altera substancialmente as características físicas e químicas dos rios, influenciando na sua estrutura e funcionamento (NEILL et al., 2006; THOMAS et al., 2004; KRUSCHE et al., 2005).

As APPs ao longo do rio Arauaí, apresentam cerca de 63,83% de perda de vegetação florestal. Este rio possui uma área de APP de 2,47 km<sup>2</sup>, sendo que apenas 0,89 km<sup>2</sup> encontra-se preservado. Isso é devido as APPs terem sido incorporadas às áreas de reserva legal das propriedades rurais localizadas ao norte e parte central da bacia. Dessa forma, a restauração passiva em APPs se torna menos onerosa do que a restauração ativa, oferecendo vantagens de custos significativas quando comparadas à plantação de mudas, o que pode torná-la uma escolha estratégica para intervenções em maior escala (SHONO et al., 2007; BECHARA et al., 2016).



**Figura 3.4.** Mapa critério Déficit (%) de cobertura florestal em Áreas de Preservação Permanente (Critério DF\_FP).



Fonte: SILVA, T. C. M.



A Distância do critério CTPP de Estradas e Rodovias (Dist\_EST) foi o critério que menos contribuiu na indicação de áreas prioritárias a restauração passiva, em razão delas encontrarem-se espalhadas por toda extensão da bacia do rio Arauaí e pelo frequente fluxo de veículos pesados e de pessoas, corroborando para o surgimento de focos permanentes de erosão (FRANCISCO, 2007). O impacto na redução da cobertura florestal em decorrência da proximidade das estradas pode estar associado às características econômicas na região da bacia do rio Arauaí (CARVALHO, 2012).

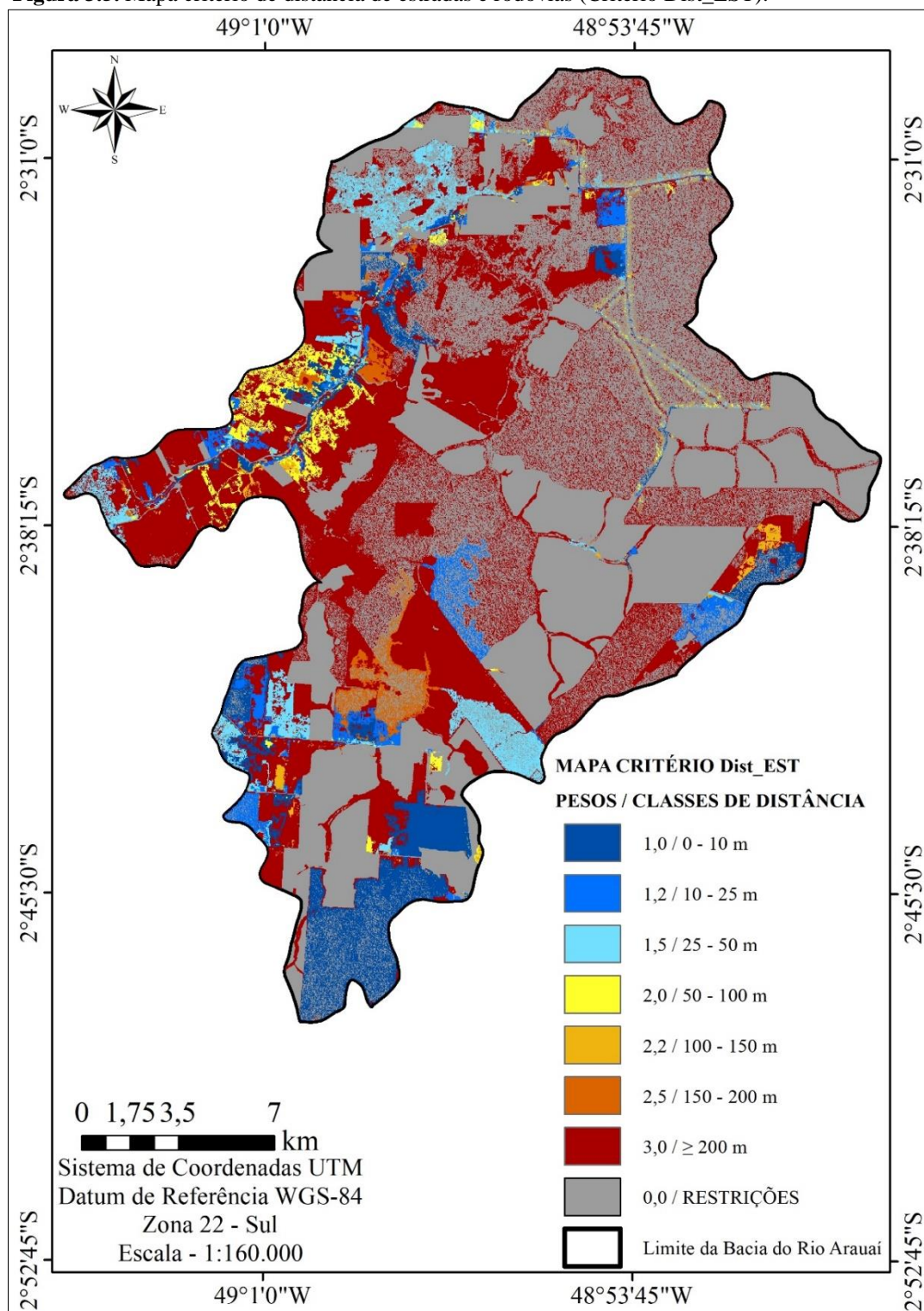
A bacia do rio Arauaí é considerada uma região que apresenta uma sólida economia comandada pelo cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq) desde o ano de 1982, liderada pelo grupo Agropalma (ALMEIDA, 2015), e esse crescimento econômico, tornou as estradas e rodovias não pavimentadas, que surgiram a partir da PA-150, o principal meio de mobilidade e de escoamento de produção.

As estradas são a principal fonte de fragmentação de florestas e tem como resultado mudanças significativas na paisagem, atravessam e frequentemente é o maior impacto ambiental para os ecossistemas do entorno, devido ao movimento de terra e outras atividades que podem causar perturbação em bacias hidrográficas (FAO, 1989; LUGO; GUCINSK, 2000). Para Valente (2005) outras decorrências negativas da distância das estradas e rodovias são facilidade de acesso, risco de incêndios e desmatamento, comprometendo a resiliência da regeneração natural em áreas degradadas próximas as estradas.

As margens de uma estrada influenciam os ecossistemas adjacentes, atuando como fonte de poluição, barreiras para a dispersão de plantas e de animais assim como fontes de mortalidade, também atuam como corredores que facilitam a dispersão de agentes patogênicos além da propagação de distúrbios como o fogo e a caça (SCHONEWALD-COX & BUECHNER, 1992).

Para que ocorra a restauração das áreas é necessário o isolamento de fatores que impeçam o processo de regeneração natural. De forma a garantir o sucesso da recuperação de áreas degradadas é importante que sejam priorizadas as regiões mais distantes da malha viária (VALENTE, 2005).

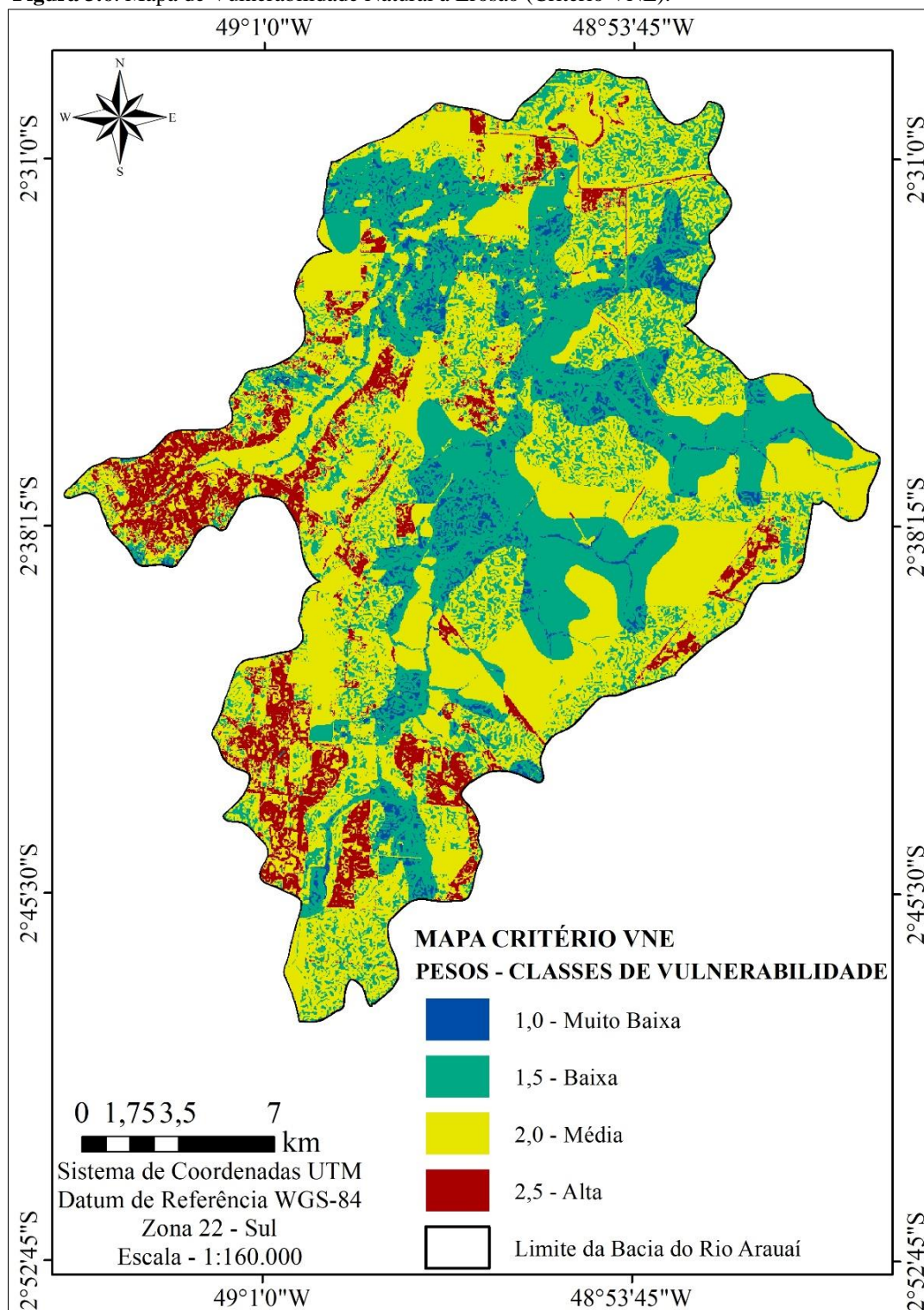
**Figura 3.5.** Mapa critério de distância de estradas e rodovias (Critério Dist\_EST).



Fonte: SILVA, T. C. M.

O critério Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE) (Figura 3.6) permitiu classificar a área da a bacia do rio Arauaí como de vulnerabilidade média à erosão natural. As características do VNE estão fundamentadas nas temáticas usadas para compor este critério.

**Figura 3.6.** Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão (Critério VNE).



**Fonte:** SILVA, T. C. M.

No que dispõem sobre a declividade no critério VNE, levando em consideração os dados da tabela 1, a bacia apresenta alta dissecação do relevo com declividade variando de 2 – 28%, com o predomínio de áreas com declividade muito baixa e baixa (82,69% da área total da bacia). Estas declividades menores são menos vulneráveis aos processos erosivos e ao deslizamento de massa (PEREIRA, 2016). O predomínio de áreas com vulnerabilidade à erosão igual a 1,0, apresentam declives variando de 0 – 2%, e em seguida as áreas com vulnerabilidade igual a 1,5, com declives variando 2 – 6%. O grau de declividade está diretamente relacionado com os fatores de infiltração, escoamento superficial, umidade do solo, as características de porosidade e permeabilidade, conferindo aos solos mais planos e permeáveis uma menor tendência aos processos erosivos (BARROS et al., 2014; LUIZ et al., 2015).

Quanto à composição pedológica da área de estudo, esta possui como tipologia predominante o Plintossolo Argilúvico Distrófico, ocupando uma área de 289,66 km<sup>2</sup> (62,18%), apresenta elevada erodibilidade, são mal drenados e pouco desenvolvidos, sendo atribuído os maiores valores de vulnerabilidade (peso 3), o Latossolo Amarelo Distrófico é a segunda maior classe pedológica, de estabilidade elevada é uma classe que apresenta baixa vulnerabilidade (peso 1), a tipologia Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico responsável por ocupar apenas 7,04 km<sup>2</sup> (1,51%) em geral são solos minerais profundos e mal drenados, caracterizando uma área de risco moderado, lhe conferindo uma média vulnerabilidade (peso 2) (CARMO; MORAES, 2008; SEMAS, 2012; PEREIRA, 2016).

A Cobertura Vegetal e Uso da Terra no critério VNE, as classes floresta primária, floresta degradada e vegetação secundária foram classificadas como sendo de baixa vulnerabilidade (peso próximos de 1,0), em virtude de conferir maior grau de cobertura vegetal sobre o solo, consequentemente oferecendo maior proteção ao solo em relação as intempéries. Estas três classes, juntas representam 58,28% da área da bacia. Devido à expansão das atividades econômicas ligadas ao setor agropecuário, as áreas de florestas poderão ser reduzidas progressivamente em razão da pressão do desmatamento, o qual abre caminho para novas frentes agropecuárias na região da bacia do rio Arauaí (ALMEIDA, 2015).

A classe dendeicultura, foi classificada como sendo de média vulnerabilidade (peso 1,5) por oferecer ao solo certo grau de cobertura e ser uma cultura de intensa produtividade, entretanto esta cultura não deve ser considerada de baixo impacto para

restauração ecológica, pois extensos plantios homogêneos não contribuem para conservação da biodiversidade (LEES; VIEIRA, 2013).

As classes agricultura temporária, pasto sujo, pasto limpo e solo exposto foram classificados como sendo de muita vulnerabilidade (próximo ao peso 3,0), pois para o critério VNE representam ambientes de elevada fragilidade ambiental. Estas classes constituem cerca de 20,53% da área total da bacia do rio Arauaí (tabela 02), assim, compõem as áreas de maior preocupação ambiental devido à instabilidade do solo, em virtude a pouca ou nenhuma cobertura vegetal natural.

A Geologia da bacia em estudo, é formada por apenas uma constituição geológica, a Cobertura Detrito - Laterítica Pleistocênica. Esta unidade representa a bacia do rio Arauaí de forma geral, sendo classificada como alta vulnerabilidade (peso 3,0). Leite e Rosa (2013), também classificaram esta unidade como altamente vulnerável em um estudo sobre a caracterização de unidades de paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO. As Coberturas Detrito - Laterítica Pleistocênica estão associadas a sedimentos argiloarenosos amarelados, caulíníticos, alóctones e autóctones, parcial a totalmente pedogeneizados, também são encontradas nas áreas próximas aos vales, principalmente naquelas em processo de retomada de erosão (CAVALCANTE, 2005).

Na geomorfologia foram identificadas três unidades geomorfológicas distintas em vulnerabilidade: Pediplano Retocado Inumado, caracterizado como de baixa vulnerabilidade (peso 1,0), áreas com definições de relevo levemente ondulado que representa grande parte da área da bacia estudada (FERREIRA, 2015), Planos Abaciados de Inundação caracterizado como vulnerabilidade mediana (peso 2,0), e o Planície de Terraços Fluviais como de alta vulnerabilidade (peso 3,0) por apresentar muita instabilidade do relevo (SOUSA et al., 2016), contudo esta classe representa apenas 0,13% da área total da bacia do rio Arauaí.

### 3.3.2. Avaliação do Grau de Prioridade para a Restauração Passiva

A análise do grau de prioridade para a restauração passiva partiu da integração dos cinco mapas critérios, conforme descrito na metodologia, resultando em uma avaliação multicriterial, demonstrando as áreas com potencial de regeneração natural e as restrições (neste caso, áreas que não tiveram importância para restauração) que irão definir a prioridade de restauração passiva, gerando assim informações que poderão servir de apoio ao planejamento de políticas públicas para a restauração florestal.

Os resultados das classes de prioridade estão na Tabela 3.12. Nota-se que a classe de prioridade média foi a que apresentou a maior porcentagem, com 66,62% (138,45 km<sup>2</sup>). As classes de prioridade alta e baixa foram equivalentes (cerca de 15% das áreas da bacia) e as classes muito baixa e muito alta foram insignificantes.

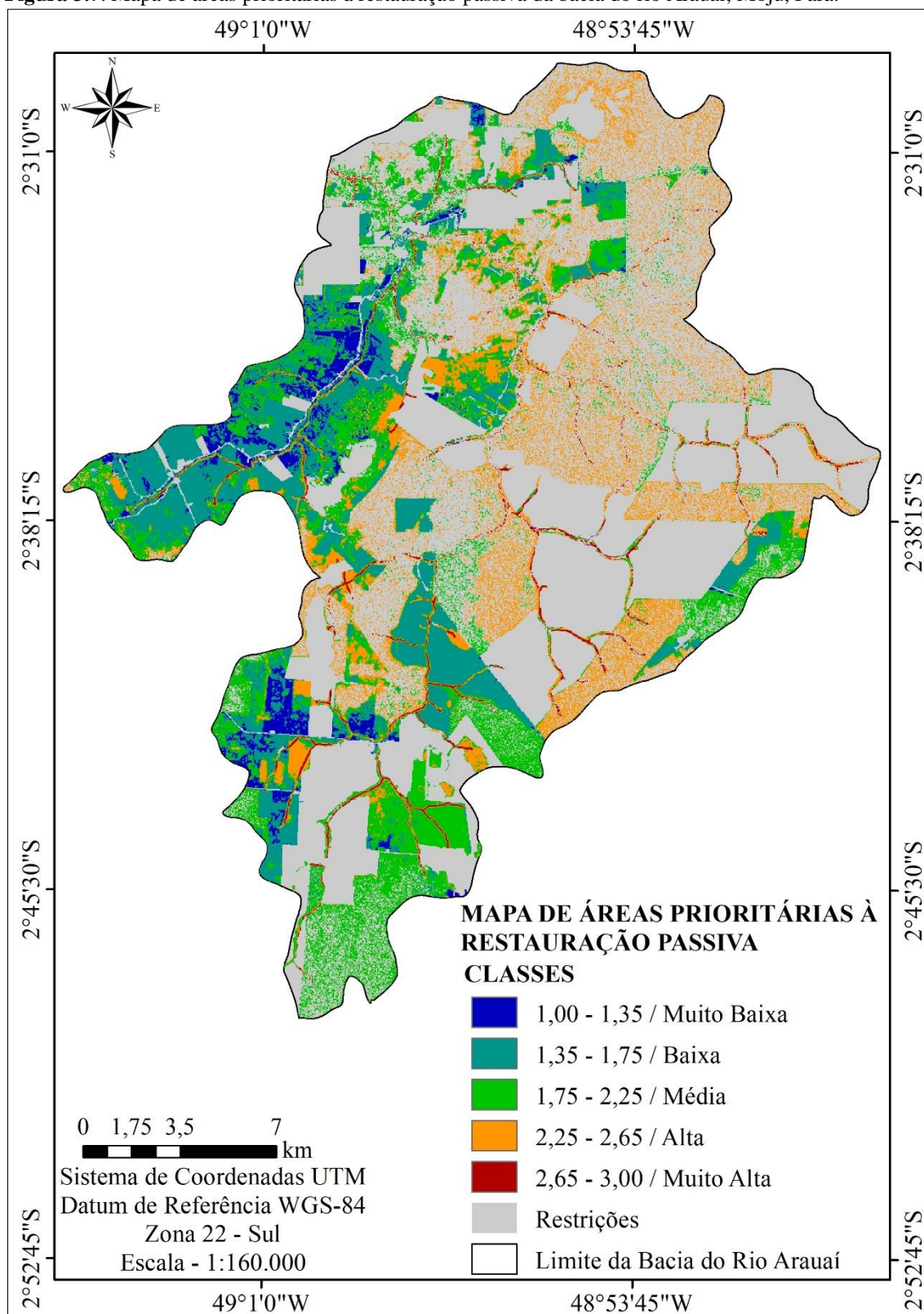
**Tabela 3.12.** Distribuição das classes de prioridade à restauração passiva, segundo a análise multicritério para a bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Classes de Prioridade</b>	<b>Grau de Prioridade</b>	<b>Áreas Prioritárias (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% Áreas Prioritárias</b>
Restrições	-	258,00	-
Muito Baixa	1,00 – 1,35	0,09	0,04
Baixa	1,35 – 1,75	33,98	16,35
Média	1,75 – 2,25	138,45	66,62
Alta	2,25 – 2,65	32,28	15,153
Muito Alta	2,65 – 3,00	3,02	1,45
Total	-	465,82	100

**Fonte:** SILVA, T. C. M.



**Figura 3.7.** Mapa de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



Fonte: SILVA, T. C. M.

A distribuição das classes de prioridade para restauração passiva é apresentada na figura 3.7. Pode-se verificar espacialmente a distribuição das classes de prioridade de restauração passiva na bacia, expressas de forma numérica segundo o gradiente de vulnerabilidade de Crepani et al., (2001) adaptado para este estudo.

A caracterização das áreas prioritárias pode ser melhor compreendida com a seguinte descrição:

I. Prioridade Muito Baixa (1,00 – 1,35): caracterizada pela cor azul escuro, esta classe é constituída por pequenos polígonos, ocupando uma pequena área da bacia, sendo classificada de muito baixa vulnerabilidade natural à erosão. Nesta área estão inseridos fragmentos de vegetação secundária e pasto sujo situados a mais de 200 m de distância da floresta primária, estando fora do limite de APPs e distantes 10 a 25 m das estradas e rodovias, estas situações conferem à esta classe um grau de prioridade muito baixo;

II. Prioridade Baixa (1,35 – 1,75): esta classe é representada pela cor azul claro, apresentando média vulnerabilidade natural à erosão (critério VNE), esta classe inclui como uso e cobertura da terra potenciais para restauração passiva (critério CTPP) fragmentos como, floresta degradada, vegetação secundária, pasto limpo e pasto sujo, sendo que 82,84% do total desta classe é ocupado por pastagem, as quais são desprovidas de vegetação arbórea. Quando a proximidade das áreas potenciais à restauração passiva com a floresta primária (critério Prox\_FP), esta classe apresenta 89,1% da sua área (29,45 km<sup>2</sup>) situada entre 0 – 35 m da floresta primária. As áreas de preservação permanente (critério DF\_APP) ocupam menos de 1% desta classe e representam um déficit de cobertura florestal que varia de 40 – 100% APPs desflorestadas. As estradas e rodovias (critério Prox\_EST) estão localizadas a mais de 200 m de distâncias das áreas potenciais para restauração passiva, o que representa 56,58% da área total desta classe;

III. Prioridade Média (1,75 – 2,25): a cor verde caracteriza esta classe. A maior parte desta classe apresenta vulnerabilidade natural à erosão (VNE) variando de baixa a média correspondendo a 77,02% (106,54 km<sup>2</sup>). Quanto ao critério CTPP, grande parte (40,29%) é representado por fragmentos de florestas degradadas. O médio grau de prioridade também é devido a 98,58% das áreas potenciais para restauração passiva estarem próximas de áreas fontes de sementes (0 – 35 m). A área total de APPs nesta classe corresponde à 1,95 km<sup>2</sup>, sendo que 1,58 km<sup>2</sup> está com 70 - 100% de área desflorestada. As estradas e rodovias estão além dos 200 m (64,12%);



IV. Prioridade Alta (2,25 – 2,65): indicada pela cor alaranjada, esta classe apresenta alta VNE (88,38%), a floresta degradada é a cobertura vegetal dominante nesta classe correspondendo a 82,56% (17,93 km<sup>2</sup>). O alto grau de prioridade também é reforçado pelo critério Prox\_FP, onde as áreas potenciais para restauração passiva se encontram muito próximas (0 – 35 m) da floresta primária. Em relação as APPs, esta classe apresenta 3,86 km<sup>2</sup> de APPs, sendo que 2,75 km<sup>2</sup> (71,26%) corresponde a um déficit de floresta variando entre 70 – 100%. A distância das estradas e rodovias também mostram uma grande distância ( $\geq 200$  m) das áreas potências à restauração passiva, representando cerca de 88,66% (17,9 km<sup>2</sup>) desta classe;

V. Prioridade Muito Alta (2,65 – 3,00): representada pela cor vermelha, esta classe, possui baixa vulnerabilidade natural à erosão, e cerca de 73,39% (1,74 km<sup>2</sup>) de área ocupada por floresta degradada e as áreas potenciais para restauração passiva que estão quase que 100% próximas a floresta primária. O elevado grau de prioridade desta classe também está atrelado ao 1,8 km<sup>2</sup> de APPs com necessidade de restauração e ainda ao 1,96 km<sup>2</sup> (89,97%) de áreas potências que estão distantes de estradas e rodovias ( $\geq 200$  m).

Neste estudo, foram consideradas como restrições, as classes de floresta primária, campinarana, dendeicultura, agricultura temporária, solo exposto e água para os critérios CTPP, Prox\_FP e Prox\_EST, por não apresentarem prioridade para a restauração passiva, e para o critério DF\_APP também foram consideradas as restrições acima mencionadas incluindo floresta degradada, vegetação secundária, pasto limpo e pasto sujo.

A análise de áreas prioritárias à restauração passiva da bacia em estudo, possibilitou identificar que a maior porcentagem da área da bacia está classificada como prioridade média (66% da área da bacia do rio Arauaí). Esta porcentagem expressa a forte influência das atividades econômicas sobre a paisagem, tornando-a mais desflorestada, como pode ser observado no mapa de cobertura e uso da terra abordado no capítulo 1, onde no lado oeste da bacia do rio Arauaí existe uma relativa dominância de áreas mais instáveis, apresentado grandes áreas ocupadas por pastagem e agricultura e, do lado leste reduzidas e isoladas áreas com vegetação nativa natural. Este isolamento se deve em virtude do crescimento desordenado dos meios de produção, gerando consequências na disponibilidade dos recursos naturais, comprometendo os serviços ambientais, afetando de forma direta a biodiversidade (LEES et al., 2015).

O uso de técnicas de restauração passiva deve ser baseado nas características do local e da paisagem (MORRISON; LINDELL, 2011). Na bacia do rio Arauaí as áreas de

pastagem (pasto limpo e pasto sujo) são concentradas em especial nas regiões onde se desenvolvem atividades produtivas, e apresentam cobertura de vegetação nativa insuficiente, contribuindo para processos erosivos. Estas áreas receberam média prioridade para restauração passiva por serem áreas produtivas. As áreas de pasto limpo, são destinadas as práticas de agricultura ou da pecuária extensiva e ocupam grandes áreas (ALMEIDA, 2015), as áreas de pasto sujo são formadas por estágios intensos de degradação, com predomínio de plantas colonizadoras e presença de palmeiras e arbustos (ALMEIDA; VIEIRA, 2008).

Contudo as áreas de pastagem ainda podem ser restauradas passivamente conforme Almeida (2015) demonstrou no seu estudo. Há uma grande similaridade entre espécies vegetais em amostras de pastagem, floresta secundária e floresta primária, constatando que áreas de pastagem apresentam tendência a um padrão sucessional, que após um período de tempo tende às características de floresta secundária.

No entanto, também há ocorrência de fragmentos de vegetação secundária e de floresta degradada, os quais apresentam grande importância para priorização de áreas para restauração passiva, em virtude da alta capacidade de resiliência dessas florestas (MARTINS, 2009).

Assim, observa-se que as áreas de maior prioridade para restauração passiva, são representadas em grande parte por fragmentos de floresta degradada espalhados por quase toda a extensão da bacia, sendo que a maioria dos fragmentos estão circundados por floresta primária. Isto é resultado de um histórico de uso na região da bacia do rio Arauaí, iniciado pela exploração madeireira, seguida da consolidação e expansão das atividades agrícolas representadas pela dendeicultura na bacia hidrográfica do rio Arauaí, promovendo a substituição da vegetação nativa pela pecuária e outras culturas agrícolas.

### **3.4. Conclusões**

Este estudo comprova que é possível determinar áreas prioritárias à restauração passiva utilizando a análise multicritério para agregação dos diferentes critérios, tornando possível alocar de maneira simplificada, áreas indicadas para aplicar o método de regeneração natural.

A floresta degradada ocupa grande parte da bacia do rio Arauaí, apresentando um alto valor prioritário para restauração passiva, indicando ser a principal estratégia de restauração florestal da paisagem para a bacia, sendo necessário apenas o isolamento da

área contra os fatores de degradação, com pouca ou nenhuma intervenção no processo de regeneração natural.

A anulação das restrições para restauração passiva em ambiente SIG somam 258 km<sup>2</sup>, permitiu mostrar sem interferências as áreas indicadas para restauração passiva. Cerca de 80% das áreas prioritárias da bacia do rio Arauaí tem grau de prioridade variando de média a muito alta para a restauração passiva. Em se tratando de escala de paisagem a regeneração natural em projetos de restauração certamente desempenhará um papel importante na recuperação ambiental em áreas que foram fortemente alteradas pela exploração madeireira e pelo fogo, como as florestas primárias.

Através da análise multicritério associada ao sistema de informação geográfica (SIG), foi possível atribuir pesos de maneira sistêmica para indicação do valor de importância de cada mapa temático, refletindo em classes de prioridade no mapa final de áreas indicadas para restauração passiva na bacia do rio Arauaí.

A bacia do rio Arauaí mostra 66% das áreas prioritárias à restauração passiva com as seguintes características: as áreas com média vulnerabilidade à erosão, em locais com floresta degradadas e vegetação secundária, estando próximas da vegetação nativas, e distantes das estradas e rodovias, assim como o déficit de cobertura florestal variando de 0 a 40% em áreas de preservação permanente (APPs). Estas características possibilitam implementar uma recuperação rápida sem intervenção humana e a necessidade de recuperação emergencial em projetos de restauração.

As áreas de APPs foram as que obtiveram o nível mais alto de prioridade de restauração, pois são diretamente afetadas pelas mudanças no uso da terra. O estudo do uso e cobertura da terra na bacia do rio Arauaí mostrou que esta ocupação não respeita a legislação que protege as APPs, o que agrava a situação de degradação ambiental verificada na bacia em estudo.

O mapa final produzido abrangeu vários aspectos biofísicos da paisagem baseados principalmente na temática cobertura vegetal e uso da terra. Esse mapa poderá ser usado como uma ferramenta de gerenciamento ambiental, fornecendo subsídios técnicos para planos de restauração, no contexto da legislação e normas ambientais e das políticas públicas vigentes.

A metodologia utilizada neste trabalho poderá ser usada como ponto de partida para futuros trabalhos abrangendo áreas de grande extensão territorial, agregando aos aspectos biofísicos, análises de aspectos socioeconômicos e ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ALARCON, G. G.; BELTRAME, A. V.; KARAN, K. F. Conflitos de interesse entre pequenos produtores rurais e a conservação de áreas de preservação permanente na mata atlântica. **Revista Floresta**, v. 40, n. 2, p. 295-310, 2010.
- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará (Pará, Brasil) com o uso da técnica de sensoriamento remoto. **Ciências Naturais**, v. 3, n. 1, p. 81-92, 2008.
- ALMEIDA, A. S. de. **Mudanças de uso da terra em paisagens agrícolas com palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e implicações para a biodiversidade arbórea da Amazônia**. 2015. 116p. Tese (Doutorado – Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2015.
- ARONSON, J.; DURIGAN, G.; BRANCALION, P. H. S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **IF Série Registros**, São Paulo, v. 44, n. único, p. 1-38, 2011.
- AMIRI, M. J.; MAHINY, A. S.; HOSSEINI, S. M.; JALALI, S. G.; EZADKHASTY, Z.; KARAMI, S. H. OWA analysis for ecological capability assessment in watersheds. **International Journal of Environmental Research**, v. 7, n. 1, p. 241-254., 2013.
- BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L. Estimativa da infiltração de água no solo na escala da bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 38, n. 2, p. 557 – 564, 2014.
- BRANCALION, et al. Finding the money for tropical forest restoration. **Unasylva**, 63, p. 25–34, 2012.
- CARMO, L. F. Z. do.; MORAES, R. N. de S. **Diagnóstico dos tipos de solos do município de Rio Branco – AC**. (Ed.) Rio Branco: PMRB, (Boletim Técnico, 001). 62p. 2008.
- CARVALHO, N. S. de. **Impacto de estradas sobre a cobertura florestal adjacente: zona-de-efeito em fragmentos no sul de Minas Gerais**. 2012. 57p. (Monografia – Ciências Biológicas). Universidade Federal de Lavras. Lavras, Minas Gerais. 2012.
- CAVALCANTE, L. M. **Zoneamento geológico e geomorfológico de uma área entre Assis Brasil e Brasiléia – Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 21p. 2005.
- CREPANI, E. M.; et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: 124p. INPE, 2001.
- CHANDIO, I. A.; MATORI, A. N. B. GIS-based multi-criteria decision analysis of land suitability for hillside development. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 2, n. 6, p. 469-473, 2011.
- CHAZDON R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science** **320**, p. 1458–1460, 2008.

COGO, M. C. **O papel dos sedimentos em suspensão no metabolismo de rios de micro e mesoescala no Estado de Rondônia**. 2005. 61p. Dissertação (Mestrado - Ecologia de Agroecossistemas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2005.

CUBIÑA, A.; AIDE, M. T. The effect of distance from forest edge on seed rain and soil seed bank in a tropical pasture. **Biotropica**, n. 33, p. 260 – 267, 2001.

DIAS, C. R. **Poleiros artificiais como catalisadores na recuperação florestal**. 2008. 1 – 17p. Monografia de Graduação (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini – RS. **Ciência e Natureza**, v. 38, n. 1, p. 156 – 163, 2016.

FAO. **Watershed management field manual: road design and construction in sensitive watersheds**. Rome: FAO Consultation Guide. 13/5, 196p. 1989.

FARIA, H. H.; SÉRGIO, F. C.; GARRIDO, M. A. O. Recomposição da vegetação ciliar integrada à conservação de microbacia. **Revista do Instituto Florestal**, n.21, p.1-22, 2001.

FRANCISCO, C. E. S.; et al. Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridade para recuperação de Áreas de Preservação Permanentes. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2643-2650, 2007.

FRANCISCO, C. E. S.; et al. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 1-13, 2008.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. de. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Áreas de Preservação Permanente (APP), no nordeste paulista. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...INPE**, p. 3366-3373, 2013.

GENELETTI, D.; DUREN, I. V. Protected area zoning for conservation and use: a combination of spatial multicriterial and multiobjective evaluation. **Landscape and Urban Planning**, v. 85, p. 97-110, 2008.

GENELETTI, D. An approach based on spatial multicriteria analysis to map the nature conservation value of agricultural land. **Journal of environmental management**, n. 83, p. 228-35, 2007.

GUERRERO, A. C.; ROCHA, P. L. B. Passive restoration in biodiversity hotspots: consequences for an Atlantic rainforest lizard taxocene. **Biotropica**, Washington, v. 42, n. 3, p. 379-387, 2010.

HOLL, K. D.; LOIK, M. E.; LIN, E. H. V.; SAMUELS, I. A. Tropical montane forest restoration in Costa Rica: overcoming barriers to dispersal and establishment. **Restoration Ecology**, New York, v. 8, n. 4, p. 339 – 349, 2000.

HOLL, K. D.; AIDE, T. M. When and where to actively restore eco-systems? **Forest Ecology and Management**, v. 261, p. 1558–63, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Sistema de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES)**. São José dos Campos: INPE, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geociências**: downloads. Disponível em: <[https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em 14 de maio de 2016.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP); INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. **Programa Municípios Verdes**: diagnóstico da gestão ambiental dos municípios paraenses. Belém, 53 p. 2013.

KRUSCHE, A. V.; et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos de água da bacia do rio Ji-Parana. Rondônia, **Acta Amazonica**, v. 35, p. 197-205. 2005.

LAMEIRA, W. J. de M. **Análise e modelagem do dendezeiro (*Elaeis guineenses* Jacq.) no nordeste do Pará e implicações para o planejamento de territórios sustentáveis**. 2015. Tese (Doutorado – Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2015.

LEES, A. C.; MOURA, N. G.; ALMEIDA, A. S. DE.; VIEIRA, I. C. G. Poor Prospects for Avian Biodiversity in Amazonian Oil Palm. **PLOS ONE**, 10 (5), 2015.

LEES, A. C.; VIEIRA, I. C. G. Oil-palm concerns in Brazilian Amazon. **Nature**, v. 497, p. 188, 2013.

LEITE, E. F. ROSA, R. Determinação e caracterização de unidades de paisagem natural na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO a partir de técnicas de geoprocessamento. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 4217 – 4225, 2013.

LUGO, A. E.; GUCINSK, H. Function, effects and management of forest roads. **Forest Ecology and Management**, n. 133, p. 249 – 262, 2000.

LUIZ, T. E.; LIMA, E. B. N. R.; SALOMÃO, F. X. T. Morfopedologia aplicada à concepção de obras em microbacias do perímetro urbano de Várzea Grande – MT. **Revista Ambiente e Água**. v. 10, n. 3, p. 646 – 659, 2015.

MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. Multicriteria decision analysis in geographic information science. **Springer**, p. 331, 2015.

MARTINS, S. R. **Recuperação de áreas degradadas**: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Viçosa: Aprenda Fácil Editora. 270p. 2009.

MATEO, J. **Apuntes de geografia de los paisajes**. Habana: Ed. MÊS, 470P. 1984.

MENDONÇA, V. M. **Impactos pluviais na cidade de Presidente Prudente – SP**. 128 f. 2011. Trabalho de conclusão (Bacharelado - Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG. Brasília, DF: MMA, 73p. 2017. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg\\_plano\\_nacional\\_recuperacao\\_vegetacao\\_nativa.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf). Acessado em: 16 de novembro de 2017.

MORRISON, E. B.; LINDELL, C. A. Active or Passive Forest Restoration? Assessing Restoration Alternatives with Avian Foraging Behavior. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 201, p. 170–177, 2011.

NEILL, C.; ELSCNBEER, H.; KRUSCHE, A. V.; LEHMANN, J.; MARKEWITZ, D.; FIGUEIREDO, R. O. Hidrológico e processos biogeoquímicos em uma Amazônia em mudança: resultados de pequena bacia hidrográfica e estudos e a Experiência em Grande Escala de Biosfera-Atmosfera. **Hídrol Processos**, 20. 2467-2476. 2006.

NAHUM, J. S.; MALCHER, A. T. C. Dinâmicas territoriais do espaço agrário na Amazônia: a dendeicultura na microrregião de Tomé-Açu (PA). **Revista franco-brasileira de geografia**, n. 16, 2012.

ORSI, F.; GENELETTI, D. Identifying priority areas for Forest Landscape Restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. **Landscape and Urban Planning**, n. 94, p. 20–30, 2010.

PEREIRA, B. W. de F. **Avaliação da degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste do estado do Pará**. 2016. 104p. Tese (Doutorado – Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. 2016.

PERIM, M. A.; COCCO, M. D. A. Efeito das transformações antrópicas às margens do rio Una, Taubaté, São Paulo, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, 2016.

PINHEIRO, J. A. C. **Análise da paisagem e áreas prioritárias para restauração florestal em uma microbacia da Zona da Mata Mineira**. 2015. 103p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais. 2015.

REICH, M.; FRANCELINO, M. R. Avaliação do potencial de recuperação de áreas alteradas em áreas de proteção permanente de cursos d'água no município de Rio Branco, Acre. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, v. 7, n. 2, p. 157 – 168, 2012.

SCHONEWALD-COX, C.; BUECHNER, M. Park Protection and Public Roads. In: Fiedler P.L., Jain S.K. (eds) **Conservation Biology**, 1992.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE (SEMA). PARÁ. **Plano de manejo da área de proteção ambiental de Algodal-Maiandeuá**. Belém: SEMA, 2012.

SILGUEIRO, V. F.; BONA, D. A. O.; BUTTURI, W.; SANTOS, B. D. C.; BRUGNARA, E.; TAMBOSI, L. R. Análise da paisagem para o planejamento espacial da restauração florestal de áreas de preservação permanente em imóveis rurais na região

de Alta Floresta – MT visando a constituição de corredores ecológicos. In: IX Semana da Biologia e I Seminário do Núcleo de Agricultura Familiar e Agroecologia, 2016, Alta Floresta - MT. **Anais...** Alta Floresta: Unemat, p. 137-142, 2016.

SOUSA, R. dos S.; VALLADARES, G. S.; ESPÍNDOLA, G. M. de. Análise do Índice de Vegetação (NDVI) e vulnerabilidade ambiental da planície costeira do Estado do Piauí. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, CE. v. 18, n. 2, p. 82 – 99, 2016.

SPAROVEK, G.; BARRETO, A.; KLUG, I.; PAPP, L.; LINO, J. A revisão do Código Florestal Brasileiro. **Novos Estudos**, n. 89, p. 111-135, 2011.

TERRACLASS. Embrapa. Projeto Terraiclass, 2014. Disponível em <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?cod\\_Noticia=3302](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?cod_Noticia=3302)>. Acesso em: 25 maio 2017.

THOMAS. S. M.; NEILL, C.; DCEGAN, L. A.; KRUSCHE, A.V.; BALL- ÉSTER, V. M.; VICTORIA, R. L. Influências de uso e fluxo de tamanho em partículas e materiais dissolvidos em uma pequena Amazônia transmitir rede. **Biogeochemiswfi-g**, v. 68, p. 135-151, 2004.

VALENTE, R. A.; PETEAN, F. C. de S.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 53-60, 2017.

VALENTE, R. de O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 121p. Tese (Doutorado – Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2005.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conserva de recursos hídricos**. 2006. 151f. Tese (Livre Docência na Especialidade/Disciplina Topografia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, 2006.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. **Ecological Engineering**, v. 94, p. 255 - 267, 2016.

VIEIRA, I. C. G.; GARDNER, T. A. Florestas secundárias tropicais: ecologia e importância em paisagens antrópicas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, v. 7, p. 191-194, 2012.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, p. 370, 1983.



#### **4. CAPÍTULO 3: ANÁLISE MULTICRITÉRIO NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS À RESTAURAÇÃO ATIVA NA BACIA DO RIO ARAUAÍ, MOJU (PA)**

##### **4.1. Introdução**

A demanda mundial pela restauração de ecossistemas naturais aumentou substancialmente nos últimos anos, devido à integração da restauração ecológica às principais políticas internacionais relacionadas à diversidade biológica (ARONSON; ALEXANDER 2013; MENZ et al., 2013; JORGENSEN 2015). Diante disso, vários esforços têm sido destinados à restauração.

No Brasil, a agenda da restauração vem se intensificando a partir de 2012 com o Lei da Vegetação Brasileira (Lei nº 12.651/2012), que exige que a produção agropecuária esteja combinada com a conservação ambiental, sendo, um dos alicerces para que a restauração florestal aconteça em larga escala.

A Amazônia é o bioma em que há um grande passivo de Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP) nas propriedades rurais (SPAROVEK et al., 2012), representando um passivo de 7,2 Mha em RL e aproximadamente 900.000 ha em APP (MMA, 2017). Para diminuir esse passivo ambiental, proprietários de terra deverão recompor suas áreas por meio de plantio de mudas, regeneração natural ou, ainda, compensação (no caso de Reserva Legal) (MORAES, 2016). Para restaurar a vegetação nativa é necessário conhecer a paisagem e as condições ambientais, pois a definição da técnica é feita em função da degradação (tempo e intensidade) da vegetação a ser restaurada, bem como do tempo e dos recursos disponíveis para a restauração ser implementada (HOLL, 2017).

As restaurações ativa e passiva são duas estratégias importantes para a recuperação de grandes áreas de terras desmatadas e degradadas (CHAZSDON, 2016) e levam a diferentes estruturas da vegetação. A restauração ativa é baseada em ações de restauração promovidas pelo homem com a intenção de conduzir, direcional e favorecer o processo de sucessão ecológica em áreas degradadas, pois a sucessão por si só não teria capacidade de restauração efetiva a curto e médio prazo (BRANCALION, 2015).

Assim, a restauração ativa é mais utilizada quando a degradação é mais acentuada pois usa técnicas de manejo, como plantação de sementes ou mudas e é geralmente mais dispendiosa do que a restauração passiva (HOLL, 2017) e portanto, é fundamental um

embasamento científico para fazer recomendações das áreas mais favoráveis para restauração florestal de forma ativa.

Neste contexto, a análise e indicação de áreas prioritárias à restauração vem sendo considerada como um instrumento norteador para a tomada de decisão em planejamentos ambientais, tendo como auxílio os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), importante ferramenta para o monitoramento e mapeamento das mudanças de uso da terra (PEREIRA, 2016).

A análise multicritério e SIG podem ser associados para fornecer suporte à tomada de decisão e vem sendo usada no Brasil com o enfoque na priorização de áreas destinadas a restauração florestal (FERRAZ; VETTORAZZI, 2003; VALENTE, 2005; VETTORAZZI, 2006; FRANCISCO et al., 2008, ORSI; GENELETTI, 2010). Neste tipo de análise, é possível incorporar a perspectiva da paisagem, ou seja, pode ser agregado critérios, que representam as características críticas da paisagem (VETTORAZZI; VALENTE, 2016).

Em um contexto em que a Bacia Hidrográfica do Rio Arauaí, Moju, Pará vem enfrentando mudanças significativas na paisagem, nota-se que muitas áreas de Reserva Legal possuem fragmentos isolados de vegetação nativa associados à mosaicos de usos da terra (ALMEIDA, 2015) que necessitam de projetos de restauração com aproveitamento econômico, que é um dos aspectos a ser considerado na estratégia de restauração ativa.

Neste aspecto, o presente estudo tem como objetivo identificar e elaborar mapa de regiões prioritárias potenciais a restauração ativa, utilizando a técnica de análise multicritérios em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), como apoio à tomada de decisão.

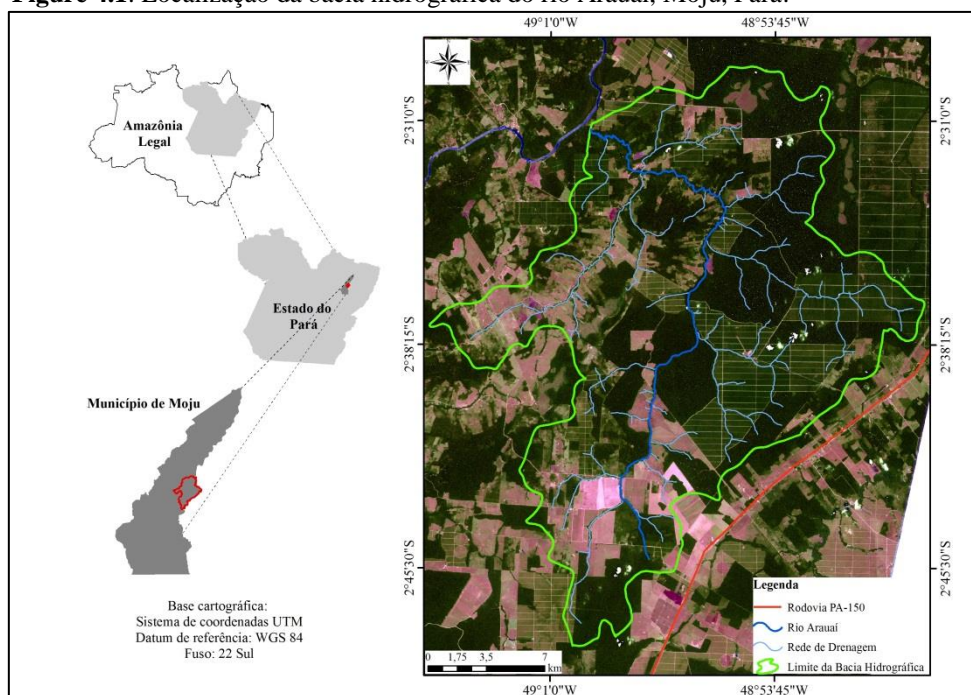
## **4.2. Material e Métodos**

### **4.2.1. Área de Estudo**

A bacia do rio Arauaí está localizada na mesorregião Nordeste Paraense, microrregião de Tomé-Açu, município de Moju entre as coordenadas 2° 29' 15,13"S / 48° 55' 15,43"W e 2° 48' 1,23"S / 49° 00' 16,55"W (Figura 4.1). A área total desta bacia é de 465,82 km<sup>2</sup>, com perímetro é de 128,26 km, tendo 31,45 km de extensão na direção norte-sul e 29,06 km na direção Leste-Oeste, representando cerca de 5,12% do município de Moju (9.094,10 km<sup>2</sup>).

A bacia do rio Arauaí apresenta solos predominantes do tipo Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), relevo de compartimentação discreta: platôs baixos (tabuleiros), terraços fluviais e várzeas. O clima característico é quente e úmido, com temperaturas médias mensais de 25°C a 27°C. Precipitação pluviométrica varia entre 2000 a 3000mm/ano, sendo o período de janeiro a junho a época mais chuvosa. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (IDESP, 2013).

**Figure 4.1.** Localização da bacia hidrográfica do rio Arauaí, Moju, Pará.



**Fonte:** SILVA, T. C. M.

A região está inserida no Bioma Amazônia, com predomínio da floresta ombrófila densa (aluvial, terras baixas e submontana) e floresta ombrófila aberta (cipó) (IBGE, 2012). Em pequenas proporções ocorre vegetação secundária, principalmente nas áreas ocupadas com agropecuária e que foi abandonada (ALMEIDA, 2015). A bacia hidrográfica de Arauaí abrange uma área de aproximadamente 465 km<sup>2</sup>, inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Moju, que possui área total de 15.662,14 km<sup>2</sup>, abrangendo 14 municípios. A bacia do Arauaí está inserida integralmente no município de Moju.

#### 4.2.2. Definição e Ponderação dos Critérios

Foram definidos e ponderados cinco critérios relacionados ao aspecto biofísico da paisagem de grande contribuição para a restauração em áreas degradadas ou em processo de degradação na bacia do rio Arauaí. A seleção dos critérios proporcionará a

identificação de áreas prioritárias potenciais a serem restauradas pelo método ativo (plantio de mudas e sementes, semeadura direta e/ou transposição de banco de sementes).

A ponderação foi realizada conforme o grau de importância de cada fator (temática) para a restauração ativa, seguindo a escala definida por Crepani (2001), adaptada para este estudo.

As temáticas de cada critério foram normalizadas em uma escala de 1,0 a 3,0, onde valores próximos de 1,0 indicam baixa prioridade para restauração ativa, próximos de 2,0 são considerados de prioridade média e valores próximos de 3,0 são atribuídos às temáticas de alta prioridade à restauração ativa na bacia do rio Arauaí. As restrições, ou seja, temáticas que não apresentaram valor para restauração ativa, foi atribuído peso zero de forma a não interferir no resultado final.

Espacialmente as áreas prioritárias à restauração ativa foram determinadas pelos seguintes critérios, também utilizados em outros estudos (FRANCISCO et al., 2007; PEREIRA, 2016; VALENTE et al., 2017):

1. Uso e Cobertura Potenciais para Restauração Ativa (CTPA);
2. Porcentagem de Floresta Primária em Áreas de Reserva Legal (%FP-RL);
3. Distância da Floresta Primária (Dist\_FP);
4. Proximidade com Estradas e Rodovias (Prox\_EST);
5. Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE).

#### 4.2.2.1. Critério: Cobertura e Uso Potenciais para Restauração Ativa (CTPA)

Este critério foi elaborado a partir do mapa de cobertura vegetal e uso da terra abordado no capítulo 1.

Foram selecionados tipos de usos e cobertura terra considerados potenciais para restauração ativa, atribuindo maiores valores (pesos próximos de 3,0) as com intenso histórico de ocupação por pastagens ou agricultura e localizadas distante das fontes de propágulos (HOLL, 2013) e aplicando valores baixos (pesos próximos de 1,0) para classes que apresentam pouca ou desprovidas de vegetação arbórea/arbustiva, com estrutura arbórea alterada com o alto grau de desflorestamento (Tabela 4.1), sendo assim quanto mais desflorestada a paisagem maior será a prioridade de restauração ativa (3,0).

**Tabela 4.1.** Ponderação do critério CTPA para indicar áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

Usos	Peso
Floresta Primária	0
Floresta Degradada	1,0
Vegetação Secundária	1,5
Pasto Sujo	2,5
Pasto Limpo	3,0
Dendeicultura	0
Agricultura Temporária	0
Campinarana	0
Solo exposto	0

Fonte: SILVA, T. C. M.

#### 4.2.2.2. Critério: Porcentagem de Floresta Primária em Reserva Legal (%FP-RL)

O critério %FP-RL foi elaborado a partir da utilização de arquivos vetoriais referentes aos imóveis rurais cadastrados na Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS – PA). A área ocupada por floresta primária (%) foi calculada pela diferença da área de Reserva Legal Proposta (RLP) de cada imóvel rural pela área de floresta primária extraído do mapa de cobertura vegetal e uso da terra.

Foram quantificadas 336 propriedades registradas no cadastro ambiental rural, destas apenas 240 indicaram RLP na propriedade. Este critério foi agrupado em cinco classes (Tabela 4.2), recebendo maior peso (3,0) as áreas de RLP com fragmentos de floresta primária com até 20%.

**Tabela 4.2.** Ponderação do critério %FP-RL para indicar áreas prioritárias à restauração ativa na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

Floresta Primária (%)	Peso
0 – 20	3,0
20 – 40	2,5
40 – 60	2,0
60 – 80	1,5
80 – 100	1,0

Fonte: SILVA, T. C. M.

#### 4.2.2.3. Critério: Distância da Floresta Primária (Dist\_FP)

No critério Dist\_FP foram utilizados os polígonos (*shapefile*) do critério CTPA e os de floresta primária da bacia do rio Arauaí. A distância do critério CTPA à floresta primária foi calculada com o uso da ferramenta *Near* (*ArcToolbox* > *Proximity* > *Near*)

do programa Arcgis 10.1, gerando o mapa de distância. Em seguida os arquivos *shapefile* foram convertidos para o formato *raster* e reclassificado de acordo com a ponderação estabelecida.

Foi estabelecido uma distância mínima de 35 metros (DIAS, 2008) medidos da borda de cada polígono do critério CTPA. Foram distribuídos pesos próximos de 3,0 para as áreas de CTPA localizadas mais distante de fragmentos de floresta primária. Este critério foi classificado em cinco classes de distâncias (Tabela 4.3), conforme proposto por Reich e Francelino (2012).

**Tabela 4.3.** Ponderação do critério Dist\_FP para identificação de áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Distância (m)</b>	<b>Peso</b>
0 – 35	1,0
35 – 100	1,5
100 – 150	2,0
150 – 200	2,5
≥ 200	3,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

#### 4.2.2.4. Critério: Proximidade com Estradas e Rodovias (Prox\_EST)

Para o critério Prox\_EST foram utilizados os arquivos *shapefile* (tipo linha) de estradas e rodovias e os polígonos do critério CTPA. Com o uso da ferramenta *Near*, do programa Arcgis 10.1, foi gerado um mapa de proximidade entre os vetores estradas e rodovias e o CTPA, adotando um limite máximo de 200 m de distância a partir da malha viária (Francisco, 2008). As distâncias foram distribuídas em sete classes, sendo estabelecido que quanto mais próximo o critério CTPA estiver das estradas e rodovias, maior a prioridade de restauração (peso 3,0), e a medida que a distância vai aumentando são aplicados pesos próximos de 1,0 (Tabela 4.4).

**Tabela 4.4.** Ponderação do critério Prox\_EST para identificação de áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Proximidade (m)</b>	<b>Peso</b>
0 – 10	3,0
10 – 25	2,5
25 – 50	2,2
50 – 100	2,0
100 – 150	1,5
150 – 200	1,2
≥ 200	1,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

#### 4.2.2.5. Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE)

Para elaboração do critério VNE foram consideradas cinco temáticas: declividade, cobertura vegetal e uso da terra, pedologia, geologia e geomorfologia. Estas temáticas contribuíram de forma diferenciada, na identificação da vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Arauaí (Tabela 4.5), conforme metodologia utilizada por Crepani (2001) e adotada por Pereira (2016).

##### *a) Declividade*

Para elaboração da temática de declividade utilizou-se a base de dados altimétricos SRTM/Topodata, cena SRTM (02S495), com resolução espacial de 30 m, obtida a partir da grade vetorial do banco de dados do projeto Topodata do INPE (INPE/PDI, 2014 e 2015). A declividade (%) foi classificada em cinco intervalos. Em cada classe foi aplicado um peso (valor) variando 1,0 a 3,0.

##### *b) Cobertura Vegetal e Uso da Terra*

Esta temática foi elaborada a partir da classificação da cobertura vegetal e uso da terra. Cada classe recebeu um peso de acordo com o grau de cobertura vegetal, isto é, em ambientes com elevada densidade de cobertura vegetal foram aplicados os pesos próximos de 1,0, para densidade intermediárias pesos ao redor de 2,0 e para baixas densidade de cobertura vegetal atribuí-se pesos próximos de 3,0.

##### *c) Pedologia (tipo de solo), Geologia e Geomorfologia*

Estas temáticas foram obtidas na base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), todos na escala de 1:250.000. As classes destas temáticas foram ponderadas e normalizadas em uma escala de 1,0 a 3,0.

A temática pedologia foi ponderada de acordo com sua capacidade de resistência a erosão (Tabela 3.7) (MANNIGEL et al., 2002), sendo que quanto mais arenoso, mais suscetível a erosão, logo terá maior peso de vulnerabilidade (3,0).

Na temática geologia foi constatada apenas uma unidade geológica, sendo representada pela Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica, a qual foi atribuído peso 3,0. Este peso foi atribuído em virtude de a unidade geológica ser constituída principalmente de materiais arenosos e oriunda de intensa atividade agrícola (MENDONÇA, 2011; LEITE; ROSA 2013).

Para a geomorfologia os valores para vulnerabilidade foram ponderados, em função do tipo de relevo, considerando os parâmetros morfométricos das formas de relevo e drenagem, assim como sua dinâmica de evolução (PEREIRA, 2016). Na bacia do rio Arauaí, foram notadas três classes (Tabela 3.8) morfométricas, dentre elas, a classe Planície de Terraço Fluviais, as quais receberam maior peso (3,0) por serem áreas de vales fluviais, margeando cursos d'água, parcialmente alagados e terrenos planos. Já a classe Pediplano Retocado Inumado, foi atribuída o menor peso (1,0).

**Tabela 4.5.** Temáticas relacionados a indicação da vulnerabilidade natural à erosão da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

Temáticas	Classes	Pesos
Declividade	Muito Baixa	1,0
	Baixa	1,5
	Média	2,0
	Alta	2,5
	Muito Alta	-
Cobertura Vegetal e Uso da Terra	Floresta primária	1,0
	Floresta degradada	1,1
	Vegetação secundária	1,3
	Dendeicultura	1,5
	Agricultura temporária	2,8
	Pasto sujo	2,9
	Pasto limpo	3,0
	Solo exposto	2,5
	Campinarana	2,6
	Água	0,0
Pedologia	Latossolo Amarelo Distrófico	1,0
	Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico	2,0
	Plintossolo Argilúvico Distrófico	3,0
Geologia	Cobertura Detrito-Laterítica Pleistocênica	3,0
Geomorfologia	Pediplano Retocado Inumado	1,0
	Planos Abaciados de Inundação	2,0
	Planície de Terraços Fluviais	3,0

**Fonte:** SILVA, T. C. M.

Os arquivos em formato *shapefile* de cada temática foram convertidos para o formato *Raster* por meio da ferramenta *Feature to Raster* no programa ArcGIS 10.1. Para cada temática foi atribuído um valor (peso), o qual representa a importância de cada temática para o critério Vulnerabilidade Natural à Erosão descrito na tabela 4.6.



**Tabela 4.6.** Contribuição das variáveis no mapeamento da Vulnerabilidade Natural a Erosão da região da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Variável</b>	<b>Peso</b>
Declividade	2,5
Cobertura Vegetal e Uso da Terra	3,0
Pedologia	2,2
Geomorfologia	1,3
Geologia	1,0

**Fonte:** Adaptado de Pereira (2016).

Foi realizado a integração dessas temáticas e os valores obtidos foram reclassificados (através do uso da ferramenta *Reclassify*) de acordo com a escala vulnerabilidade determinada por Crepani et al. (2001). A equação 1 apresentada abaixo, busca representar a posição de cada unidade dentro da escala de vulnerabilidade natural à erosão:

(1)

$$VNE = (D*p + CV*p + P*p + G*p + GE* p)$$

Onde:

*VNE* = Vulnerabilidade Natural à Erosão da bacia do rio Arauaí;

*D* = Declividade;

*CV* = Cobertura Vegetal e Uso da Terra;

*P* = Pedologia;

*G* = Geologia;

*GE* = Geomorfologia.

#### 4.2.3. Análise Multicritério

Após a combinação dos mapas critérios, foram identificadas e classificadas áreas prioritárias à restauração ativa, os cinco critérios selecionados, utilizados na construção do mapa final, contribuíram de maneira diferenciada na identificação de áreas prioritárias à restauração ativa, na região de abrangência da bacia do rio Arauaí.

Para agregação dos mapas critérios, aplicou-se o método de Combinação Linear Pondera (CLP) (VOOGD, 1983; CREPANI, 2001; PEREIRA, 2016), que realiza uma ponderação do conjunto analisado, considerando a importância de cada critério no estudo. Cada critério recebeu um peso particular, conforme descritos na tabela 4.7, a partir de extensas revisões de trabalhos elaborados (CREPANI et al., 2001; VALENTE, 2005; FRANCISCO et al., 2008; FRANCO et al., 2013; PEREIRA, 2016; VALENTE, 2017),

incluindo conhecimento amplo que o autor possui sobre a área de estudo conforme o grau de mudanças na paisagem, conforme salientam Mateo (1984) e Perim e Cocco (2016), sendo descrito na seguinte equação 2:

**Tabela 4.7.** Peso particular dos critérios no mapeamento de áreas prioritárias à restauração na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Critérios</b>	<b>Peso</b>
Uso e Cobertura Potenciais para Restauração Ativa (CTPA)	2,6
Porcentagem de Floresta Primária em Áreas de Reserva Legal (%FP-RL)	2,9
Distância da Floresta Primária (Dist_FP)	2,3
Proximidade com Estradas e Rodovias (Prox_EST)	1,0
Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE)	1,2

**Fonte:** SILVA. T. C. M.

(2)

$$AP_{Ativa} = (CTPA * p + \%FP-RL * p + Dist\_FP * p + Prox\_EST * p + VNE * p)$$

Onde:

$p$  = peso de vulnerabilidade para cada critério;

$AP_{Ativa}$  = Mapa de Áreas Prioritárias à Restauração Ativa;

$CTPA$  = Mapa Critério Cobertura Potenciais para Restauração Ativa;

$\%FP-RL$  = Mapa Critério Porcentagem de Floresta Primária em Reserva Legal;

$Dist\_FP$  = Mapa Critério Distância da Floresta Primária;

$Prox\_EST$  = Mapa Critério Proximidade com Estradas e Rodovias;

$VNE$  = Mapa Critério Vulnerabilidade Natural à Erosão.

### 4.3. Resultados e Discussão

#### 4.3.1. Avaliação dos Critérios

##### 4.3.1.1. Critério: Cobertura e Uso Potenciais à Restauração Ativa (CTPA)

O critério Cobertura e Uso Potenciais à Restauração Ativa (CTPA) mostra quatro classes potenciais à restauração ativa: pasto limpo, agricultura temporária, pasto sujo, floresta degradada e vegetação secundária (Figura 4.2), cada uma contribuiu diferentemente na avaliação multicritério por meio de seus respectivos valores (pesos), atribuídos em relação ao intenso histórico de ocupação por pastagens ou agricultura e localizadas distante das fontes de propágulos, pouca ou nenhum tipo de vegetação arbórea/arbustiva e com estrutura arbórea alterada com o alto grau de desflorestamento.

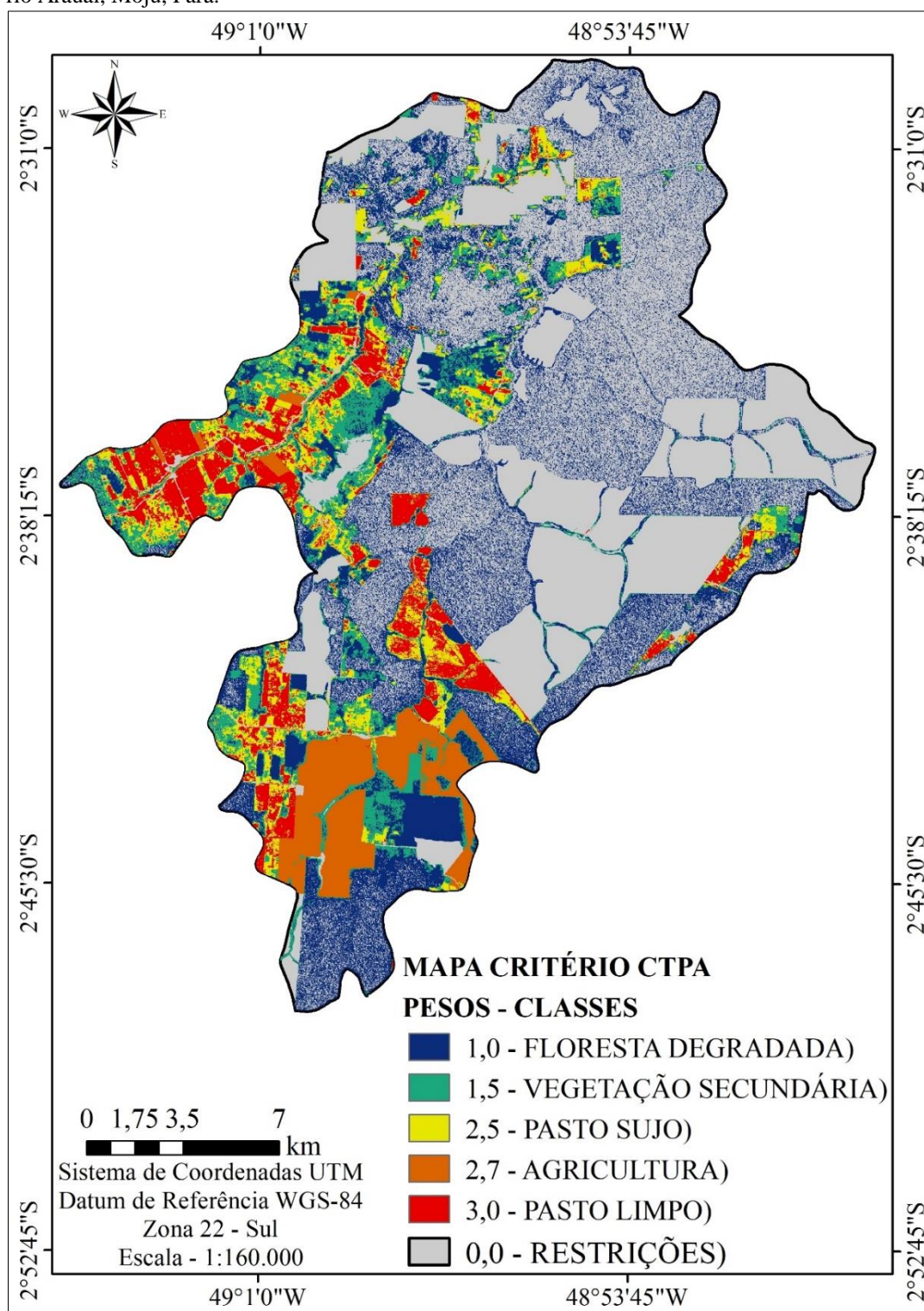
Na região oeste da bacia do rio Arauaí predominam áreas de pastagem (pasto limpo e pasto sujo) representando cerca de 14,54% (67,73 km<sup>2</sup>) da área. As classes pasto sujo e pasto limpo receberam respectivamente pesos 2,5 e 3,0, sendo classificadas como de alta prioridade para restauração ativa. As pastagens degradadas estão mais vulneráveis aos processos degradativos do solo sendo necessário a aplicação de técnicas de manejo e o enriquecimento para suprir a demanda de nutrientes das espécies vegetais que serão introduzidas para restauração dessas áreas.

A falta de cobertura florestal indica a fragilidade ambiental, reforçando a baixa capacidade de resiliência em ambientes de pastagens. O processo de desconstrução da estrutura da cobertura vegetal protetora contribui diretamente para degradação da paisagem da bacia do rio Arauaí, pois a pequena cobertura do solo proporcionada pelos pastos, e culturas agrícolas, não são suficientes para proteger e conservar as características dos solos (FANTINEL; BENEDETTI, 2016), sendo necessária a intervenção humana aplicando práticas de manejo adequadas para a recuperação do solo.

As classes Floresta Degradada e Vegetação Secundária foram classificadas como sendo de baixa prioridade (peso 1,0 e 1,5 respectivamente) para restauração ativa, uma vez que ambas representam ambientes com alta capacidade de regeneração natural em virtude da existência de fontes de propágulos (banco de sementes no solo, chuva de sementes), presença de dispersores, boas condições microclimáticas e edáficas, pouca ou nenhuma ação de predadores e agentes antrópicos, contribuindo para o estabelecimento e ocorrência do processo de sucessão (FARIA et al., 2001).

O termo “floresta degradada” é usado para se referir a áreas de floresta ombrófila densa de terra firme, nas quais houve intervenção humana, como exploração convencional de madeira e/ou queimadas com grande proporção de fontes de ignição (ALMEIDA, 2015), apresenta pequenos e numerosos fragmentos que são reflexo do histórico de exploração na região da bacia do Arauaí. A “vegetação secundária” consiste em áreas com vegetação que cresce após o abandono de cultivos agrícolas em áreas originalmente de florestas, conforme o estudo de Barlow et al., (2007). Na bacia do rio Arauaí, a vegetação secundária se encontra entre as classes de floresta degradada e pasto sujo, constituindo em áreas instáveis que podem ser mais facilmente incorporadas à agricultura (VIEIRA, 1996).

**Figura 4.2.** Mapa critério de Cobertura e Uso da terra Potenciais para Restauração Ativa na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



Fonte: SILVA, T. C. M.

#### 4.3.1.2. Critério: Porcentagem de Floresta Primária em Reserva Legal (%FP-RL)

O termo floresta primária é usado para se referir a floresta ombrófila densa (aluvial, terras baixas e submontana) e floresta ombrófila aberta (cipó) (IBGE, 2012), termo este também utilizado por Berenguer et al., (2014) para se referir a áreas onde não houve histórico de exploração madeireira e indícios de fogo, em um estudo sobre florestas tropicais modificações pelo estoque carbono nos municípios de Santarém, Belterra e Paragominas.

Na Amazônia, as áreas de Reserva Legal (RL) ao longo do arco do desmatamento possuem a função de promover o uso sustentável dos recursos naturais e a conservação da biodiversidade. Atividades econômicas, como o manejo florestal para extração seletiva é permitido em RL sob licenciamento, porém o desmatamento não é permitido (NUNES et al., 2016). Apesar da importância da manutenção da RL para a proteção e restauração de processos ecológicos essenciais, diferentes estudos abordam existência de uma grande quantidade de imóveis rurais com déficit ou passivo de RL (SOARES-FILHO et al., 2014b; SPAROVEK et al., 2012; STICKLER et al., 2013).

Nas bordas da região da Amazônia brasileira existe um passivo ambiental de RL de 7,2 Mha (SOARES-FILHO, 2014). Foram identificadas 336 propriedades com área de reserva legal, sendo constatado que 240 propriedades rurais não estão em conformidade com os requisitos de RL estabelecido na legislação (Lei 12.651/2012). Deste total, 150 propriedades apresentaram até 20% de áreas florestada, e 40 propriedades entre 20 a 40% de cobertura florestal em RL. Esse déficit a ser recuperado corresponde a uma alta prioridade (pesos 3,0 e 2,5 respectivamente) para restauração ativa (Figura 4.3). De acordo com a lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/2012), em 20 anos deve ser concluída a recomposição do passivo ambiental de reserva legal, sendo que a cada dois anos, deverá recompor no mínimo um décimo da área passível de restauração.

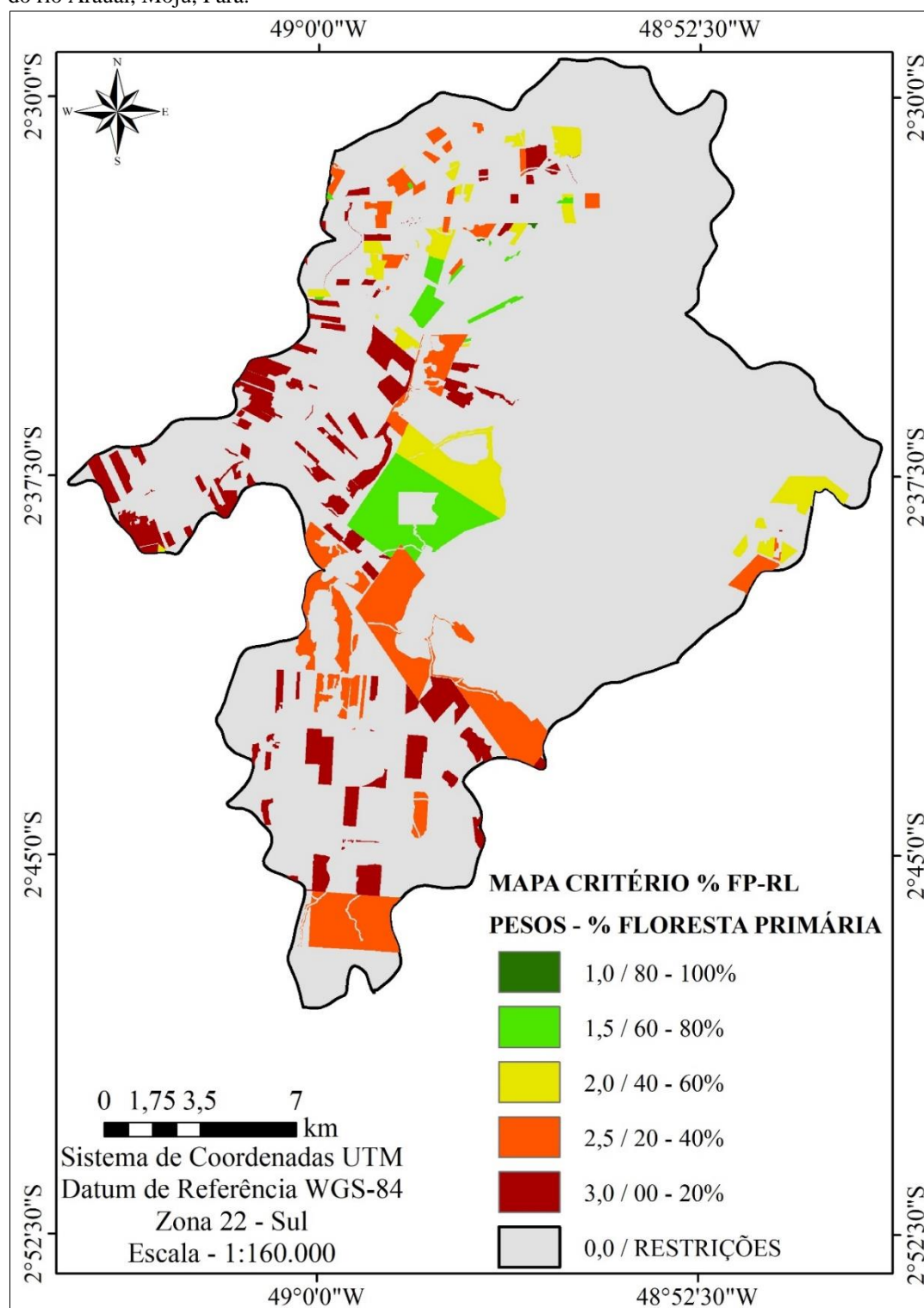
A alta prioridade dessas áreas está vinculada a presença de pastagens (pasto limpo e pasto sujo), que são mais susceptíveis a sofrerem mudanças no uso da terra (ORSI; GENELETTI, 2010), e ocupam 24,55% (211 Mha) do território brasileiro (SPAROVEK, 2011). Na bacia do rio Araguaí, cerca de 70% das propriedades possui pastagens que foram abandonadas em virtude da perda da capacidade produtiva. Estas áreas requerem estratégias específicas para restauração florestal (VALCARCEL; SILVA, 2000), sendo necessária a intervenção por meio da semeadura direta, da qual irá possibilitar a

aceleração do processo de restauração (COLE et al., 2016), plantio de mudas, regeneração natural assistida (controle de espécies invasoras).

A média prioridade (peso 2,0) foi concedida para as 33 propriedades que apresentaram porcentagem de cobertura florestal entre 40 a 60%. Apenas 14 propriedades apresentam RL em conformidade com a legislação ambiental, sendo consideradas de baixa prioridade para restauração ativa (peso 1,0). Nestas propriedades é possível que a restauração passiva seja mais eficaz devido ao baixo passivo ambiental, permitindo o restabelecimento da vegetação resiliente e a conexão de fragmentos de vegetação por meio de corredores ecológicos.

A utilização de vegetação nativa em qualquer estágio de sucessão pode ser considerada alternativa para fins de compensação em áreas de reserva legal, visando à manutenção dos serviços ecossistêmicos e o fortalecimento da conservação da biodiversidade endêmica regional (NUNES et al., 2016). Os serviços ecossistêmicos prestados pela vegetação natural das áreas de RL são muitas vezes restritos ao imóvel de exploração agrícola e ao seu entorno, como o controle natural de pragas e doenças e a amenização dos efeitos provocados pela estiagem (SILVA et al., 2011).

**Figura 4.3.** Mapa critério da Porcentagem de Floresta Primária em Áreas de Reserva Legal na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



Fonte: SILVA, T. C. M.

#### 4.3.1.3. Critério: Distância da Floresta Primária (Dist\_FP)

Os grandes fragmentos de floresta primária na bacia do rio Arauaí, estão localizados no lado leste da bacia. No entanto, no lado oeste, a paisagem é ocupada principalmente por pastagens abandonadas e plantações agrícolas (dendeicultura), áreas que foram intensamente manejadas ao longo do tempo, com ocorrência de gramíneas agressivas que impedem a sobrevivência e crescimento de plântulas de espécies florestais, comprometendo a capacidade de resiliência (HOLL, 2007).

Próximos às pastagens e plantios, estão situados pequenos fragmentos de vegetação nativa remanescente e vegetação sucessional (capoeira), porém não produzem propágulos de sementes suficientes para que ocorra naturalmente o processo de regeneração natural, sendo necessária a intervenção humana para o preparo inicial da área a ser restaurada, remoção ou diminuição dos fatores de degradação e monitoramento constante até o estabelecimento da vegetação (MORRISON; LINDEL, 2011).

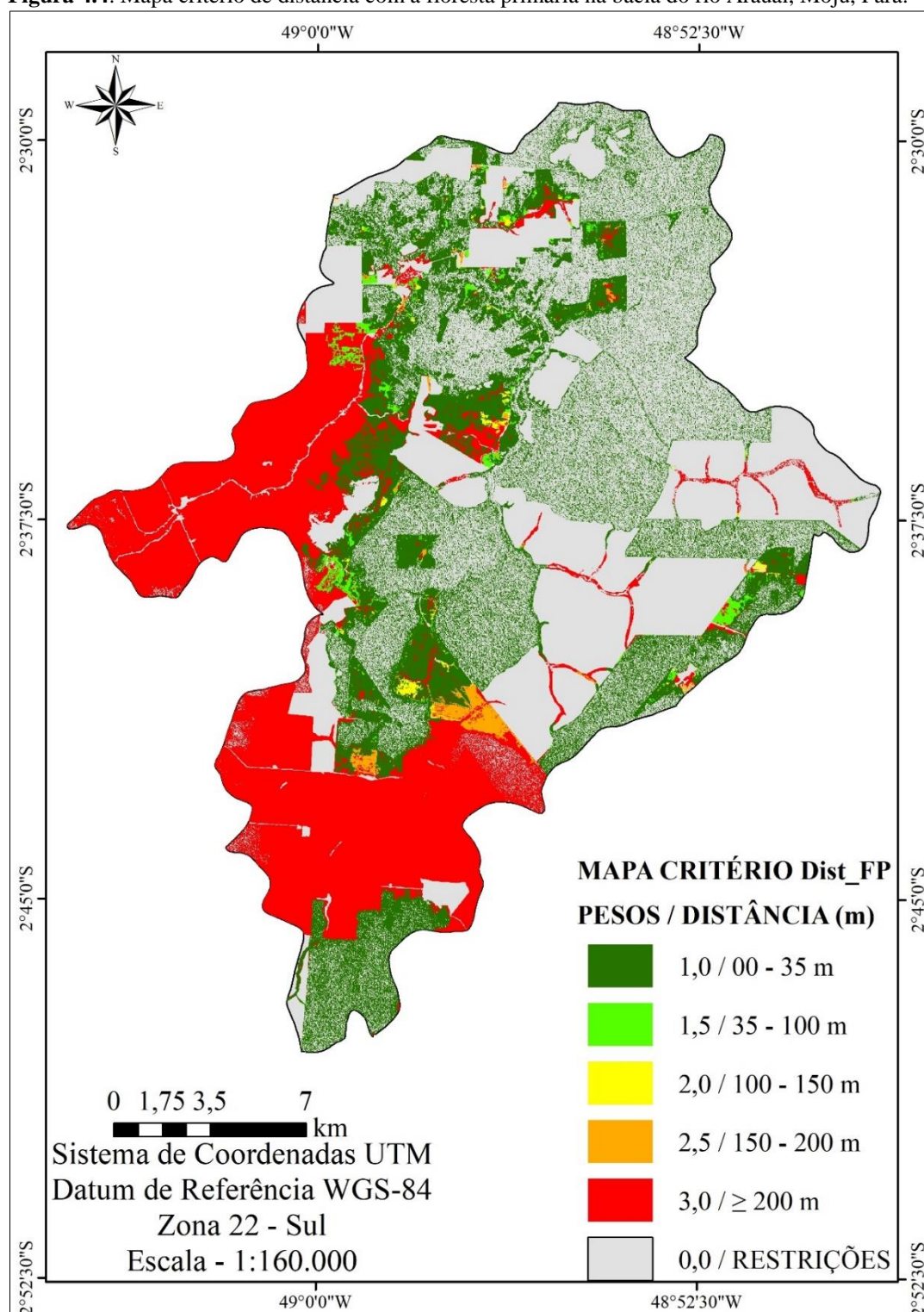
A intervenção requer ações, como a semeadura direta e o plantio de mudas de espécies florestais, eliminação de plantas invasoras (algumas gramíneas). Estas técnicas adotadas podem variar de acordo com o nível de degradação (RODRIGUES; GANDOLFI, 2000).

Grandes distâncias entre os remanescentes florestais e áreas passíveis de restauração, a regeneração natural não pode ser considerada uma opção para restauração da biodiversidade (GÜNTER et al., 2007). Entretanto, pastagem degradada e agricultura abandonada muito afastadas dos fragmentos florestais, combinadas com a menor entrada de sementes causada pela crescente fragmentação são consideradas áreas potenciais para restauração ativa (CUBIÑA; AIDE 2001, MYSTER, 2004).

No critério Dist\_CTPA foram consideradas as áreas potenciais para restauração ativa definidas pelo critério CTPA, recebendo maior prioridade (3,0) para restauração ativa, áreas localizadas distantes dos fragmentos floresta primárias ( $\geq 200$  m) (Figura 3.5). Quanto maior a distância dos fragmentos vegetação nativa (floresta primária), menor a ocorrência de chuva de sementes. Em contrapartida, áreas próximas a floresta (00 – 35 m) receberam menor peso (1,0), pois recebem alto índice de sementes dos fragmentos de florestas, o que acelera e aumenta a capacidade de regeneração natural (Figura 4.4)



**Figura 4.4.** Mapa critério de distância com a floresta primária na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



**Fonte:** SILVA, T. C. M.

#### 4.3.1.4. Critério: Proximidade com Estradas e Rodovias (Prox\_EST)

A bacia do rio Arauaí é considerada uma região que apresenta uma sólida economia comandada pelo cultivo de palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq) desde o ano de 1982, liderada pelo grupo Agropalma (ALMEIDA, 2015), esse crescimento econômico, tornou as estradas e rodovias não pavimentadas, que surgiram a partir da PA-150, o principal meio de mobilidade e de escoamento de produção.

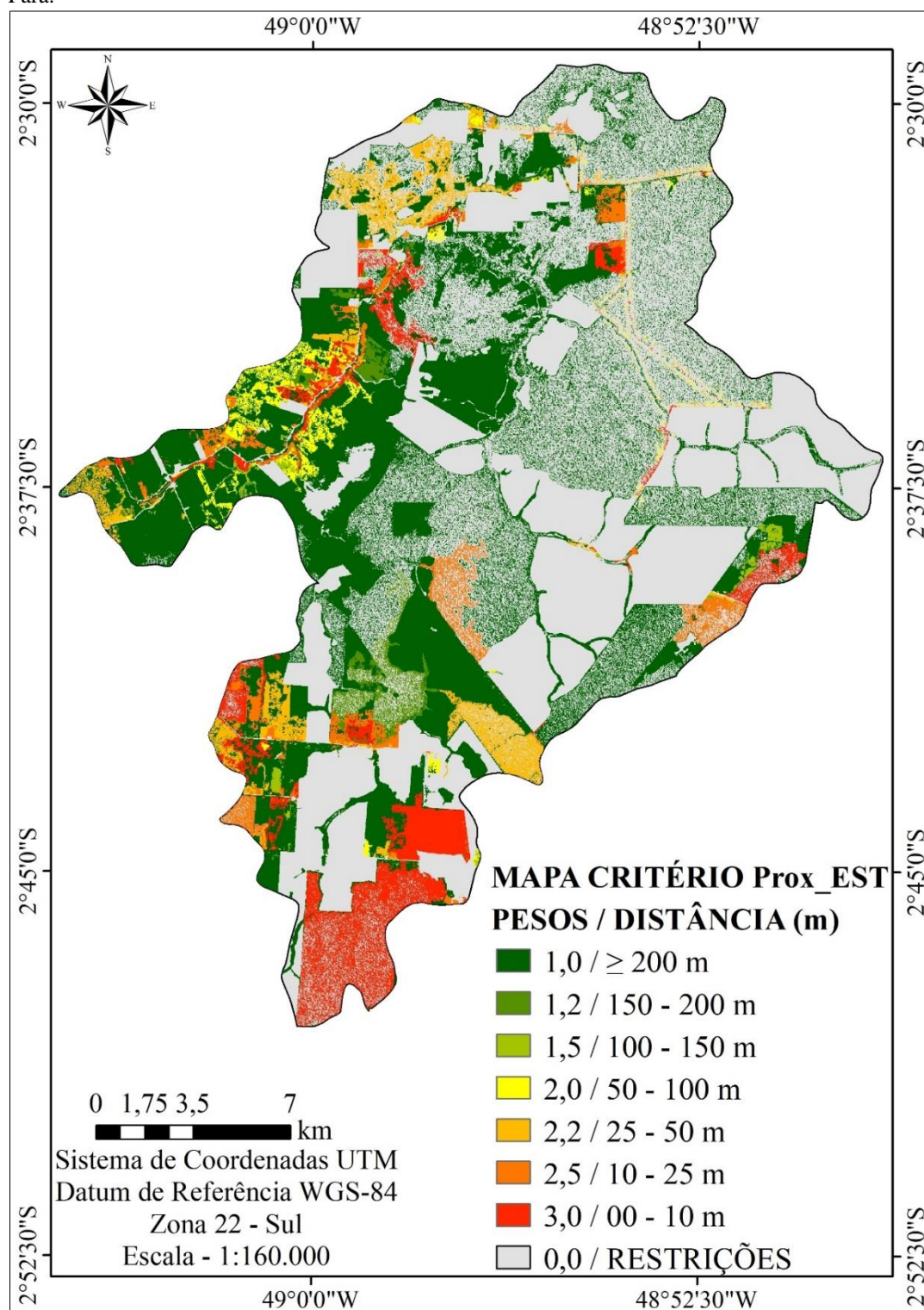
As estradas e rodovias da bacia do rio Arauaí não apresentam pavimentação asfáltica, são estradas de terra batida, que recebem pouca infraestrutura. Grande parte de trechos de estradas passam por áreas de pastagens e áreas de agricultura (plantio de palma de óleo). Estes trechos recebem um grande fluxo de veículos pesados, por conta do escoamento do produto de palma de óleo e exploração madeireira. Poucos trechos de estradas na bacia do rio Arauaí apresentam vegetação florestal adjacentes, a maioria deste estão degradados em consequência da retira ilegal de madeira.

A construção de estradas transforma significativamente a paisagem, causando grande impacto ambiental para os ecossistemas do entorno, essas mudanças e outras atividades relacionadas, podem afetar indiretamente o fluxo hídrico em bacias hidrográficas (FAO, 1989; LUGO; GUCINSK, 2000). As áreas potenciais para restauração ativa do critério CTPA, situadas próximas as estradas e rodovias estão sujeitas a incêndios, desmatamento, baixa resiliência da regeneração natural, o que requer um tratamento adequado para restauração destas áreas.

Para que ocorra a restauração de áreas próximas a estradas e rodovias faz necessário o estabelecimento de dessas áreas é necessário o isolamento de fatores que impeçam o processo de regeneração natural. De forma a garantir o sucesso da recuperação de áreas degradadas é importante que sejam priorizadas as regiões mais distantes da malha viária (VALENTE, 2005).

No critério Prox\_CTPA foram consideradas as áreas potenciais para restauração ativa definidas pelo critério CTPA, recebendo maior prioridade (3,0) para restauração ativa, áreas localizadas próximas as estradas e rodovias (00 - 10 m) (Figura 4.5), sendo que quanto maior a proximidade das estradas com as áreas passíveis de restauração ativa, maior será o nível de degradação (VALENTE, 2005).

**Figura 4.5.** Mapa critério de Proximidade com as Estradas e Rodovias na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



Fonte: SILVA, T. C. M.

#### 4.3.1.5. Critério: Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE)

O critério VNE classificou a bacia do rio Arauaí como sendo de vulnerabilidade média, apresentando cerca de 86% da área total da bacia variando entre baixa a alta vulnerabilidade (Figura 4.6).

Sobre a declividade, a bacia possui declividade variando de 2 – 28%, predominando áreas com declividade muito baixa e baixa (82,69% da área total da bacia), estando pouco vulneráveis ao deslocamento de massa por erosão (PEREIRA, 2016). O grau de declividade está relacionado com os fatores pedológicos (infiltração, escoamento superficial, umidade, porosidade e permeabilidade) (BARROS et al., 2014; LUIZ et al., 2015).

A composição pedológica da bacia do rio Arauaí, tem como tipologia predominante o Plintossolo Argilúvico Distrófico, ocupando uma área de 289,66 km<sup>2</sup> (62,18%), apresenta elevada erodibilidade, pouco drenados e desenvolvidos, sendo atribuído maiores valores de vulnerabilidade (peso 3). O Latossolo Amarelo Distrófico e a segunda maior classe pedológica, com estabilidade elevada é uma classe que de baixa vulnerabilidade (peso 1). A tipologia Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico responsável por ocupar apenas 7,04 km<sup>2</sup> (1,51%) em geral são solos minerais profundos e mal drenados, caracterizando uma área de risco moderado, lhe conferindo uma média vulnerabilidade (peso 2) (CARMO; MORAES, 2008; SEMAS, 2012; PEREIRA, 2016).

No que se refere a validação da classificação da Cobertura Vegetal e Uso da Terra, foi escolhido o Índice Kappa para validar a acurácia da classificação por ser mais sensível as variações de erros e omissão e inclusão (COHEN, 1960). A classificação foi validada através da matriz de erro, que consiste em um indicativo da veracidade da classificação (VIEIRA, et al., 2003; ALMEIDA; VIEIRA, 2008). Ao obter a exatidão global de 90,1% e o índice de Kappa de 0,9, percebe-se por esses altos valores que a classificação foi satisfatória.

As classes floresta primária, floresta degradada e vegetação secundária foram classificadas como sendo de baixa vulnerabilidade (peso próximos de 1,0), em razão de proporcionar maior proteção sobre o solo no que se refere as intempéries. Estas três classes, representam 58,28% da área da bacia, isto pode ser explicado em consequência da expansão das atividades econômicas ligadas ao setor agropecuário as áreas de florestas reduzidas progressivamente, pela pressão do desmatamento, o qual abre caminho para novas frentes agropecuárias na região da bacia do rio Arauaí (ALMEIDA, 2015),

A classe dendeicultura foi classificada como sendo de média vulnerabilidade (peso 1,5) por oferecer ao solo certo grau de cobertura e ser uma cultura produtiva de longo prazo, entretanto esta cultura não deve ser considerada de baixo impacto para restauração ecológica, pois extensos plantios homogêneos não contribuem para conservação da biodiversidade (LEES; VIEIRA, 2013). No estado do Pará, a dendeicultura, também chamada de palma de óleo, ocupa cerca de 150 Mha, possui grande valor econômico, tendo em vista a grande demanda pelo seu principal produto (óleo de palma) no mercado nacional e internacional. No município de Moju é observado no aumento de áreas de dendezeiro de 7,1 Mha para 34,6 Mha entre o período de 2010 a 2013 (IBGE, 2017). As questões relacionadas ao reflorestamento baseadas unicamente em monoculturas em escala industrial, raramente propiciam benefícios relacionados a restauração da funcionalidade da paisagem e ao apoio da biodiversidade (BARLOW et al., 2007; LAMB, 2014).

As classes agricultura temporária, pasto sujo, pasto limpo e solo exposto foram classificados como sendo de muita alta vulnerabilidade (próximo ao peso 3,0), pois para o critério VNE representam ambientes de elevada fragilidade ambiental. Estas classes constituem cerca de 20,53% da área total da bacia do rio Aruaí, dessa forma, compõem as áreas de maior preocupação ambiental devido à instabilidade do solo, devido a pouca ou nenhuma cobertura vegetal natural. Os danos relacionados a conversão dos ambientes naturais em áreas antropizadas, são a causa das alterações sistemáticas no meio ambiente, como por exemplo as perdas por erosão hídrica (SANTOS; MARTINS, 2016).

Analisando a dinâmica de uso da terra na bacia do rio Aruaí observa-se claramente a substituições de floresta por pastagem e de áreas de florestas sucessionais para cultivo agrícolas, em especial o dendezeiro. Estas mudanças foram estabelecidas na região a partir de políticas públicas para incentivar tal cultura, causando expressivas modificações na paisagem (IGAWA et al., 2015). A conversão de florestas para usos da terra com objetivo de formação de monoculturas em larga escala leva ao empobrecimento da paisagem florestal (ALMEIDA, 2015).

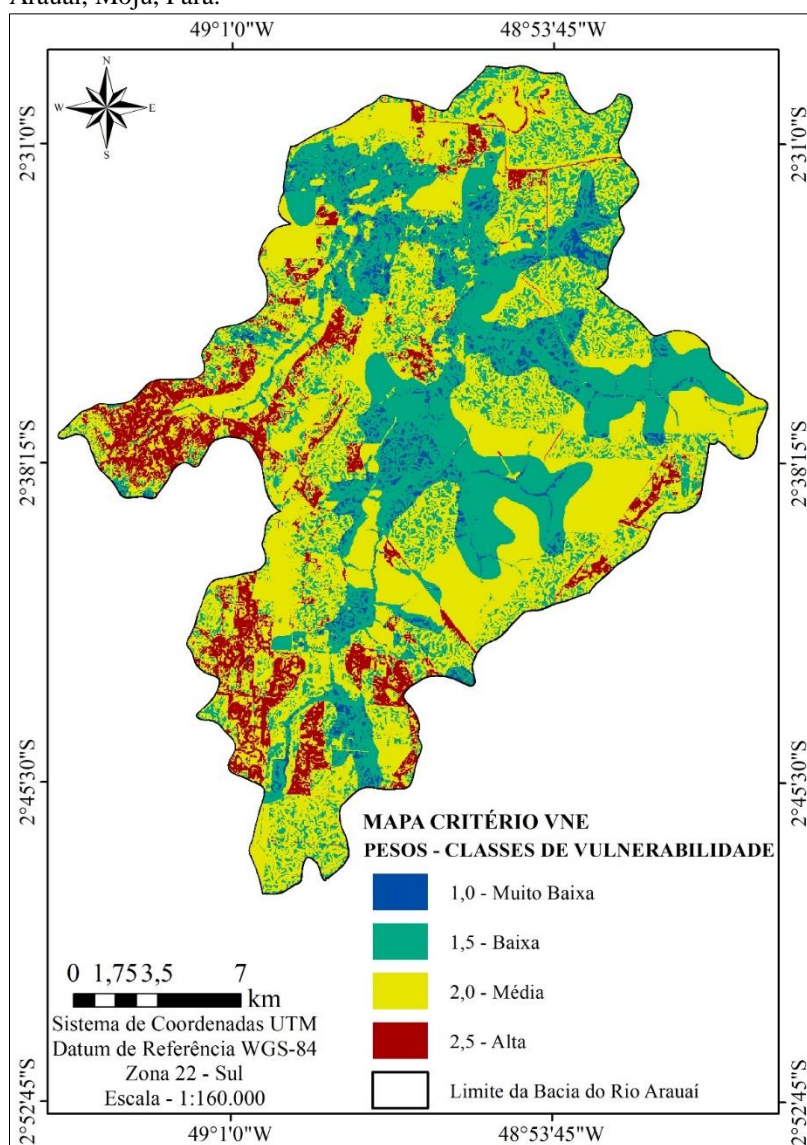
A Geologia, é formada por apenas uma constituição geológica, a Cobertura Detrito - Laterítica Pleistocênica. Esta unidade é classificada como alta vulnerabilidade (peso 3,0), Leite e Rosa (2013), também classificaram esta unidade como altamente vulnerável em um estudo sobre a caracterização de unidades de paisagem na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO. As Coberturas Detrito - Laterítica Pleistocênica estão associadas a sedimentos argiloarenosos amarelados, caulíníticos, alóctones e autóctones, parcial a



totalmente pedogeneizados, também são encontradas nas áreas próximas aos vales, principalmente naquelas em processo de retomada de erosão (CAVALCANTE, 2005),

Foram identificadas três unidades geomorfológicas distintas em vulnerabilidade: Pediplano Retocado Inumado, caracterizado como de baixa vulnerabilidade (peso 1,0), ocupando praticamente toda a área da bacia (99,34%), com áreas apresentando um relevo que varia do plano ao levemente ondulado. As classes Planos Abaciados de Inundação e o Planície de Terraços Fluviais foram caracterizadas como vulnerabilidade mediana (peso 2,0) e alta vulnerabilidade (peso 3,0) respectivamente (SOUSA et al., 2016).

**Figura 4.6.** Mapa de Vulnerabilidade Natural à Erosão da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



**Fonte:** SILVA, T. C. M.

#### 4.3.2. Avaliação das Áreas Prioritárias

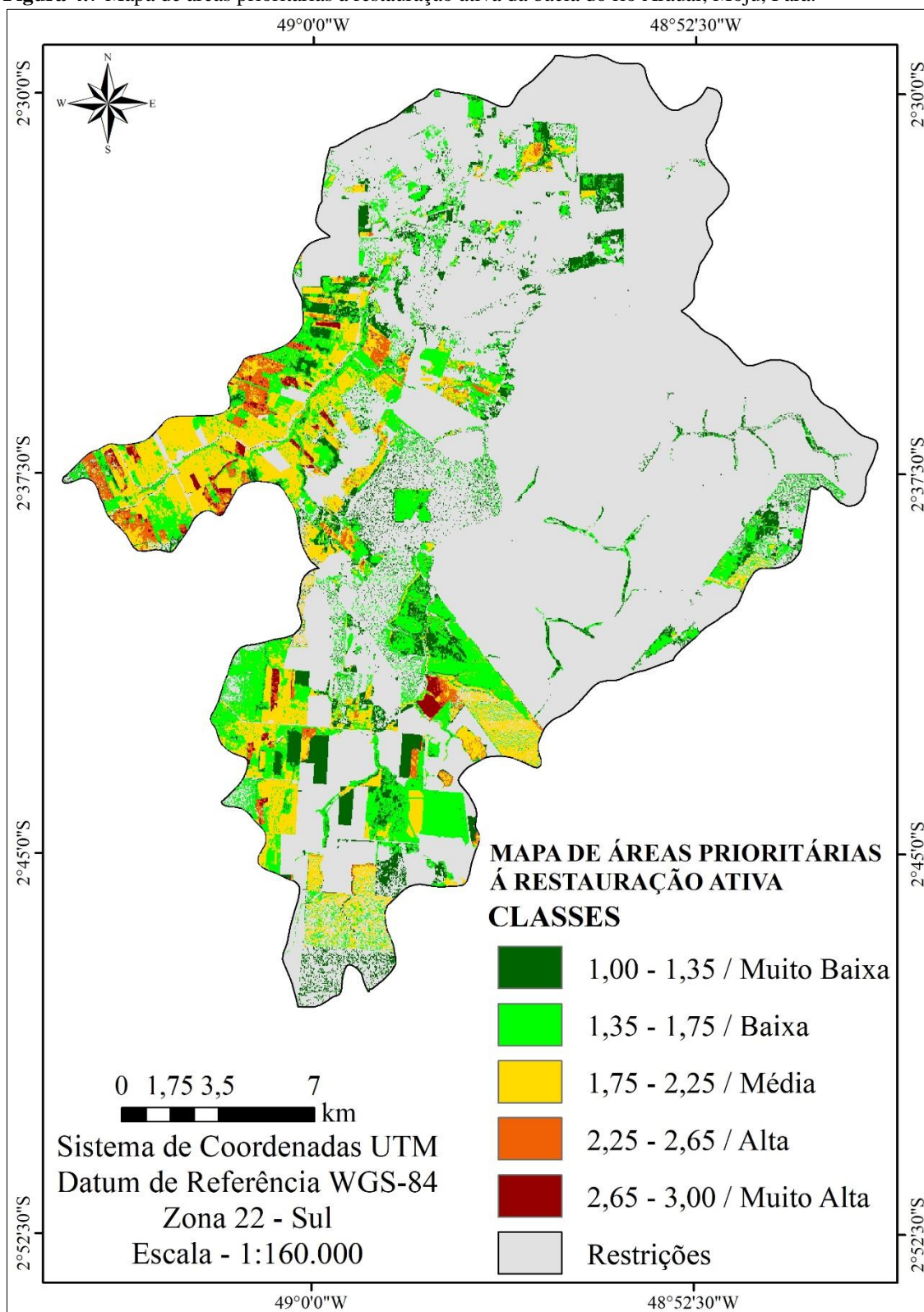
A prioridade para restauração ativa partiu da integração dos cinco critérios: Uso e Cobertura Potenciais para Restauração Ativa (CTPA); Porcentagem de Floresta Primária em Áreas de Reserva Legal (%FP-RL); Distância da Floresta Primária (Dist\_FP); Proximidade com Estradas e Rodovias (Prox\_EST) e Vulnerabilidade Natural à Erosão (VNE), resultando em uma análise multicriterial, que demonstrou o estado de resiliência ambiental, definindo o grau prioritário para restauração ativa, gerando assim informações que poderão servir de base para construção e planejamento de políticas públicas para a restauração ecológicas.

**Tabela 4.8.** Distribuição das classes de prioridade de restauração ativa, segundo a análise multicritério usada para bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.

<b>Classificação da Prioridade</b>	<b>Grau de Prioridade</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>% na BHRA</b>
Restrições	-	323,62	-
Muito Baixa	1,00 – 1,35	31,13	21,89
Baixa	1,35 – 1,75	54,76	38,51
Média	1,75 – 2,25	45,25	31,82
Alta	2,25 – 2,65	7,96	5,59
Muito Alta	2,65 – 3,00	3,11	2,19
Total	-	465,82	100

**Fonte:** SILVA, T, C. M.

**Figura 4.7** Mapa de áreas prioritárias à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



Fonte: SILVA, T. C. M.



A distribuição espacial das classes prioritárias para restauração ativa da paisagem da bacia do rio Arauaí (Figura 4.7) está expressa de forma numérica pela tabela 4.8 da seguinte forma:

I. Prioridade Muito Baixa (1,00 – 1,35): caracterizada pela cor verde escuro, esta classe ocupa uma área de 31,13 km<sup>2</sup> na bacia do rio Arauaí. Este grau prioritário se dá em virtude da combinação dos cinco critérios presentes nesta classe. O critério VNE atribui 17,22 km<sup>2</sup> (55,37%) a média vulnerabilidade natural à erosão, pois apresentam declividade variando de 6 a 20% com predominância de Latossolo Amarelo. Áreas de floresta degradada são o tipo de cobertura potencial a restauração ativa predominante nesta classe, responsáveis por ocupar 34% (10,58 km<sup>2</sup>), apresentando baixa prioridade de restauração. As áreas de reserva legal possuem até 20% de cobertura florestal, juntas representam 9,53% (2,97 km<sup>2</sup>), conferindo uma alta prioridade, contribuindo pouco para esta classe. A baixa prioridade desta classe também é devido a 11,06 km<sup>2</sup> (35,54%) das áreas potenciais à restauração ativa (critério CTPA) estarem localizadas a uma distância igual ou maior do que 200 m de fragmentos de floresta primária e 14 km<sup>2</sup> (45%) das áreas potenciais estarem próximas das estradas e rodovias (0 – 35 m);

II. Prioridade Baixa (1,35 – 1,75): esta classe é representada pela cor verde claro, a qual indica uma área de 54,76 km<sup>2</sup>, apresentando média vulnerabilidade natural à erosão (critério VNE), esta classe predominam os tipos de cobertura como floresta degradada, vegetação secundária potenciais para restauração ativa (critério CTPA) ocupando 27 km<sup>2</sup> (15%) cada. Quanto as áreas de reserva legal, somam 42,82 km<sup>2</sup> (78,2%) de áreas de reserva legal com baixa prioridade de restauração, com porcentagem de floresta primária variando entre 80 a 100%, existindo pouco ou nenhum passivo ambiental a ser compensado nestas propriedades. Os fragmentos florestais nesta classe (critério Dist\_FP) estão localizadas a mais de 200 m de distâncias das áreas potenciais para restauração ativa, indicando uma área de 31 km<sup>2</sup> (56,58%) o que representa 56,58% da área total desta classe, tendo pouca representatividade nesta classe. As áreas próximas as estradas e rodovias (critério Prox\_EST) indicam 32,66 km<sup>2</sup> (59,65%) de áreas potenciais a restauração ativa, estando situadas a mais de 200 m de distância estradas;

III. Prioridade Média (1,75 – 2,25): a cor amarela caracteriza esta classe que abrange 45,25 km<sup>2</sup>. A maior parte desta classe apresenta vulnerabilidade natural à erosão (critério VNE) variando de média a alta, correspondendo a 38,23 km<sup>2</sup>

(84,61%). Quanto ao critério CTPA, as áreas de pasto limpo predominam nesta classe e ocupam 28,42 km<sup>2</sup> (62,8%) possuindo alta prioridade para restauração ativa. Quanto as áreas de reserva legal em propriedades rurais, também apresentam alta prioridade, totalizando uma área de 17,38 km<sup>2</sup> (38,41%) com até 20% de cobertura florestal. O critério Dist\_FP contribuiu fortemente para esta classe, devido a 36 km<sup>2</sup> (78%) das áreas potenciais para restauração ativa estarem situadas a mais de 200 m de distância de fragmentos de floresta primária. O critério Prox\_EST foi o que menos contribuiu nesta classe, pois 26 km<sup>2</sup> (57,6%) das áreas potenciais para restauração ativa estão localizadas a mais de 200 m de distância das estradas e rodovias;

IV. Prioridade Alta (2,25 – 2,65): indicada pela cor alaranjada e abrange 7,96 km<sup>2</sup> (5,59%), esta classe apresenta média VNE, responsável por ocupar creca de 60% da área desta classe. O critério CTPA é o que menos contribui para esta classe, apresentando uma baixa prioridades devido a cobertura vegetal dominante, ocupando 3,68 km<sup>2</sup> (46,3%) de vegetal secundária. Entretanto o alto grau prioritário é reforçado pelos critérios %FP-RL e Dist\_FP, onde ambos atribuem alta prioridade para esta classe. Cerca de 7,31 km<sup>2</sup> (91,81%) são áreas de reserva legal com até 20% de cobertura florestal e 6,75 km<sup>2</sup> (84,79%) de áreas com 200 metros ou mais de distância de fragmentos de floresta primária. A distância das estradas e rodovias não obteve representatividade significativa para este critério, pois houve uma predominância de áreas (5,02 km<sup>2</sup> - 63,05%) muito distantes ( $\geq 200$  m) das estradas e rodovias (critério Prox\_EST), contribuindo com baixa prioridade para esta classe;

V. Prioridade Muito Alta (2,65 – 3,00): representada pela cor vermelha, ocupa uma área de 3,11 km<sup>2</sup> na bacia do rio Arauaí. Esta classe possui média vulnerabilidade natural à erosão (1,69 km<sup>2</sup> - 54,4%). Os critérios CTPA, %FP-RL e Dist\_FP, foram os que mais contribuíram para o alto grau prioritário da classe, ocupando respectivamente 1,85 km<sup>2</sup> (60%), 2,9 km<sup>2</sup> (93,32%) e 3,02 km<sup>2</sup> (97%), indicando áreas com alto potencial (peso 3,0) para restauração ativa. O critério Prox\_EST obteve pouca relevância, pois foi constatado uma grande distancias ( $\geq 200$  m) das estradas e rodovias.

Neste estudo, alguns fatores (variáveis) não tiveram importância ou participaram parcialmente na determinação de áreas para restauração ativa, tais como: floresta primária, campinarana, dendeicultura (palma de óleo), solo exposto e água, sendo considerados como restrições na construção dos critérios. A campinarana ou campos naturais são áreas de vegetação natural não arbórea. O fator floresta primária participou

da análise de maneira parcial, pois apresenta vegetação estruturalmente estabelecida, servindo de delimitador de restauração para os critérios Dist\_FP e Prox\_EST. A dendeicultura não participou desta análise por consistir em áreas produtivas de agricultura permanente. O fator solo exposto é representado por áreas urbanas (vilas) e estradas (vicinais).

A análise de áreas prioritárias à restauração ativa, possibilitou classificar a bacia do rio Arauaí como sendo de média prioridade, o que corresponde a mais de 70% (prioridade baixa e média) da área da bacia do rio Arauaí. Esta porcentagem expressa, fortes intervenções sobre cobertura vegetal natural, transformando em áreas de uso como pecuária e principalmente agricultura, tornando a paisagem mais fragmentada, afetando a capacidade de resiliência e na disponibilidade dos recursos naturais, dos serviços ambientais e na biodiversidade (LEES et al., 2015).

O uso de técnicas de restauração ativa deve ser baseado nas características do local e da paisagem (MORRISON; LINDELL, 2011). Na bacia do rio Arauaí as áreas de pastagem (pasto limpo e pasto sujo) receberam alta prioridade para restauração ativa, pois apresentam a capacidade de resiliência comprometida. São áreas onde se desenvolvem atividades produtivas, e apresentam cobertura de vegetação nativa insuficiente, tornando o solo mais vulnerável aos processos erosivos.

As áreas de pasto limpo, são destinadas as práticas de agricultura ou da pecuária extensiva e ocupam grandes áreas (ALMEIDA, 2015), as áreas de pasto sujo são formadas por estágios intensos de degradação, com produtividade comprometida e predomínio de plantas colonizadoras com presença de palmeiras e arbustos (ALMEIDA; VIEIRA, 2008),

No entanto, também há ocorrência de fragmentos de vegetação secundária e fragmentos de floresta degradada, dos quais apresentam pouca importância para restauração ativa, pois são áreas que apresentam processo de dispersão e chuvas de sementes e fluxo gênico entre as áreas contínuas possibilitando a colonização e estabelecimento de espécies vegetais em áreas próximas (MARTINS, 2009).

#### 4.4. Conclusão

Neste trabalho foi possível alocar de maneira simplificada áreas prioritárias à restauração ativa usando a análise multicritérios associada ao SIG, permitindo o uso de vários fatores com flexibilidade.

O diagnóstico da cobertura vegetal e uso da terra proporcionou a seleção e elaboração de 5 critérios na identificação de áreas prioritárias à restauração florestal pelo método de restauração ativa.

Os critérios selecionados foram de fácil manipulação no Sistema de Informação Geográfica (SIG) e permitiram gerar informações norteadoras que poderão auxiliar políticas públicas para fins de gestão ambiental.

Associada ao SIG, a análise multicriterial integrada a técnicas de geoprocessamento possibilitou a espacialização dos critérios biofísicos. O método de “Combinação Linear Ponderada” (CLP) permitiu a combinação dos critérios por meio de pesos (valores) atribuídos em função do grau de importância para priorização de restaurar de forma ativa.

A bacia do rio Arauaí mostra 39,6% das áreas prioritárias à restauração ativa com as seguintes características: média vulnerabilidade à erosão, áreas com pasto limpo, estando distante da floresta primária e próximo estradas e rodovias e, a porcentagem de cobertura florestal variando de 0 a 20% em áreas de RL. Áreas com estas características são prioritárias para aplicação de métodos de restauração ativa proporcionando a eficiências no alcance do objetivo em projetos de restauração.

Os mapas critérios produzidos podem ser utilizados individualmente como ferramenta de gestão ambiental, mas visto que o ambiente é uma integração de critérios, recomenda-se a utilização de todos os critérios selecionados para esta análise multicriterial. O mapa de áreas prioritária a restauração ativa, pode ser utilizado como uma referência para gestão ambiental, contribuindo de forma técnica e sistemática para planos de restauração nesta bacia hidrográfica no contexto da legislação e normas ambientais e das políticas públicas vigentes.

A metodologia utilizada neste trabalho poderá ser usada como ponto de partida para futuros trabalhos abrangendo áreas de grande extensão territorial, agregando aos aspectos biofísicos, análises de aspectos socioeconômicos e ambientais.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de São Francisco do Pará (Pará, Brasil) com o uso da técnica de sensoriamento remoto. **Ciências Naturais**, v. 3, n. 1, p. 81-92, 2008.
- ALMEIDA, A. S. de. **Mudanças de uso da terra em paisagens agrícolas com palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e implicações para a biodiversidade arbórea da Amazônia**. 2015. 116p. Tese (Doutorado – Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2015.
- ARONSON, J.; ALEXANDER, S. Ecosystem restoration is now a global priority: time to roll up our sleeves. **Restoration Ecology**, 21: 293-296. 2013.
- BARROS, C. A. P.; MINELLA, J. P. G.; TASSI, R.; DALBIANCO, L. Estimativa da infiltração de água no solo na escala da bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 557 – 564, 2014.
- BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A.; ARAGÃO, L. E. O. C.; CAMARGO, P. B. de.; CERRI, C. E.; DURIGAN, M.; OLIVEIRA, R. C. D.; VIEIRA, I. C. G.; BARLOW, J. A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forests. **Global Change Biology**, 20, p. 3713-3726, 2014.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração florestal**. São Paulo: Oficina de Texto, 2015.
- BARLOW, J. T.A.; GARDNER, I. S.; ARAUJO, T. C.; AVILA PIRES, A. B.; BONALDO, J. E.; COSTA, C. A. P. Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary, and plantation forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA 104: p. 18555–18560, 2007.
- CARMO, L. F. Z. do.; MORAES, R. N. de S. **Diagnóstico dos tipos de solos do município de Rio Branco – AC**. (Ed.) Rio Branco: PMRB, (Boletim Técnico, 001). 62p. 2008.
- CAVALCANTE, L. M. **Zoneamento geológico e geomorfológico de uma área entre Assis Brasil e Brasiléia – Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 21p. 2005.
- CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, v. 48, p. 844–55, 2016.
- CREPANI, E. M.; et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: 124p. INPE, 2001.
- COLE, T. C. H.; HILGER, H. H.; CARVALHO, F. A. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV, **Botanical Journal of the Linnean Society**, n. 181, p. 1–20, 2016.
- COHEN, J. A. Coefficient of agreement for nominal scale. **Educational and Measurement**, v. 20, n. 1, p. 37 – 46, 1960.

CUBIÑA, A. AIDE, T. M. The effect of distance from forest edge on seed rain and soil seed bank in a tropical pasture. **Biotropica**, 33 (2): 260-267, 2001.

DIAS, C. R. **Poleiros artificiais como catalisadores na recuperação florestal**. 2008. 1 – 17p. Monografia de Graduação (Curso de Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

FANTINEL, R. A.; BENEDETTI, A. C. P. Avaliação dos fatores influentes na vulnerabilidade à erosão do solo por meio de decisão multicritério e de técnicas de geoprocessamento no município de Piratini – RS. **Ciência e Natureza**, v. 38, n. 1, p. 156 – 163, 2016.

FAO. **Watershed management field manual: road design and construction in sensitive watersheds**. Rome: FAO Consultation Guide. 13/5, 196p. 1989.

FARIA, H. H.; SÉRGIO, F. C.; GARRIDO, M. A. O. Recomposição da vegetação ciliar integrada à conservação de microbacia. **Revista do Instituto Florestal**, n. 21, p. 1-22, 2001.

FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A. Identification of Suitable Areas for Forest Recovery Based on Principles of Landscape Ecology. **Revista árvore**, v. 27, p. 575-583, 2003.

FRANCISCO, C. E. S.; et al. Análise multicriterial na seleção de bacia hidrográfica para recuperação ambiental. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 1-13, 2008.

FRANCO, R. A. M.; HERNANDEZ, F. B. T.; MORAES, J. F. L. de. O uso da análise multicritério para a definição de áreas prioritárias a restauração de Áreas de Preservação Permanente (APP), no nordeste paulista. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...INPE**, p. 3366-3373, 2013.

GÜNTER, S.; WEBER, M.; ERREIS, R.; AGUIRRE, N. Influence of distance to forest edges on natural regeneration of abandoned pasture: a case study in the tropical mountain rain forest of Southern Ecuador. **European Journal of Forest Research**, 126: 67 – 75, 2007.

HOLL, K. D. Research Directions in Tropical Forest Restoration. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, 102 (2), p. 237-250, 2017.

HOLL, K. D. Restoring Tropical Forest. **Nature Education**, 4(4):4, 2013.

HOLL, K. D. Old field vegetation succession in the Neotropics. In: CRAMER, V. A.; HOBBS, R. J. (Eds.). **Old Fields: Dynamics and Restoration of Abandoned Farmland**. Island Press, Washington, p. 93–117, 2007.

IGAWA, T. K., DIAS, F. G., SOUSA, T. G. de. Análise da expansão da dendeicultura no município de Tailândia: Um estudo de caso dos anos de 1991 a 2006. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, João Pessoa-PB. 2015. **Anais... João Pessoa. INPE**, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª ed. revisada e ampliada. 271p. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geociências:** downloads. Disponível em: <[https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em 14 de maio de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Banco de Dados Agregados.** Sistema de Recuperação Automática – SIDRA. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso: 15 abril 2017.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP); INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. **Programa Municípios Verdes:** diagnóstico da gestão ambiental dos municípios paraenses. Belém, 53 p. 2013.

JORGENSEN, D. Ecological restoration as objective, target, and tool in international biodiversity policy. **Ecology and Society**, 2015. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol20/iss4/art43/>. Acesso em: 26 fev. 2016.

LAMB, D. Large-scale forest restoration. **Routledge**, London, 2014.

LEES, A. C.; MOURA, N. G.; ALMEIDA, A. S. DE.; VIEIRA, I. C. G. Poor Prospects for Avian Biodiversity in Amazonian Oil Palm. **PLoS ONE**, 10 (5), 2015.

LEES, A. C.; VIEIRA, I. C. G. Oil-palm concerns in Brazilian Amazon. **Nature**, v. 497, p. 188, 2013.

LEITE, E. F. ROSA, R. Determinação e caracterização de unidades de paisagem natural na Bacia Hidrográfica do Rio Formiga-TO a partir de técnicas de geoprocessamento. XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. p. 4217 – 4225, 2013.

LUGO, A. E.; GUCINSK, H. Function, effects and management of forest roads. **Forest Ecology and Management**, n. 133, p. 249 – 262, 2000.

LUIZ, T. E.; LIMA, E. B. N. R.; SALOMÃO, F. X. T. Morfopedologia aplicada à concepção de obras em microbacias do perímetro urbano de Várzea Grande – MT. **Revista Ambiente e Água**, v. 10, n. 3, p. 646 – 659, 2015.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P.; MORETI, D.; MEDEIROS, L. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. Maringá: **Acta Scientiarum**, v. 24, p. 1335 – 1340, 2002.

MARTINS, S. V. Recuperação de áreas degradadas: ações em áreas de preservação permanente, voçorocas, taludes rodoviários e de mineração. Viçosa: **Aprenda Fácil**, p. 270, 2009.

MATEO, J. **Apuntes de geografia de los paisajes.** Habana: Ed. MÊS, 470P. 1984.

MENZ, M. H. M., Dixon, K. W.; Hobbs, R. J. Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. **Science**, 339: 526-527. 2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.: **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG.** Brasília, DF: MMA, 73p. 2017. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg\\_plano\\_nacional\\_recuperacao\\_vegetacao\\_nativa.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf). Acessado em: 16 de novembro de 2017.

MORRISON, E. B.; LINDELL, C. A. Active or Passive Forest Restoration? Assessing Restoration Alternatives with Avian Foraging Behavior. **Restoration Ecology**, v. 19, n. 201, p. 170–177, 2011.

MYSTER, W. Regeneration filters in post-agricultural fields in Puerto Rico and Ecuador. **Vegetatio**, 172:199-209. 2004.

NUNES, S.; GARDNER, T.; BARLOW, J.; MARTINS, H.; SALOMÃO, R.; MONTEIRO D.; SOUZA JUNIOR, C. Compensating for past deforestation: Assessing the legal forest surplus and deficit of the state of Pará, eastern Amazonia. **Land Use Policy**, v. 57, p. 749–758, 2016.

ORSI, F.; GENELETTI, D. Identifying priority áreas for Forest Landscape Restoration in Chiapas (Mexico): An operational approach combining ecological and socioeconomic criteria. **Landscape and Urban Planning**, n. 94, p. 20 – 30, 2010.

PEREIRA, B. W. de F. **Avaliação da degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, nordeste do estado do Pará**. 2016. 104p. Tese (Doutorado – Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia). Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. 2016.

PERIM, M. A.; COCCO, M. D. A. Efeito das transformações antrópicas às margens do rio Una, Taubaté, São Paulo, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, 2016.

REICH, M.; FRANCELINO, M, R. Avaliação do potencial de recuperação de áreas alteradas em áreas de proteção permanente de cursos d'água no município de Rio Branco, Acre. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, v. 7, n. 2, p. 157 – 168, 2012.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. EDUSP, São Paulo, SP. 320p. 2000.

SANTOS, L. P.; MARTINS, P. T. A. Mudanças temporais no uso e cobertura do solo na bacia do reservatório de Peixe Angical. Tocantins. **Ciência e Natureza**, v. 38, n. 1, p. 137 – 145, 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE (SEMA). PARÁ. **Plano de manejo da área de proteção ambiental de Algodão-Maiandeuá**. Belém: SEMA, 2012.

SILVA, J, A, A.; et al, O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo. São Paulo: Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência. SBPC. **Academia Brasileira de Ciências**, ABC. 124p. 2011.

SOARES-FILHO, B. S. et al. **Modelagem das Oportunidades Econômicas e Ambientais do Restauo Florestal sob o Novo Código Florestal. Impacto de políticas públicas voltadas à implementação do novo Código Florestal**. Relatório de Projeto. Centro de Sensoriamento Remoto, UFMG, Belo Horizonte-MG, 2014b.

SOUSA, R. dos S.; VALLADARES, G. S.; ESPÍNDOLA, G. M. de. Análise do Índice de Vegetação (NDVI) e vulnerabilidade ambiental da planície costeira do Estado do Piauí. **Revista da Casa da Geografia de Sobral, CE**. v. 18, n. 2, p. 82 – 99, 2016.



SPAROVEK, G. et al. The revision of the brazilian forest act: Increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? **Environmental Science and Policy**, v. 16, p. 65-72, 2012.

SPAROVEK, G.; BARRETO, A.; KLUG, I.; PAPP, L.; LINO, J. A revisão do Código Florestal Brasileiro. **Novos Estudos**, n. 89, p. 111-135, 2011.

STICKLER, C. M. et al. Defending public interests in private lands: compliance, costs and potential environmental consequences of the Brazilian Forest Code in Mato Grosso. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B. Biological sciences*, v. 368, n. 1619, p. 20120160, 2013.

VALCARCEL, R.; SILVA, Z. A eficiência conservacionista de medidas de recuperação de áreas degradadas: proposta metodológica. **Floresta**, v. 27, n. 1, p. 101 – 114, 2000.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Priority areas for forest restoration aiming at the conservation of water resources. **Ecological Engineering**, v. 94 , p. 255-267, 2016.

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos**. 2006. f. 151. Tese (Livre Docência em Geoprocessamento) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VALENTE, R. A.; PETEAN, F. C. de S.; VETTORAZZI, C. A. Multicriteria decision analysis for prioritizing areas for forest restoration. **Cerne**, v. 23, n. 1, p. 53-60, 2017.

VALENTE, R. de O. A. **Definição de áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 2005. 121p. Tese (Doutorado – Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP. 2005.

VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, A. S. de. DAVIDSON, E. A.; STONE, T. A.; CARVALHO, C. J. R. de; GUERRERO, J. B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 470-481, 2003.

VIEIRA, I. C. G. **Forest succession after shifting cultivation in eastern Amazonia**. p. 1-205. Tesis (Ph.D.) - University of Stirling. Scotland. 1996.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, p. 370, 1983.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa integrando práticas de restauração ecológica e análise em ambiente SIG, alcançou o objetivo principal proposto que foi identificar áreas prioritárias à restauração por meio da análise multicritério (AMC) envolvendo elementos biofísicos da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Arauaí, Moju, Pará.

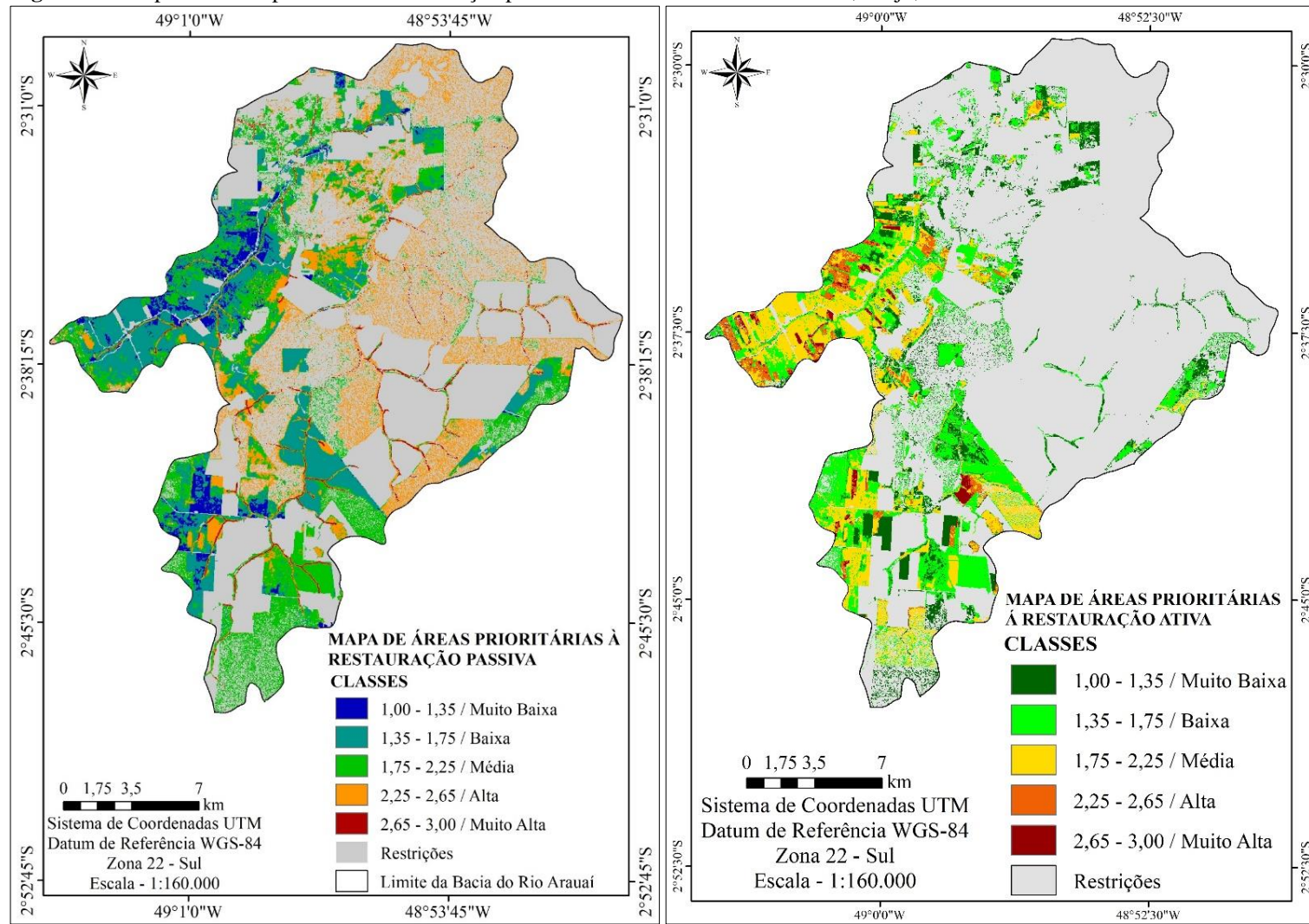
O diagnóstico ambiental da paisagem, permitiu demonstrar a situação da cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Arauaí. Os usos predominantes na bacia são a dendeicultura, seguidas de pastagens e outras atividades agrícolas (milho e soja). Esta região apresenta quase um quarto da sua área (25%) ocupada por floresta degradada, que sofreu perturbações e teve sua estrutura alterada e aproximadamente 10% de vegetação secundária resultante da regeneração natural em áreas de pastagem abandonada, das quais vem sendo suprimidas em decorrência da expansão as atividades agrícolas (ALMEIDA, 2015).

Políticas governamentais e ações empresariais voltadas para o aumento da produção agrícola na região da bacia do rio Arauaí, acabam promovendo a ocupação desordenada, estimulando a substituição de floresta degradada e áreas com vegetação secundária (capoeira) por plantio de palma de óleo, pois até o presente momento não existi legislação que defina e caracterize floresta degradada e também não há mapeamento de áreas com nível de degradação superior ao limiar crítico estabelecido na literatura (30%) para a manutenção das funções e estrutura do ecossistema (ANDRÉN, 1994).

A determinação de áreas prioritárias para restauração passiva e ativa foi possível através da análise integrada dos componentes que constituem a cobertura vegetal e uso da terra da bacia do rio Arauaí, os quais são base para construção dos critérios ambientais. Dessa forma, foram gerados dois mapas de distribuição que classificam as prioridades da restauração que pode ser facilmente interpretada para apoiar a gestão na escala da bacia hidrográfica.

Os mapas finais mostram de maneira sintética, as áreas prioritárias para aplicação dos métodos de restauração passiva e ativa (Figura 5.1). O mapa indicando áreas prioritárias à restauração passiva possui uma área maior do que a área no mapa de restauração ativa. Isto ocorre em virtude da ponderação das florestas degradadas (alteradas) ser maior para restauração passiva e menor para a ativa a ponto de não aparecer no mapa.

**Figura 5.1.** Mapas de áreas prioritárias à restauração passiva e ativa da bacia do rio Arauaí, Moju, Pará.



Fonte: SILVA, T. C. M.

As áreas com alta prioridade à restauração passiva apresentam fragmentos de floresta degradada, próximos a fragmentos de floresta primária acima de 10 ha e, distante de estradas e rodovias, e se constituem de Áreas de Preservação Permanente (APP's) desflorestada.

A regeneração natural dessas áreas, é uma alternativa mais econômica para recuperação da biodiversidade, dos processos ecológicos e dos serviços ecossistêmicos em condições ecológicas favoráveis (CHAZDON, 2014). Também é possível estabelecer o isolamento dos fatores de degradação e aplicação de técnicas que aceleram, em vez de substituir os processos naturais de sucessão, eliminando ou diminuindo as ações que impedem a regeneração natural (CORBIN; HOLL, 2012), através do isolamento das áreas com potencial passivo de restauração, causando a mínima interferência humana.

Por outro lado, áreas que possuem um histórico de uso da terra, com baixa capacidade de resiliência e abaixo do limiar de sustentação e estabelecimento da biodiversidade, é necessária uma intervenção maior do que apenas o isolamento, como as áreas de pastagem e agricultura abandonadas.

As áreas com alta prioridade à restauração ativa da bacia do rio Arauaí, apresentam uma área menor do que a passiva, em virtude dos fragmentos de floresta degradada e vegetação secundária apresentarem baixa valor de importância para a restauração ativa, tendo sido consideradas de alta prioridade à restauração passiva e baixa para ativa.

Nessa análise, áreas de pasto limpo e pasto sujo, distantes de fragmentos de floresta primária acima de 10 ha e próximos as estradas e rodovias, apresentaram alta prioridade, também áreas de Reserva Legal desflorestada, sendo obrigatória a recomposição de acordo com a legislação ambiental vigente (Lei 12.651/2012). Estas áreas apresentam baixo potencial de regeneração natural como locais isolados com desmatamento extensivo, uso da terra que levaram a degradação severa do solo, infestação de ervas daninhas ou perda do banco de sementes e brotos de raiz (CROUZEILLES et al., 2017) e, portanto, mais baixa resiliência.

Nessas áreas é recomendado o plantio de mudas, a semeadura direta e/ou o desbaste e queima controlada para acelerar o processo de recuperação. A restauração ativa apresenta um alto custo em relação à passiva, porém alguns estudos comprovam que a restauração ativa pode promover maior ou semelhante diversidade plantas do que a restauração passiva (SHOO et al., 2016; GILMAN et al., 2016).

Atualmente existem várias dificuldades no planejamento de projetos ou políticas voltadas para restauração ecológica da paisagem. Com o Plano Nacional de Restauração Ecológica - PLANAVEG (MMA, 2017) é esperado um comprometimento mais sólido em atingir metas relacionadas com a redução da perda da biodiversidade, aumento dos serviços ecossistêmicos por meio da recuperação de ambientes degradados.

No entanto, para indicar qual a melhor alternativa de restauração (regeneração natural ou restauração ativa), deve-se considerar o histórico de uso e cobertura da terra e se existe cobertura florestal em potencial para restabelecer a biodiversidade.

Assim, considera-se que este estudo pode servir de base para o estabelecimento de metodologias para a definição de áreas prioritárias para restauração passiva e ativa e poderão ser usados como instrumentos de gerenciamento ambiental, fornecendo subsídios técnicos para planos de restauração em pequenas bacias hidrográficas da Amazônia.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S. de. **Mudanças de uso da terra em paisagens agrícolas com palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.) e implicações para a biodiversidade arbórea da Amazônia.** 2015. 116p. Tese (Doutorado – Ciências Ambientais). Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2015.
- ANDRÉN, H. Effects of habitat fragmentation on birds and mammals in landscape with different proportion of suitable habitat: a review. **OIKOS**, v. 71, n. 3, p. 355 – 366, 1994.
- CHAZDON, R. L. **Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation.** (Chicago: University of Chicago Press) p 485, 2014.
- CORBIN, J. D.; HOLL, K. D. Applied nucleation as a forest restoration strategy. **Forest Ecology and Management**, 265, p. 37 – 46, 2012.
- CROUZEILLES, R.; FERREIRA, M. S.; CHAZDON, R. L.; LINDENMAYER, D. B.; SANSEVERO, J. B. B.; MONTEIRO, L.; IRIBARREM, A.; LATAWIEC, A. E.; STRASSBURG, B. B. N. Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. **Science Advances**, v. 3, 2017.
- GILMAN, A.; LETCHER, S.; FINCHER, R. M.; PEREZ, A.; MADELL, T. Recovery of floristic diversity and basal area in natural forest regeneration and planted plots in a Costa Rican forest. **Biotropica**, 48: 798–808, 2016.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE.: **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAVEG.** Brasília, DF: MMA, 73p. 2017. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg\\_plano\\_nacional\\_recuperacao\\_vegetacao\\_nativa.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivos/florestas/planaveg_plano_nacional_recuperacao_vegetacao_nativa.pdf). Acessado em: 16 de novembro de 2017.
- SHOO, L. P.; FREEBODY, K.; KANOWSKI, J.; CATTERALL, C. P. Slow recovery of tropical old-field rainforest. **Conservation Biology**, 30: 121–132, 2016.