



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade de Tecnologia - FT  
Departamento de Engenharia Florestal - EFL

**RISCO DE EROSÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA: O CASO  
DA LT 500 KV TUCURUÍ II - ITACAIÚNAS - COLINAS C2.**

Mariana Rezende de Oliveira e Silva

BRASÍLIA-DF,  
Julho de 2016.

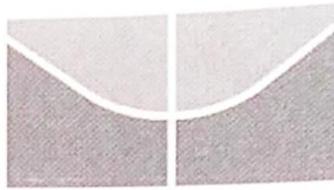
MARIANA REZENDE DE OLIVEIRA E SILVA

RISCO DE EROSÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA: O CASO DA  
LT 500 KV TUCURUÍ II - ITACAIÚNAS - COLINAS C2

Orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

*Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao Departamento de Engenharia Florestal da  
Universidade de Brasília, como parte das  
exigências para obtenção do título de  
Engenheiro Florestal.*

BRASÍLIA-DF,  
Julho de 2016.



Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**RISCO DE EROSÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA: O CASO  
DA LT 500 KV TUCURUÍ II - ITACAIÚNAS - COLINAS C2.**

Estudante: Mariana Rezende de Oliveira e Silva

Matrícula: 10/0017291

Orientador: Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

Menção: SS

Prof. Dr. Henrique Marinho Leite Chaves

Universidade de Brasília – UnB

Orientador

Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Universidade de Brasília - UnB

Membro da Banca

Daniel Cavalcanti

Dossel Ambiental Consultoria e Projetos Ltda.

Membro da Banca

**Brasília, 05 de julho de 2016**

*“A única maneira de fazer um ótimo trabalho é amando aquilo que se faz.”*

**Steve Jobs**

## AGRADECIMENTOS

Sou grata ao universo por estar aqui e agora, pela dádiva da vida, pela vontade que tenho de viver, de evoluir e superar as dificuldades em busca de algo maior.

Mal tenho palavras para descrever a importância e o papel fundamental dos meus pais, Maria Ronilda e José Carlos, em todas as etapas da minha vida, eles me fizeram chegar aqui e são responsáveis pela pessoa em que me tornei.

Agradeço ao meu professor orientador Henrique, pela parceria, confiança e paciência nesse ano de pesquisa e aprendizado conjunto. Assim como a todos os professores que de alguma forma compartilharam conhecimentos e experiências, em especial Reuber, Eraldo e Alexandre, que me ensinaram a enxergar além do que se vê.

A meus amigos de curso, que me acompanharam durante todos esses anos, os momentos de aulas, estudos, provas, trabalhos, festas e bares foram essenciais na minha formação, fizeram dos meus dias mais alegres e deram sentido à essa Universidade. Em especial Maitê, Marina, João, Pedro, Carol, Meghan.

A meus amigos e família, por entenderem minha ausência nessa fase de dedicação e estudo, por continuarem sempre fazendo parte da minha vida.

Agradeço ao circo, as amizades e aprendizados adquiridos nesse meio, à dedicação, dificuldades e limitações superadas, e aos momentos de esparecimento e felicidade proporcionados durante essa trajetória.

Agradeço a Empresa Dossel Ambiental Consultoria e Projetos Ltda. por ceder os dados utilizados como base para este estudo.

Não posso deixar de agradecer também a meus colegas de trabalho, que de uma forma ou de outra contribuíram com minha experiência adquirida, me ensinando e me proporcionando oportunidades de crescer.

Por último, agradeço a pessoa que mais me apoiou e esteve ao meu lado em todos os momentos, essencial em todos os meus dias, que me dá forças e me faz uma pessoa melhor, meu companheiro Lucas.

## RESUMO

Dentre os maiores impactos ambientais resultantes da construção de linhas de transmissão de alta tensão estão os processos erosivos, os quais ocorrem nas estradas de acesso e juntos às torres de sustentação. Esse estudo buscou mostrar a possibilidade de estimar o risco de erosão ao longo de áreas de influência de linhas de transmissão de energia, tomando como base dados secundários e oriundos do estudo ambiental elaborado no âmbito do licenciamento ambiental. Como estudo de caso tomou-se a Área de Influência Indireta (AII) da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, com 10 km de largura e 563 km de comprimento. O mapa de uso da área de estudo foi obtido com a classificação supervisionada de um mosaico de imagens *ResourceSat - 1*, de resolução espacial de 24 m. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) foi aplicada no Sistema de Informações Geográficas (SIG). Ao final, um mapa de risco de erosão foi obtido e uma verificação visual dos mesmos foi realizada. A maior parte da área de influência da LT Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2 se encontra na classe de baixo risco de erosão (68,9%), as áreas de médio e alto risco de erosão representam 18,7% e 12,4%, respectivamente. A maior parte (67 %) das áreas de alto risco de erosão corresponderam a significativas feições erosivas identificadas nas imagens de satélite, demonstrando a robustez do método.

**Palavras-chave:** Processos erosivos. Impacto Ambiental. Licenciamento Ambiental. USLE.

## ABSTRACT

Among all the environmental impacts caused by the construction and maintenance of high voltage transmission lines, erosive processes are the biggest issue. This study aimed to estimate the risks of those processes over areas under the influence of power transmission lines, based on published articles and data acquired in the environmental study of environmental licensing of the enterprise. This study took place in the Indirect Area of Influence (IAI) of 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 with 10 km wide and 563 km long. The land use map of the area was obtained by supervised classification of ResourseSat - 1 images, with a spatial resolution of 24 m. Universal Soil Loss Equation (USLE) was applied to Geographic Information System (GIS). At the end, an erosion risk map was produced and a visual check was performed. Most of the area of influence of LT Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 is in the low risk category (68.9%); the areas of medium and high risk represent 18.7% and 12.4%, respectively. The majority (67%) of high-risk areas of erosion corresponded to significant erosive features identified in satellite images, demonstrating the robustness of the method.

**Keywords:** Soil Erosion. Environmental Impact. Environmental Licensing. USLE.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos .....	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
3.1	Geração e Transmissão de Energia Elétrica no Brasil.....	17
3.2	Licenciamento Ambiental.....	19
3.3	Impactos ambientais causados por Linhas de Transmissão de Energia	21
3.4	Processos Erosivos.....	24
3.4.1	Formas de Erosão Hídrica .....	25
3.4.2	Equação Universal de Perda de Solo - USLE.....	26
3.5	Geoprocessamento aplicado à Linhas de Transmissão.....	27
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	29
4.1	Caracterização da Área de Estudo .....	29
4.2	Cálculo da USLE .....	34
4.2.1	Fator de Erosividade da Chuva (R) .....	34
4.2.2	Fator de Erodibilidade do Solo (K) .....	36
4.2.3	Fator de Comprimento do Declive e Grau de Declividade (LS) .....	37
4.2.4	Fator de Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)	39
4.3	Verificação do Mapa de Cobertura do Solo.....	41
4.4	Verificação dos Resultados com Dados de Imagens .....	42
4.5	Mapa de Risco de Erosão.....	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	45
5.1	Cálculo da USLE .....	45
5.1.1	Fator de Erosividade da Chuva (R) .....	45

5.1.2	Fator de Erodibilidade do Solo (K) .....	48
5.1.3	Fator de Comprimento do Declive e Grau de Declividade (LS) .....	50
5.1.4	Fator de Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP) .....	56
5.2	Verificação do Mapa de Cobertura do Solo.....	58
5.3	Verificação dos Resultados com Dados de Imagens .....	60
5.4	Mapa de Risco de Erosão.....	64
6	CONCLUSÃO .....	75
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	76

## LISTA DE FIGIRAS

Figura 1: Distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN). Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2015). .....	18
Figura 2: Localização da LT e das Subestações no contexto nacional. ....	29
Figura 3: Traçado da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2. ....	32
Figura 4: Estações climatológicas selecionados para a aquisição de dados necessários ao cálculo do Fator R, localizados na Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 ou nas proximidades. ....	35
Figura 5: Mapa de Pedologia produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e extraído para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	37
Figura 6: Tipos de perfis do terreno, calculados pelo comando <i>curvature</i> do <i>Spatial Analyst</i> do ArcGIS. ....	39
Figura 7: (a) Mapa de Cobertura do Solo (RAS da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2) e (b) Mapa de Vegetação adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em um trecho da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	40
Figura 8: Erosividade média mensal da chuva (Rm) para os postos pluviométricos selecionados. ....	46
Figura 9: Erosividade média anual das chuvas para os postos pluviométricos analisados. ....	47
Figura 10: Espacialização da erosividade da chuva na Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	48
Figura 11: Espacialização da erosividade da chuva na Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	50
Figura 12: Modelo Digital de Elevação TOPODATA da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	51
Figura 13: Declividade da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	52
Figura 14: Mapa do Fator S para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	52
Figura 15: (a) Detalhe do Mapa de Direção do Fluxo e do (b) Mapa de Acúmulo de Fluxo em um trecho da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	53
Figura 16: Detalhe de áreas deposicionais de um trecho da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, em preto, aonde a erosão, por definição, é igual a zero (A=0). ....	54
Figura 17: Detalhe de um trecho da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 com zonas de talvegues em verde (L>10), onde a USLE não se aplica (A=0). ....	54
Figura 18: Mapa do Fator L para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	55
Figura 19: Mapa do Fator LS para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	56
Figura 20: Mapa do Fator C para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. ....	58
Figura 21: Mapa de erosão atual na porção norte da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2 .....	65
Figura 22: Mapa de erosão atual na porção central da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2. ....	66

Figura 23: Mapa de erosão atual na porção sul da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2. ....	67
Figura 24: Mapa de Risco de Erosão na porção norte da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2.....	70
Figura 25: Mapa de Risco de Erosão na porção central da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2.....	71
Figura 26: Mapa de Risco de Erosão na porção sul da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2 .....	72
Figura 27: Detalhes do mapa de risco de erosão da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. A linha azul representa o traçado da LT. ....	73
Figura 28: Histograma do mapa de risco de erosão, a linha tracejada representa a média da estimativa de erosão e as linhas azuis os limites das classes de risco. ....	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Identificação dos potenciais impactos ambientais nos meios físico, biótico e socioeconômico que podem vir a ocorrer com a construção da LT Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, planejada para passar nos estados do Pará e Tocantins.....	22
Tabela 2: Obras previstas no empreendimento LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2 .....	31
Tabela 3: Limites potenciais de perda do solo em razão do nível da erosão. ....	44
Tabela 4: Classificação do risco de erosão. ....	45
Tabela 5: Características dos postos pluviométricos e fatores de erosividade da chuva (R) calculados para cada um.....	46
Tabela 6: Classes de solos encontradas na AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 e respectivos valores de K selecionados na literatura .....	48
Tabela 7: Classes de uso do solo encontradas na AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, percentagem de cobertura da AII e respectivos valores de C selecionados na literatura. ....	56
Tabela 8: Matriz de confusão obtida na verificação do mapa de cobertura do solo da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 .....	59
Tabela 9: Verificação do mapa de risco de erosão .....	61
Tabela 10: Percentagem das diferentes classes de risco de erosão na área de influência indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 e percentagem do número total de torres presentes em cada classe.....	73

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Exemplo de 3 amostras lançadas aleatoriamente para verificação do mapa de risco de erosão da AII da LT Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2. Os dois primeiros mapas de cada amostra são apresentados na mesma escala para efeito de comparação, o terceiro mostra o detalhamento da feição erosiva encontrada.....	62
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

AID – Área de Influência Direta

AII – Área de Influência Indireta

APP - Área de Preservação Permanente

EIA - Estudos de Impactos Ambientais

FS – Faixa de Servidão

KV - quilovolt

LT – Linhas de Transmissão de Energia

RIMA - Relatórios de Impactos Ambientais

SIG – Sistema de Informações Geográficas

USLE - Universal Soil Loss Equation (Equação Universal de Perda de Solos)

## 1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de energia elétrica no Brasil, aumenta-se a preocupação com os riscos de falta ou racionamento de energia (TOBOUTI; SANTOS, 2014), o que tem levado à construção de novos sistemas de geração e transmissão.

No segmento de transmissão de energia, a Linha de Transmissão (LT) é um empreendimento de grande porte que visa conectar uma fonte geradora numa ponta, por uma subestação elevadora, até um centro consumidor na outra ponta, por uma subestação rebaixadora, e deve ter tensão acima de 138 kV (CPNSP, 2005).

As Linhas de Transmissão de Energia Elétrica normalmente compreendem grandes extensões, isso faz com que ultrapassem diferentes atributos estéticos, culturais, abióticos, bióticos e socioeconômicos (MENEZES, 2006). Por esse motivo, acabam por causar uma série de impactos ambientais, sendo o início e a aceleração de processos erosivos um dos mais relevantes (WOSNY et al., 2009).

A erosão é uma das principais ameaças à capacidade de produção agrícola e à sustentabilidade dos ecossistemas LAL (2003). Neste tipo de empreendimento, ela ocorre principalmente na construção das bases e fundações das torres, na abertura de novos acessos e melhoria dos existentes e na exposição do solo às intempéries (JÚNIOR; GOPFERT, 2010).

Devido à extensão das linhas e a dificuldade de acesso, as medidas mitigatórias relacionadas ao surgimento e aceleração de processos erosivos demandam tempo e alto investimento. Neste sentido, é considerado um dos impactos mais dispendiosos, principalmente por perpetuar durante toda a vida útil da linha, além de causar danos às estruturas de transmissão (WOSNY et al., 2009).

Devido à complexidade dos métodos existentes, à dificuldade na coleta de dados e à falta de regulamentação técnica, em muitos casos a localização das torres e das estradas de acesso são selecionados sem o devido conhecimento dos riscos associados. Desta forma, no contexto do licenciamento ambiental isso poderia auxiliar na elaboração do projeto técnico e na prevenção de processos erosivos oriundos da obra e da operação das linhas.

Sabendo que a combinação de fatores como tipo de solo, declividade do terreno, uso e ocupação do solo determinam a magnitude e a natureza dos processos erosivos, o presente estudo buscou mostrar a possibilidade de estimar o risco de erosão ao longo de áreas de influência de linhas de transmissão de energia, tomando como base dados

secundários e oriundos do estudo ambiental elaborado no âmbito do licenciamento ambiental.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Estimar o risco de erosão ao longo de áreas de influência de linhas de transmissão de energia e, em particular, da área de influência indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Levantar e compilar dados da Área de Influência Indireta (AII) da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 com base no relatório ambiental do empreendimento e em artigos publicados;
- Validar a Equação Universal de Perda de Solos (USLE) para estimar a erosão laminar ao longo da Área de Influência Indireta (AII) da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2;
- Identificar áreas de maior potencial de erosão laminar.
- Discutir a viabilidade da ferramenta USLE para subsidiar a elaboração de projetos técnicos e a prevenção de processos erosivos no contexto do licenciamento ambiental de linhas de transmissão de energia.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Geração e Transmissão de Energia Elétrica no Brasil**

Aproximadamente 65,2% da matriz energética nacional provêm da hidroeletricidade (MMA, 2014), em função disso, o abastecimento de energia é altamente dependente do regime de chuvas, que apresenta grandes variações sazonais e imprevisibilidade. Desta forma, as linhas de transmissão têm a importante função de interligar regiões geradoras, com maior volume de chuvas, à regiões consumidoras, minimizando os efeitos das oscilações dos regimes pluviométricos, podendo otimizar a capacidade de geração de energia elétrica nacional em até 20% (PIRES, 2005).

A produção e distribuição de energia no Brasil atualmente são divididas entre o Sistema Interligado Nacional (SIN), que conecta todas as regiões do país, e os Sistemas Isolados Brasileiros, que abastece as regiões Nordeste, Centro-Oeste e Norte. O SIN atende cerca de 98% do mercado brasileiro, os sistemas isolados, por sua vez atendem a 45% do território nacional e a 3% da população nacional (ELETROBRAS, 2010).

Os sistemas isolados são constituídos principalmente por usinas termoelétricas e a óleo, que além de apresentarem elevado custo de geração e significativos impactos ambientais, possuem capacidade de geração de energia limitada e enfrentam uma série de dificuldades logísticas para garantir o abastecimento de energia (ELETROBRAS, 2010).

A maioria dessas usinas termelétricas encontra-se dispersa na Região Norte. Embora exista a necessidade de melhorias no sistema de abastecimento para promover o desenvolvimento econômico e a melhoria da qualidade de vida da população, a expansão energética traz grandes desafios ambientais e sociais frente às características da região, que abriga a riqueza dos ecossistemas da Floresta Amazônica e da cultura de suas populações tradicionais (CAMPOS, 2010).

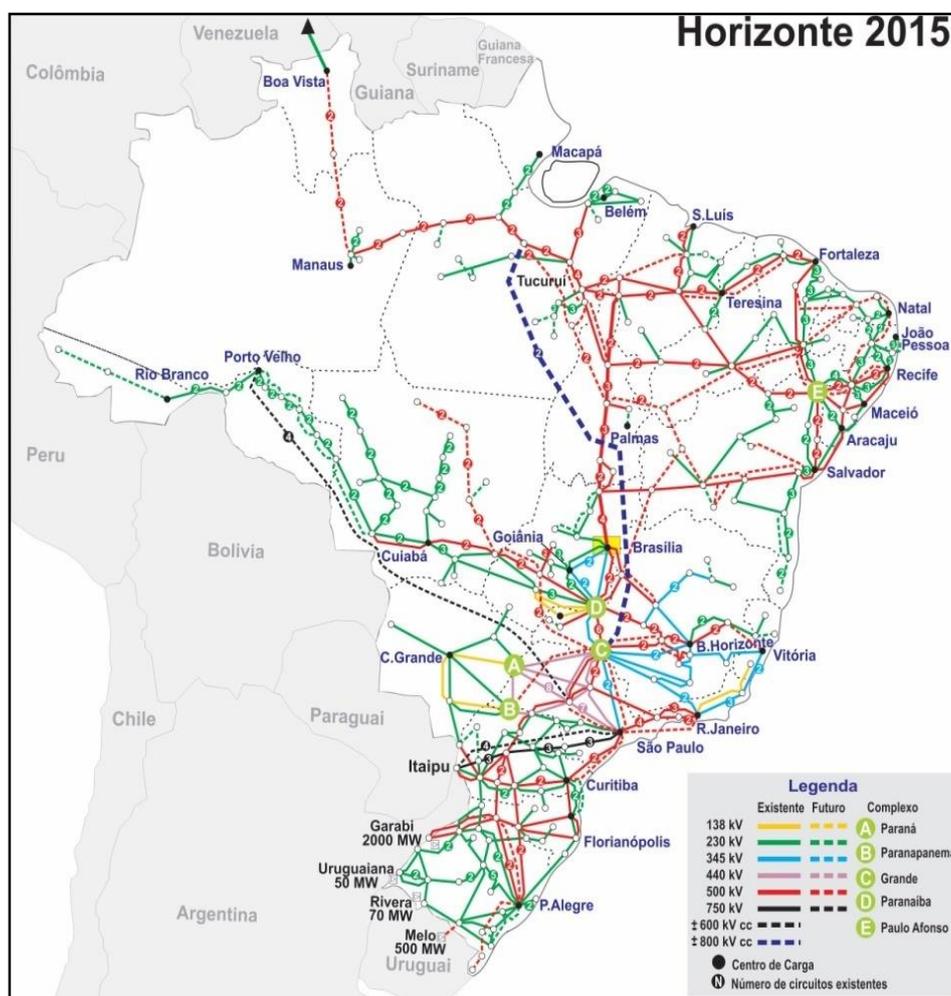
A Amazônia Legal encontra-se inserida nos dois sistemas elétricos do país, sendo a maior parte atendida pelos sistemas isolados, ainda que o SIN até 2006 contasse com 19.485 km de linhas de transmissão na região (GARCIA; LIMONAD, 2008).

Uma breve análise dos principais projetos do Setor Elétrico no Brasil apresentados para a Amazônia desde o final do século XX aponta para a predominância de grandes projetos hidrelétricos e ampliação do sistema de transmissão na Amazônia Ocidental. Isto mostra uma tendência a se privilegiar o abastecimento de outras regiões do país, dificuldade em se atender as comunidades isoladas, que embora vivam sob as linhas de alta tensão, permanecem sem abastecimento de energia (GARCIA, 2006), e incapacidade

de viabilização de grandes projetos, relacionada a impactos socioambientais, conflitos internacionais e logísticos (GARCIA; LIMONAD, 2008).

Essa realidade mostra o caráter contraditório das políticas energéticas implantadas em nome do desenvolvimento regional na Amazônia, entende-se, portanto, que a geração de energia hidrelétrica está voltada para atender de forma prioritária outras regiões (GARCIA; LIMONAD, 2008).

A **Figura 1** mostra a distribuição desigual das redes de transmissão de energia do Sistema Interligado Nacional, onde é possível verificar uma maior capitalização das redes de transmissão nas áreas com maior densidade populacional e dinamismo econômico, principalmente nas regiões Sudeste e Sul do país, seguidas pelo Nordeste.



**Figura 1:** Distribuição do Sistema Interligado Nacional (SIN). Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (2015).

### 3.2 Licenciamento Ambiental

A ideia de licenciamento ambiental surgiu no Brasil e no mundo na década de 70, primeiramente voltada para o controle da poluição industrial, com suas diretrizes pautadas no Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (1975).

Somente no início da década de 80, com a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA) (Lei nº 6.938/1981), a base institucional e legal do licenciamento ambiental foi lançada. A partir de então, a utilização de recursos ambientais, a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades passaram a ser legalmente disciplinados (FARIA, 2011).

A PNMA cria como instrumento a "avaliação de impactos ambientais" e o "licenciamento (...) de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras". A mesma lei, em seu Art. 10 prevê:

A construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental dependerão de prévio licenciamento ambiental.

A Resolução CONAMA nº 001 de 1986 estabeleceu as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para a vinculação da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), principal instrumento da PNMA, ao processo de licenciamento ambiental, estipulando listagem de atividades modificadoras do meio ambiente cujo licenciamento depende de AIA.

A própria Constituição Federal, em seu Art. 225 § 1º, IV, estabelece a obrigatoriedade do EIA para atividades ou obras potencialmente causadoras de impacto de significativa degradação. Uma vez estabelecido o significativo impacto ambiental, o Decreto 99.274/1990 estabelece três etapas para o licenciamento, a licença prévia (LP), de instalação (LI) e de operação (LO).

A LP é a primeira a ser emitida pelo órgão ambiental, na fase preliminar de planejamento do empreendimento, principalmente no que se refere à localização e à concepção do projeto. É neste momento que a exigência do estudo de impacto ambiental é feita. A LI depende do cumprimento das condicionantes da LP, apresenta autorização de instalação, ou seja, do início efetivo das obras. Por último, a licença que permite a operação do empreendimento é a LO, desde que atendidas às exigências das licenças anteriores (FARIA, 2011).

A Resolução CONAMA 237/1997, que atualiza e disciplina todo o processo de licenciamento ambiental, estabelece os prazos e validades de cada licença. Essa resolução, em seu Art. 1º define Licenciamento Ambiental como:

Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicadas ao caso.

Sistemas de transmissão de energia elétrica (linhas de transmissão e subestações) são considerados empreendimentos com pequeno potencial de impacto, de acordo com o Art. 1º da Resolução CONAMA 279/2001. A portaria 421/11 do MMA define o tipo de estudo ambiental que deve ser apresentado de acordo com características do empreendimento. No caso da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2 o estudo ambiental solicitado é o Relatório Ambiental Simplificado - RAS.

O RAS é definido como sendo o conjunto de estudos relativos aos aspectos ambientais de uma atividade ou empreendimento, relacionados à localização, instalação, operação e ampliação, apresentados como subsídio para a concessão na licença prévia requerida. O RAS deve ainda, conter informações relativas ao diagnóstico ambiental da região, sua caracterização, identificação dos impactos e medidas de controle, mitigação e compensação.

A Portaria nº 421/11 do MMA também estabelece os procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado de empreendimentos de transmissão de energia. No Capítulo III é apresentado o Procedimento Simplificado de Licenciamento Ambiental Federal. Para tanto, de acordo com o Art. 5º, o empreendimento deve ser enquadrado como de pequeno potencial de impacto ambiental, neste caso, a área da subestação ou faixa de servidão administrativa da linha de transmissão não deve implicar simultaneamente em:

- I - remoção de população que implique na inviabilização da comunidade e/ou sua completa remoção;
- II - afetação de unidades de conservação de proteção integral;

III - localização em sítios de: reprodução e descanso identificados nas rotas de aves migratórias; endemismo restrito e espécies ameaçadas de extinção reconhecidas oficialmente;

IV - intervenção em terra indígena;

V - intervenção em território quilombola;

VI - intervenção física em cavidades naturais subterrâneas pela implantação de torres ou subestações;

VII - supressão de vegetação nativa arbórea acima de 30% da área total da faixa de servidão definida pela Declaração de Utilidade Pública ou de acordo com a NBR 5422 e suas atualizações, conforme o caso; e

VIII - extensão superior a 750 km.

Parágrafo único. Serão consideradas de pequeno potencial de impacto ambiental, as linhas de transmissão implantadas ao longo da faixa de domínio de rodovias, ferrovias, linhas de transmissão e outros empreendimentos lineares pré-existentes, ainda que situadas em terras indígenas, em territórios quilombolas ou em unidades de conservação de uso sustentável.

### **3.3 Impactos ambientais causados por Linhas de Transmissão de Energia**

O conceito de Impacto Ambiental vem definido no Artigo 1º da Resolução CONAMA 001/1986:

"qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam (...) a saúde, a segurança e o bem-estar da população; atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais."

A passagem de Linhas de Transmissão (LTs) pode causar diversos tipos de impactos ambientais, comprometendo a integridade dos solos, da flora, da fauna, da própria segurança das linhas e, conseqüentemente, da população que vive nas proximidades (WOSNY et al., 2009).

As áreas susceptíveis às ações diretas e indiretas do empreendimento, tanto na fase de implantação como na de operação, são chamadas de área de influência, classificadas de acordo com a função de cada área temática e do enfoque a ser atribuído à avaliação dos cenários futuros. Sendo assim, em estudos ambientais, comumente são utilizados os conceitos de Área de Influência Direta (AID), aonde os impactos ocorrem com relação

direta de causa e efeito, e de Área de Influência Indireta (AII), em que os impactos são sentidos com menor intensidade com relação à AID. Além disso, também é definida uma faixa de servidão administrativa ao longo do eixo da LT que possui restrições de uso, necessária para garantir a segurança das instalações e das pessoas que convivem com a linha (DOSSEL, 2014).

Neste sentido, vários trabalhos vêm sendo feitos a respeito dos impactos ambientais causados por Linhas de Transmissão afim de avaliar a viabilidade do empreendimento. Para analisar os riscos em sistemas de transmissão, é necessário levar em consideração todos os elementos envolvidos e aplicar métodos de avaliação para quantificá-los (VUČKOVIĆ et al., 2005).

Com o intuito de identificar os principais impactos ambientais produzidos no percurso das Linhas de Transmissão, TOBOUTI; SANTOS (2014) analisaram 5 (cinco) Relatórios de Impactos Ambientais (RIMAs) e Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) de Linhas de Transmissão de 500 kVs. Segundo os autores, os impactos considerados de grande amplitude são a fragmentação da vegetação nativa e a dinamização da economia local. Constataram ainda que, outros impactos possuem medidas mitigatórias ou mesmo de neutralização e sua significância não supera o desenvolvimento econômico regional e a melhoria na qualidade de vida.

Com relação à linha Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, a identificação e classificação dos impactos foi feita a partir da discussão interdisciplinar das ações do empreendimento e do diagnóstico ambiental das áreas de influência. Foram identificados recursos e processos ambientais que possivelmente seriam afetados pela construção da linha e sugeridas medidas mitigadoras (DOSSEL, 2014). Na **Tabela 1** são apresentados os potenciais impactos ambientais nos meios físico, biótico e socioeconômico.

**Tabela 1:** Identificação dos potenciais impactos ambientais nos meios físico, biótico e socioeconômico que podem vir a ocorrer com a construção da LT Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, planejada para passar nos estados do Pará e Tocantins.

MEIO	IMPACTOS AMBIENTAIS
FÍSICO	Modificação no sistema natural de drenagem
	Alteração na paisagem
	Início ou aceleração de processos erosivos
	Interferência em áreas minerárias
BIÓTICO	Alteração na vegetação

MEIO	IMPACTOS AMBIENTAIS
	<p>Interferência com a fauna silvestre durante as atividades de supressão da vegetação</p> <p>Aumento na incidência de atropelamentos de animais silvestres.</p> <p>Aumento da pressão de caça</p> <p>Aumento na incidência de acidentes com animais peçonhentos</p> <p>Incidência de colisões de aves com linhas de transmissão</p>
SOCIOECONÔMICO	<p>Criação de expectativas e incertezas</p> <p>Alteração na dinâmica da população</p> <p>Aumento da oferta de postos de trabalho</p> <p>Dinamização da economia</p> <p>Pressão sobre infraestrutura de serviços especiais</p> <p>Interferência como uso e ocupação do solo</p> <p>Aumento do tráfego de veículos, ruídos e poeiras</p> <p>Risco de interferência com o patrimônio histórico, cultural e arqueológico.</p> <p>Desmobilização da mão de obra</p> <p>Melhoria no fornecimento de energia elétrica</p>

(Fonte: Tabela elaborada a partir dos dados do Relatório Ambiental Simplificado [RAS] da LT Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2)

É sabido que a identificação e avaliação de todos esses aspectos são de extrema importância para minimizar os impactos negativos do empreendimento como um todo, assim como suplantam os impactos positivos. Entretanto, neste trabalho será dada ênfase aos itens relacionados ao surgimento e aceleração de processos erosivos.

A modificação sobre o sistema natural de drenagem e o início e aceleração de processos erosivos estão estritamente relacionados, visto que o segundo pode ser considerado uma das causas do primeiro. Ocorrem principalmente na abertura de novos acessos e melhoria dos existentes, na abertura das áreas de torres e ao longo dos corredores e praças para lançamento dos cabos, quando ocorre a supressão da vegetação. Neste sentido, medidas mitigadoras devem ser tomadas para evitar a ocorrência de novos

processos erosivos em virtude da desagregação e remoção do solo, assim como o carreamento de sedimentos para os cursos d'água (DOSSEL, 2014).

Em empreendimentos deste tipo, é necessário que haja um monitoramento constante ao longo do traçado durante toda a vida útil da LT, de forma que o surgimento desses focos erosivos sejam devidamente identificados e controlados. Além disso, medidas preventivas e/ou corretivas deverão ser implantadas na fase de construção, por meio da utilização de técnicas especiais de instalação, principalmente nas etapas de abertura de acesso e fundação das torres, que são as fases de grande movimentação de solo (DOSSEL, 2014).

Devem ser feitas ainda, drenagens eficientes na faixa de servidão da linha a fim de assegurar o bom escoamento das águas, definir obras especiais nos trechos de maior fragilidade, principalmente no que se refere à estabilidade de taludes, revestimento vegetal de taludes sujeitos à erosão, monitoramento das áreas com preexistência de processos erosivos que possam vir a causar problemas ao sistema operacional da linha (DOSSEL, 2014).

### **3.4 Processos Erosivos**

Erosão é um termo proveniente do latim *erodere* cujo significado é corroer, dentre uma série de conceitos existentes, podemos definir erosão como um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são degradados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos, tais como geleiras, rios, mares, vento ou chuva (BASTOS, 2004).

A erosão natural ou geológica é o desgaste da superfície da terra por agentes naturais, como água, gelo ou vento, sem perturbações provocadas pelo homem. Já a erosão antrópica ou acelerada é resultante da ocupação inadequada dos solos por atividades agrícolas ou urbanas, que aceleram intensificam os processos erosivos (GRILO; ENAMI, 2008).

No Brasil, a erosão hídrica é a mais importante e, neste caso, o processo erosivo pode ser dividido em três sub-processos: desagregação, transporte e deposição. A desagregação ocorre quando as forças erosivas do impacto da gota de chuva e a força cisalhante do escoamento superficial excedem a resistência do solo à erosão. Essas partículas desagregadas são então transportadas por salpicamento e escoamento superficial entre sulcos ou canalizadas em sulcos. Já a deposição ocorre quando a carga

de sedimentos de um dado tipo de partícula excede a capacidade de transporte do escoamento (FOSTER, 1982).

O transporte de solo pela água depende de uma série de fatores, como por exemplo, da quantidade, intensidade e duração da chuva, do tipo de solo, da cobertura vegetal, da declividade, do uso e ocupação do solo. A interpelação desses diferentes fatores confere maior ou menor resistência à formação de processos erosivos, o que pode ser chamado de vulnerabilidade ou risco do solo a erosão (DOMINGOS, 2006).

Também as características físicas do solo como o grau de agregação, a permeabilidade e a profundidade, influenciam na suscetibilidade do solo à erosão. Por exemplo, solos de textura grosseira e rasos são os mais suscetíveis aos processos erosivos devido à fraca agregação entre partículas e baixa capacidade de armazenamento de água (MAGALHÃES, 2010).

Neste sentido, o fenômeno da erosão, apesar de ser um processo natural, vem sendo cada vez mais acelerado pelo homem, causando problemas não apenas em seu local de origem, mas em todo o contexto de uma bacia hidrográfica, reduzindo a fertilidade do solo; criando ravinas e voçorocas; assoreamento de rios, lagos e reservatórios, além de contribuírem com inundações (DOMINGOS, 2006).

#### **3.4.1 Formas de Erosão Hídrica**

A erosão hídrica pode ser classificada em lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) e laminares (SOUZA et al., 2014). Todas essas formas podem ocorrer simultaneamente no mesmo terreno (BERTOLDI; LOMBARDI, 2012).

Essa classificação é considerada progressiva, de acordo com a concentração de enxurradas na superfície do solo (BERTOLDI; LOMBARDI, 2012). Neste sentido, a erosão laminar é o início do processo erosivo, chamada de lavagem da superfície do solo, em seguida, a erosão em sulcos ocorre quando as enxurradas se juntam em um determinado ponto do terreno e vai abrindo sulcos que se tornam cada vez maiores.

A erosão em voçoroca representa um estágio mais avançado da erosão em sulcos, ocorre quando esta não é controlada e passa a expandir em largura e profundidade. Estes sulcos se tornam cada vez maiores e mais profundos, impedindo a passagem de máquinas e tornando inúteis grandes superfícies de uma propriedade (MATRICARDI, 1992).

Alguns estudos consideram a erosão pelo impacto da chuva como sendo a primeira fase do processo erosivo, neste sentido, serão apresentadas as formas de erosão, de acordo com a classificação de BERTOLDI; LOMBARDI (2012):

- **Erosão pelo impacto da chuva:** considerada o primeiro estágio do processo erosivo, ocorre quando as gotas de chuva tocam o solo causando o desprendimento das partículas, dividindo-as em partículas menores e diminuindo a capacidade de infiltração, fazendo com que haja acúmulo de água.
- **Erosão laminar:** segundo estágio, ocorre quando a água acumulada começa a se deslocar no sentido da inclinação do terreno, retirando pequenas camadas do solo no seu trajeto, esta erosividade depende do tamanho da enxurrada.
- **Erosão em sulcos:** surge devido a pequenas irregularidades na declividade do terreno, o que causa o acúmulo de água em alguns pontos do terreno, que atingem volume e velocidade acarretando na formação de riscos no solo.
- **Erosão em voçorocas:** é a forma mais agressiva de erosão e a de maior dificuldade de contenção, surge quando existe grande concentração de enxurradas passando num mesmo local ano após ano.
- **Deslocamentos e escorregamentos de massas do solo:** na maioria das vezes, são ocasionados por aterros ou cortes feitos em locais inapropriados, como taludes de estradas.

### 3.4.2 Equação Universal de Perda de Solo - USLE

A erosão dos solos tem sido um dos assuntos mais discutidos atualmente no Brasil e no mundo, em função da rapidez com que ocorre e pelos grandes prejuízos causados às atividades produtivas e principalmente ao meio ambiente (AMORIM et al., 2010). Neste sentido, diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados desde a década de 50, com o intuito de prever a magnitude das perdas de solo por erosão, visando auxiliar no planejamento agrícola, principalmente em locais onde as perdas de solo são superiores aos limites toleráveis (AMORIM, 2003).

Em 1965 agências de pesquisa dos Estados Unidos propuseram um modelo empírico denominado Equação Universal de Perdas de Solo (USLE - sigla em inglês para Universal Soil Loss Equation), revisada e publicada por WISCHMEIER; SMITH em 1978, no "Agriculture Handbook 537", após anos de estudo e evolução.

A USLE permite estimar as perdas médias anuais de partículas de solo/substrato por erosão laminar de uma área sob determinado manejo (CORRÊA, 2009). É um dos modelos de predição da erosão mais conhecido e utilizado mundialmente. Sua razoável exatidão, bem como sua simplicidade e disponibilidade de dados, permite uma aplicação praticamente universal (TÁNAGO, 1991; CHAVES, 1996).

Não obstante, pesquisas vêm sendo feitas no sentido de encontrar as falhas e fraquezas deste modelo, já que ele muitas vezes não consegue satisfazer os crescentes desafios impostos pelos problemas de erosão (AMORIM, 2003).

Nesse sentido, sabe-se que a USLE não consegue uma estimativa da perda de solo em fases mais avançadas da erosão como sulcos e voçorocas, além disso, não é possível obter informações das variabilidades temporal e espacial da erosão durante uma chuva, por exemplo (WILLIAMS, 1975).

Nos EUA há um expressivo banco de dados disponível, o que facilita sua ampla utilização, entretanto, não é o que acontece em outros locais, com condições diferentes daquelas para as quais ela foi desenvolvida. Desta forma, sua aplicação requer a realização de pesquisas para obtenção dos termos componentes do modelo. Em 1985 BERTONI; LOMBARDI NETO fizeram adaptações na USLE para as condições brasileiras.

A USLE exprime a ação dos principais fatores que sabidamente influenciam a erosão hídrica, a equação desenvolvida por WICHMEIER; SMITH (1978) é expressa por:

$$A = R K L S C P \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

A: perda de solo calculada por unidade de área, t/ha;

R: fator de erosividade da chuva (MJ/ha.mm/ha);

K: fator de erodibilidade do solo (MJ/ha.mm/ha);

L: fator de comprimento do declive

S: fator de grau de declividade

C: fator de uso e manejo do solo

P: fator de prática conservacionista

### 3.5 Geoprocessamento aplicado à Linhas de Transmissão

O geoprocessamento pode ser definido como uma ferramenta que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratar informações geográficas, por este motivo, vem influenciando fortemente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia, planejamento urbano e regional (CÂMARA; DAVIS, 2006).

Considerando um país de dimensões continentais como o Brasil, com grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas

urbanos, rurais e ambientais, o uso do geoprocessamento apresenta um enorme potencial de desenvolvimento, monitoramento e coleta de dados. Afinal, ter informações espaciais confiáveis de determinada região é indispensável antes de se tomar qualquer decisão relacionada ao uso e ocupação da terra.

No caso de empreendimentos lineares, o estudo da viabilidade do empreendimento precisa considerar características espaciais locais, como os diferentes relevos, vegetação e geologia, pois através destes, são confeccionadas alternativas de traçado que levam em conta os custos diretos, envolvidos na construção, e os indiretos, como por exemplo, desapropriação e reassentamentos (KOCHEN, 2006). Sendo assim, a utilização da ferramenta de geoprocessamento na definição das rotas de linhas aéreas, sem dúvida eleva a qualidade técnica e, principalmente, operacional dos novos projetos de linhas de transmissão (BELÉM, 2009).

O emprego dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permite a aquisição de dados com maior rapidez, além de ser possível a realização análises espaciais. Sendo assim, através da geração de planos de informações geográficas diversas como, por exemplo, o relevo, a geologia e a declividade, é possível selecionar e gerenciar o traçado de maneira otimizada, conforme os parâmetros ambientais exigidos, sendo possível entender como o meio ambiente está representando antes mesmo de se visitar o local (RAMOS, 2009).

O uso de geoprocessamento também se torna essencial na fase de operação e manutenção de empreendimentos de linha de transmissão, levando em consideração que as concessionárias de energia necessitam de uma metodologia que permita o monitoramento e a gestão dos corredores que abrangem a LT, tanto em relação à expansão de processos erosivos e riscos associados à vegetação, quanto aos casos de invasões e descontrole sobre a área.

Neste contexto, a geotecnologia tem a vantagem de associar dados alfanuméricos a dados geográficos, especializando e diagnosticando a real situação das LT's (OLIVEIRA et al., 2005). Desta forma, esta ferramenta entra como facilitadora no gerenciamento da área de domínio das empresas de transmissão de energia elétrica.

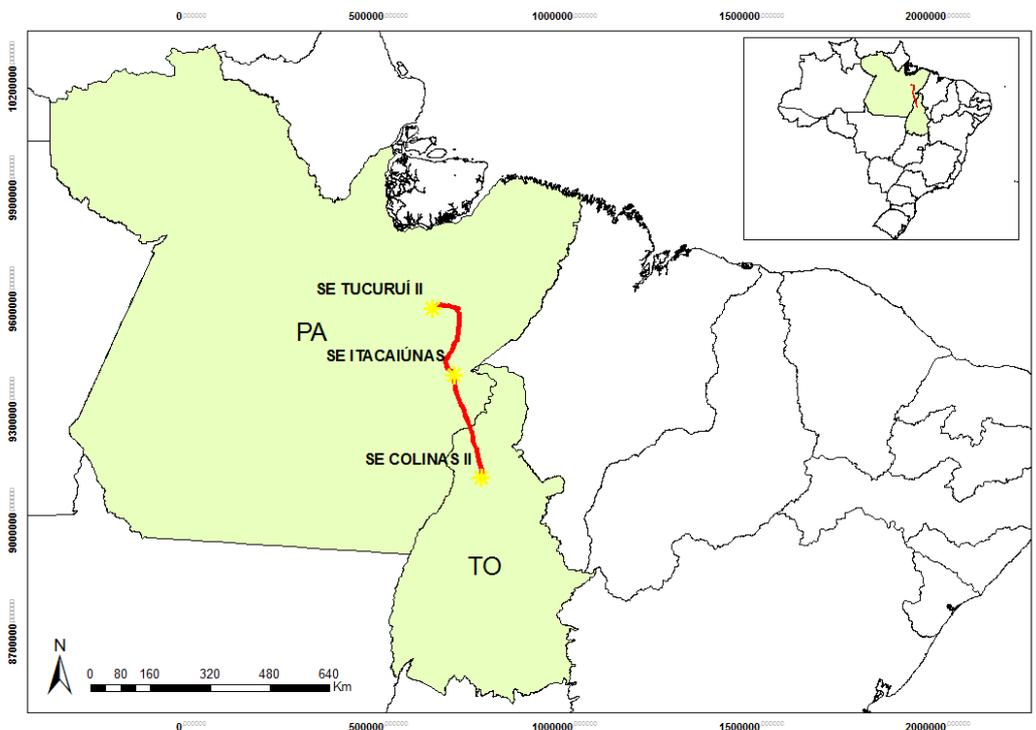
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo de caso deste projeto é a LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, considerado um empreendimento de pequeno potencial de impacto ambiental e sujeito a licenciamento ambiental simplificado. A Licença de Instalação do empreendimento foi emitida pelo órgão ambiental responsável, porém, as obras não foram iniciadas até o momento da realização deste estudo.

A construção da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2 apresenta importância estratégica para o sistema elétrico nacional a curto prazo, tendo em vista que integra o conjunto de obras que trarão o reforço necessário ao Sistema Norte para o escoamento da potência gerada no Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Belo Monte (DOSSEL, 2014).

A LT tem a extensão de 563 km e será instalada nos estados do Pará e Tocantins, composta por dois trechos, LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas e LT 500 kV Itacaiúnas – Colinas (C2). O empreendimento prevê, ainda, a expansão de três subestações já existentes. Na **Figura 2** encontra-se a localização da LT e das subestações em contexto estadual e nacional.



**Figura 2:** Localização da LT e das Subestações no contexto nacional.

A **Tabela 2** apresenta os detalhes das obras previstas, assim como os municípios envolvidos.

O empreendimento possui acesso por rodovias asfaltadas, estradas vicinais e ramais de terra. A escolha do traçado, sempre que possível, manteve o paralelismo com rodovias, bem como com outras linhas de transmissão existentes na região.

Construir uma LT paralela a outra preexistente reduz significativamente o impacto ambiental do empreendimento, além de conciliar diversas vantagens técnicas e operacionais, como o aproveitamento dos acessos construídos pelas LTs em operação, minimizando, assim, a necessidade de abertura de novas vias, a movimentação de terra, a supressão vegetal e principalmente a iniciação de processos erosivos (DOSSEL, 2014).

Com relação aos detalhes da instalação, estima-se que serão instaladas 1407 (mil quatrocentos e sete) torres, considerando uma distância média de 400 metros entre elas. A faixa de servidão da LT corresponde a um corredor contínuo de 70 metros de largura (35m para cada do lado do eixo da LT) ao longo de todo o traçado.

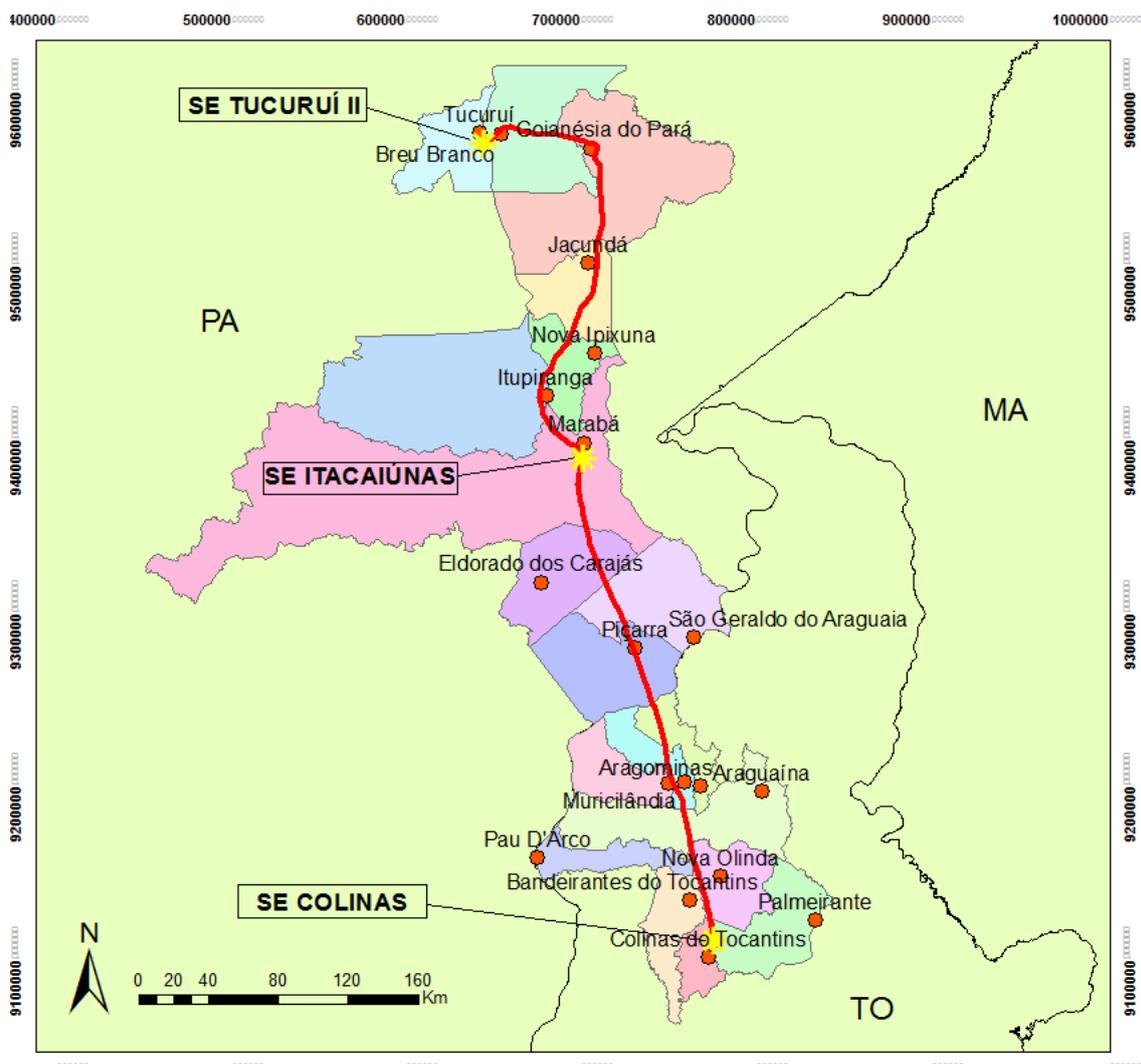
Já a Área de Influência Indireta (AII) para os meios físico e biótico foi definida como sendo uma faixa contínua ao longo de todo o traçado com extensão de 5 km para cada lado da faixa de servidão administrativa, acrescidos das manchas expressivas de vegetação natural, cursos hídricos e áreas de preservação, quando iniciadas nessa faixa e extrapolando seus limites.

Para o meio socioeconômico, a área de influência indireta (AII) foi estabelecida como o conjunto dos municípios diretamente afetados. Ou seja, aqueles cujo território será atravessado pelo empreendimento ou que vai receber estruturas de apoio às obras e/ou a sua operação. No total somam-se 19 municípios, sendo 10 no estado do Pará e 09 no Tocantins (**Figura 3**).

**Tabela 2:** Obras previstas no empreendimento LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2

<b>OBRAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO</b>						
<b>LT</b>	<b>Origem</b>	<b>Destino</b>	<b>Extensão (km)</b>	<b>Municípios</b>	<b>UF</b>	
LT 500 kV Tucuruí - Itacaiúnas	SE Tucuruí (Etapa II)	SE Itacaiúnas	272	Tucuruí, Breu Branco, Goianésia do Pará, Jacundá, Nova Ipixuna, Itupiranga, Marabá	PA	
				Marabá, Eldorado dos Carajás, São Geraldo do Araguaia, Pirraça	PA	
LT 500 kV Itacaiúnas – Colinas (C2)	SE Itacaiúnas	SE Colinas	291	Aragominas, Muricilândia, Santa Fé do Araguaia, Araguaína, Nova Olinda, Pau D'Arco, Bandeirantes do Tocantins, Palmeirante, Colinas do Tocantins	TO	
<b>OBRAS DE SUBESTAÇÕES</b>						
<b>Subestação</b>	<b>kV</b>	<b>Atividade</b>	<b>Município</b>	<b>UF</b>	<b>Coordenadas UTM - Fuso 22M (DATUM WGS84)</b>	
					<b>S</b>	<b>E</b>
Tucuruí (Etapa II)	500	Ampliação	Tucuruí	PA	9.577. 142,04	649.052,72
Itacaiúnas	500	Ampliação	Marabá	PA	9.396. 356,08	705.133,55
Colinas	500	Ampliação	Colinas do Tocantins	TO	9.118. 172,80	780.762,22

Fonte: Relatório Ambiental Simplificado [RAS] da LT Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 (2014).



**Figura 3:** Traçado da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2.

As regiões interceptadas pela diretriz proposta para a LT apresentam baixos índices de ocupação urbana e cobertura florestal, salvo as áreas protegidas, sendo composta predominantemente por pasto, com pequenos trechos de capoeira. Esse quadro de ocupação do solo é consequência da expansão do setor agropecuário nas últimas décadas. A região apresenta ainda diversos empreendimentos do setor elétrico, além de extensa malha viária.

A maior parte do empreendimento está inserido na bacia Tocantins-Araguaia, sendo apenas uma pequena parte incorporada na região hidrográfica Atlântico – Trecho Norte/Nordeste. Foram identificadas também Unidades de Conservação e Terras Indígenas no interior ou próximas ao corredor de estudo.

Foi estabelecida como Área de Influência Direta (AID) a porção de terras pertencentes à faixa de servidão administrativa e às estruturas de apoio, ou seja, uma faixa

de 70 m de largura ao longo do corredor da LT e as vias de acesso ao empreendimento, incluindo as estradas principais, secundárias e acessos para chegada nas torres.

No presente estudo será considerada a Área de Influência Indireta (AII) para o meio físico e biótico, pois a maioria das estradas de acesso, áreas de supressão vegetal e praças de torres sujeitas à processos erosivos se encontram dentro desta delimitação.

A LT será instalada quase totalmente no Bioma Amazônico, de acordo com o Mapa de Vegetação do Brasil (IBGE, 2004), descontando-se as áreas de tensão ecológica entre os tipos de vegetação e as áreas cujo a cobertura inicial é o Cerrado, que representam apenas 1,44% da linha.

De acordo com o Manual Técnico da Vegetação Brasileira (IBGE, 2012), na AII do empreendimento ocorrem principalmente três Subgrupos de Formações: Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta (com Cipós e com Palmeiras) representando o bioma amazônico, além de Savana Florestal (Cerradão) retratando o bioma Cerrado.

Com relação aos aspectos climáticos, as áreas de influências direta e indireta (AID e AII) do empreendimento estão na zona de transição das tipologias climáticas Aw e Am., de acordo com a metodologia de Köppen. A tipologia Aw possui duas estações bem definidas, com verões chuvosos e invernos secos, sendo caracterizado como clima tropical e observado nas porções sul do empreendimento, principalmente no estado do Tocantins. Já nas porções norte, o clima predominante é o classificado como Am, tipo equatorial, com pequena estação seca e temperatura elevada o ano todo. Portanto, as temperaturas na AII são relativamente homogêneas ao longo de todo o traçado, sendo a porção sul a que apresenta a maior variação.

Com relação à pedologia da área de estudo, a partir de estudos de campo realizados pela equipe do RAS, foram observados regionalmente as seguintes tipologias: argilossolos vermelho-amarelo distróficos (PVAd), gleissolos háplicos distróficos (GXbd), latossolos vermelho, amarelo e vermelho-amarelo distróficos (LVd, LAd e LVAd), neossolos quartzarênicos órticos (RQo) e neossolos litólicos distróficos (RLd), plintossolos pétricos concrecionários (FFc) e espodossolos ferrihumilúvicos hidromórficos (ESKg). Sendo os argilossolos vermelho-amarelos distróficos predominantes ao longo de todo o traçado, compreendendo uma área de 60% em relação a todos os outros tipos de solo.

## 4.2 Cálculo da USLE

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE), utilizada no presente estudo, teve como base a equação desenvolvida por Wischmeier e Smith nos anos 60 com o fator LS adaptado para o SIG por MITASOVA (1996).

A estimativa da erosão em grandes extensões através de análises espaciais no formato *raster* difere um pouco da estimativa tradicional da erosão em glebas rurais com a USLE, onde valores médios dos fatores da equação são utilizados para áreas homogêneas (CHAVES, 2012).

Neste estudo foi feita a rasterização dos mapas da USLE e o cruzamento dos planos de informações no SIG, utilizando o *software* ArcGIS 10.2.2®. Esse cruzamento foi feito *pixel a pixel*, onde cada fator da USLE foi um plano de informação.

A seguir são apresentadas as metodologias de espacialização e *rasterização* de cada fator da Equação (1). Posteriormente será apresentada a metodologia de cruzamento no SIG, para a então obtenção do mapa de risco de erosão da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

### 4.2.1 Fator de Erosividade da Chuva (R)

O fator chuva (R) é um índice numérico que expressa capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Desta forma, em um dado local e em dado ano, o fator R será o somatório do produto da energia cinética das chuvas pela máxima intensidade observada em 30 minutos - EI<sub>30</sub> (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Porém, devido à falta de séries de dados de 22 anos ou mais, necessário à obtenção do EI<sub>30</sub>, neste estudo foi utilizada a Equação de Fournier, uma equação empírica entre R e volumes médios mensais e anuais de precipitação, dada por:

$$R = a (Pm^2/P^b) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

R (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) = erosividade da chuva e enxurrada;

Pm (mm) = precipitação média mensal do local;

P (mm) = precipitação média anual do local;

a e b = coeficientes empíricos de ajuste.

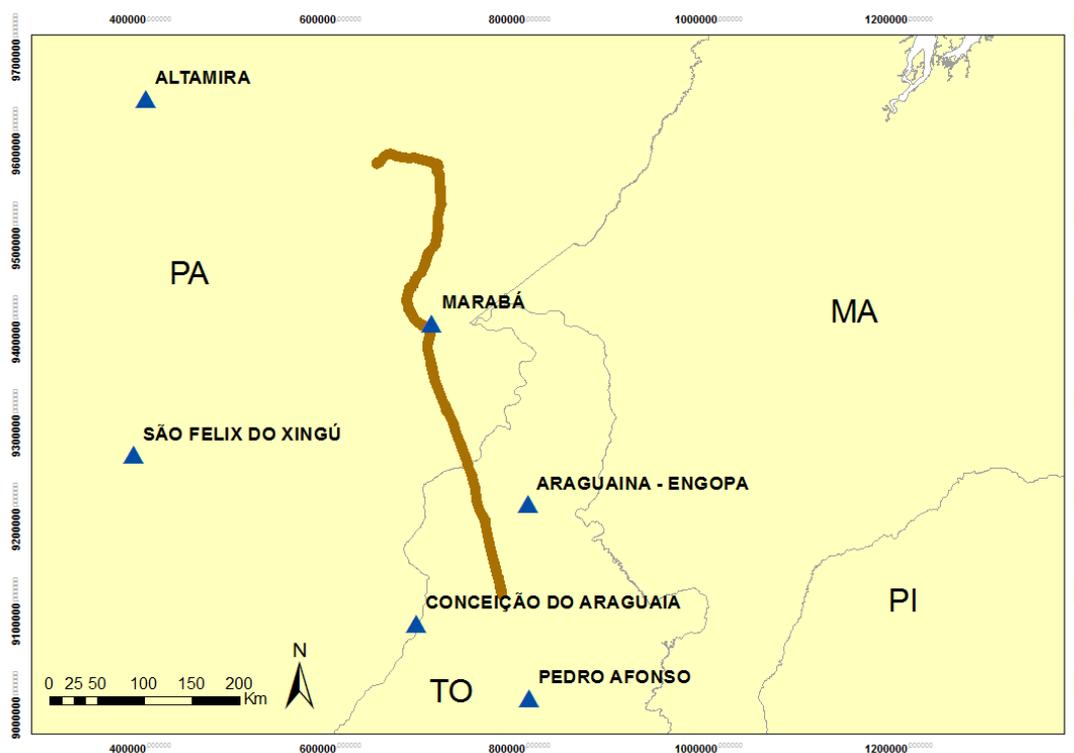
De acordo com estudos realizados por SILVA (2004), existe alta correlação ( $r^2 = 0,975$ ;  $\alpha=1\%$ ) entre a distribuição geográfica da erosividade anual e os índices pluviométricos anuais no Brasil.

A aquisição dos dados de precipitação mensal e anual foi feita através da plataforma BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa), encontrada no site do INMET. Antes dos cálculos, os dados passaram por uma análise de consistência, onde meses e anos faltantes foram eliminados.

Os coeficientes empíricos a e b foram encontrados em SILVA (2004). Deste modo, para a região de estudo, a equação de Fournier utilizada foi a seguinte:

$$R = 36,849 \sum \left( \frac{P_{mi}^2}{P} \right)^{1,0852} \quad \text{Equação (3)}$$

Primeiramente foram selecionados 6 (seis) pluviômetros presentes na Área de Influência Indireta do empreendimento ou nas proximidades, todos eles cadastrados no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Na **Figura 4** é possível a localização das estações escolhidas.



**Figura 4:** Estações climatológicas selecionadas para a aquisição de dados necessários ao cálculo do Fator R, localizados na Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 ou nas proximidades.

Posteriormente, foi realizada a espacialização dos dados pontuais de erosividade, centrados nos pontos pluviométricos. Após o teste de diferentes métodos de interpolação (Polígonos de Thiessen e Inverso do Peso da Distância – IDW), o método da *Krigagem* foi o que apresentou o melhor resultado.

A *krigagem* é muito usada na geoestatística para interpolação de dados, utiliza funções matemáticas para acrescentar pesos maiores nas posições mais próximas aos pontos amostrais e pesos menores nas posições mais distantes, criando novos pontos interpolados com base na combinação lineares dos dados (STEIN, 1999).

#### **4.2.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)**

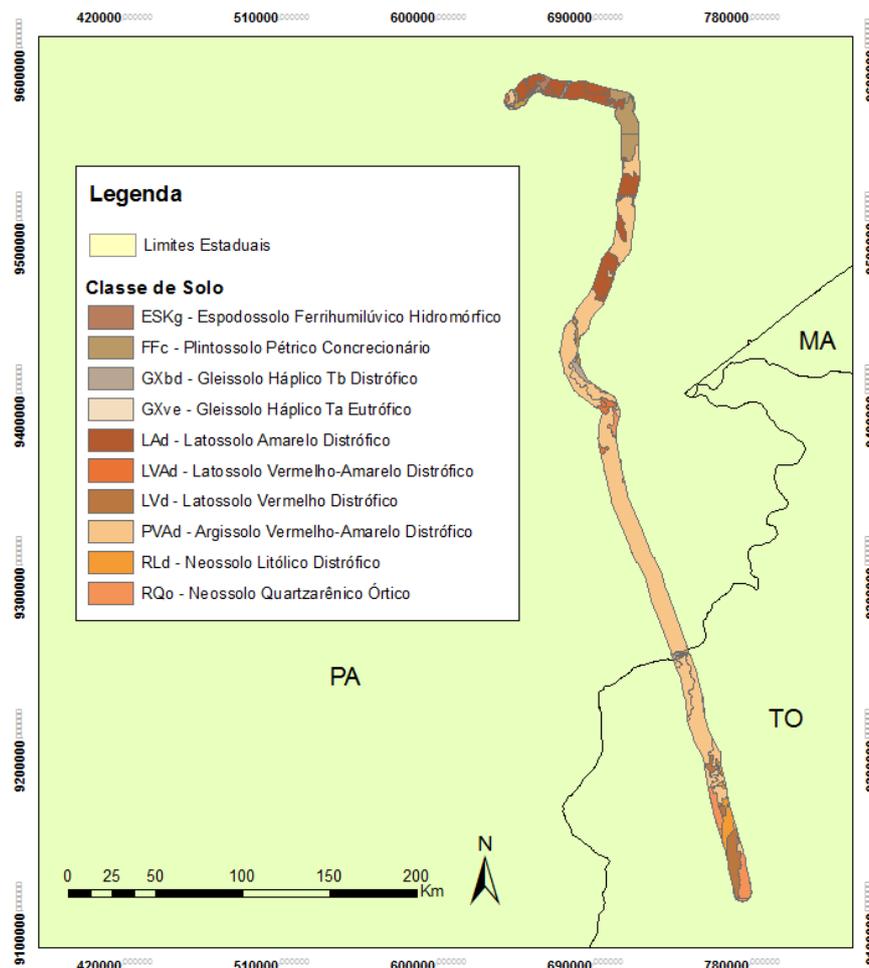
O parâmetro erodibilidade K do solo refere-se à suscetibilidade de um solo à erosão, sendo que o mesmo varia naturalmente conforme as características físicas do solo e se modifica conforme o tipo de solo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Inicialmente, buscou-se a identificação das classes de solo presentes na Área de Influência Indireta do Empreendimento, para tanto, foi utilizado a base de dados pedológicos produzida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

No presente estudo, a aquisição dos valores de erodibilidade para os diferentes tipos de solo encontrados ao longo do traçado foi feita utilizando dados disponíveis em publicações atuais. Posteriormente, com base nos valores de erodibilidade, foi calculado o mapa do fator K da área de estudos.

Existem três maneiras de se obter os valores de K: i) diretamente, quando os outras variáveis da USLE são conhecidas (CHAVES, 2012), ii) através do namograma da USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978), no caso de solos em regiões temperadas, que relaciona fatores como textura, teor de matéria orgânica, estrutura e permeabilidade do solo ao cálculo da erodibilidade, e iii) por meio de equações de regressão, usando dados de textura e mineralogia do solo (CHAVES, 1996).

A **Figura 5** apresenta a distribuição das classes de solos encontradas na região.



**Figura 5:** Mapa de Pedologia produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e extraído para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

#### 4.2.3 Fator de Comprimento do Declive e Grau de Declividade (LS)

A intensidade de erosão hídrica é fortemente influenciada tanto pelo comprimento quanto pelo gradiente do declive. Para a aplicação prática da equação de perda de solos, esses fatores são considerados em conjunto, como um fator topográfico LS.

Para tanto, optou-se pela utilização do método de MITASOVA et al. (1996) devido à sua simplicidade e robustez, além de ser um modelo especificamente aplicável à Sistema de Informações Geográficas (SIG). Desta forma, gera a distribuição espacial das áreas com potencial topográfico para erosão, e agrega a abordagem da unidade de potência de escoamento, desenvolvida por MOORE; BURCH (1986), mostrando ser o modelo mais completo para o estudo em questão.

Deste modo, o fator LS da USLE em determinada célula de coordenadas (x, y) é dado pela seguinte equação:

$$LS(x, y) = \underbrace{(m+1) [A(x, y) / 22,1]^m}_{L} \underbrace{[\text{sen } s(x,y) / 0,09]^n}_{S} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$LS(x, y)$  = fator LS da USLE da célula de coordenadas  $(x, y)$  (adimensional);

$A(x, y)$  = área de contribuição a montante da célula  $(x, y)$ , por unidade de curva de nível ( $m^2/m$ );

$s(x,y)$  = declividade da célula  $(x,y)$  (graus);

$m$  = expoente que depende do tipo de erosão predominante (sulcos ou entre-sulcos) (0,4-0,6);

$n$  = expoente que depende do tipo de erosão predominante (sulcos ou entre-sulcos) (1,0-1,4).

Sendo que o termo do lado esquerdo da equação representa o fator L da USLE, e o da direita o fator S. Neste trabalho foram escolhidos os valores 0,4 e 1,0 para os expoentes  $m$  e  $n$ , respectivamente.

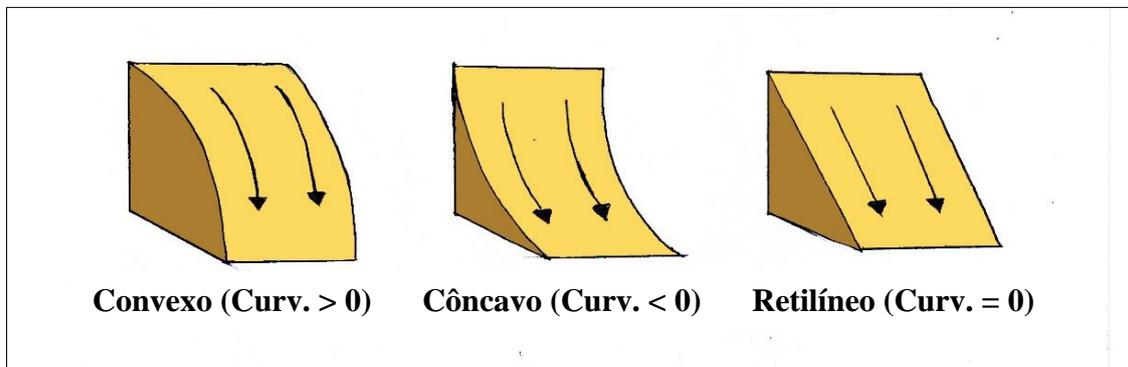
Tanto a área de contribuição a montante das células do MDE da bacia ( $A(x, y)$ ), como a sua declividade ( $s(x, y)$ ) foram obtidas através de análise espacial no SIG, a partir do modelo digital de elevação TOPODATA (INPE, 2008), gerado através de processamentos digitais do SRTM.

Devido ao fato do MDE apresentar erros altimétricos típicos de um sensor com esta resolução espacial, o que poderia comprometer a obtenção do mapeamento de acúmulo de fluxo, foi feita a correção nas áreas próximas aos canais, mais sujeitas a erros. Para tanto, utilizou-se a operação *fill sinks*, do *Spatial Analyst* do ArcGIS, que preenche as imperfeições do MDE, previamente as operações de análise espacial.

A próxima etapa foi o mapeamento da direção e acúmulo de fluxo a partir do MDE corrigido com o auxílio do *software* ArcGIS.

Antes do cálculo do fator L propriamente dito, foi necessário a identificação das áreas deposicionais do terreno, ou seja, aonde a perda de solo é "negativa" e, portanto, a USLE não é aplicável. Essas áreas correspondem às zonas de concavidade acentuada no terreno, tais como quebras de relevo, pés de encostas e talvegues. Desta forma, foi realizada uma análise de curvatura do terreno, a partir do comando *curvature* do *Spatial Analyst* do ArcGIS, onde áreas deposicionais foram consideradas as de curvatura menor ou igual a -0,5 ("Curv"  $\leq$  -0,5).

O limite inferior de -0,5 decorreu de uma análise de sensibilidade do mapa de curvatura do MDE, que variou de -10,0 a +10,0, com áreas retilíneas apresentando uma curvatura próxima a zero. A **Figura 6** detalhe os diferentes perfis de terreno calculados pelo *curvature*.



**Figura 6:** Tipos de perfis do terreno, calculados pelo comando *curvature* do *Spatial Analyst* do ArcGIS.

Além das áreas deposicionais, as células correspondentes a talvegues naturais (ravinas ou canais perenes) também foram identificadas, para tanto, foram associadas a valores de L superiores a 10,0. Também nessas áreas a USLE não é aplicável (WISHMEIER, 1976).

Finalmente, o mapa do fator L pôde ser calculado, a partir da Equação (4) e da eliminação das células de curvatura  $\leq 0,5$  e com fator  $L > 10,0$ . Posteriormente, foi obtido o mapa de declividade das células do MDE corrigido com o uso do comando *slope* do ArcGIS, a partir do qual foi calculado o mapa do fator S.

Por fim, o mapa do fator LS foi calculado pelo produto dos mapas de L e S no SIG a partir da álgebra de mapas.

#### 4.2.4 Fator de Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)

O fator de uso e manejo do solo (C) é aquele com menor confiabilidade nas regiões tropicais, devido ao fato da grande variedade de coberturas do solo nos trópicos, bem como da diversidade de tipos de manejo utilizados (CHAVES, 2012).

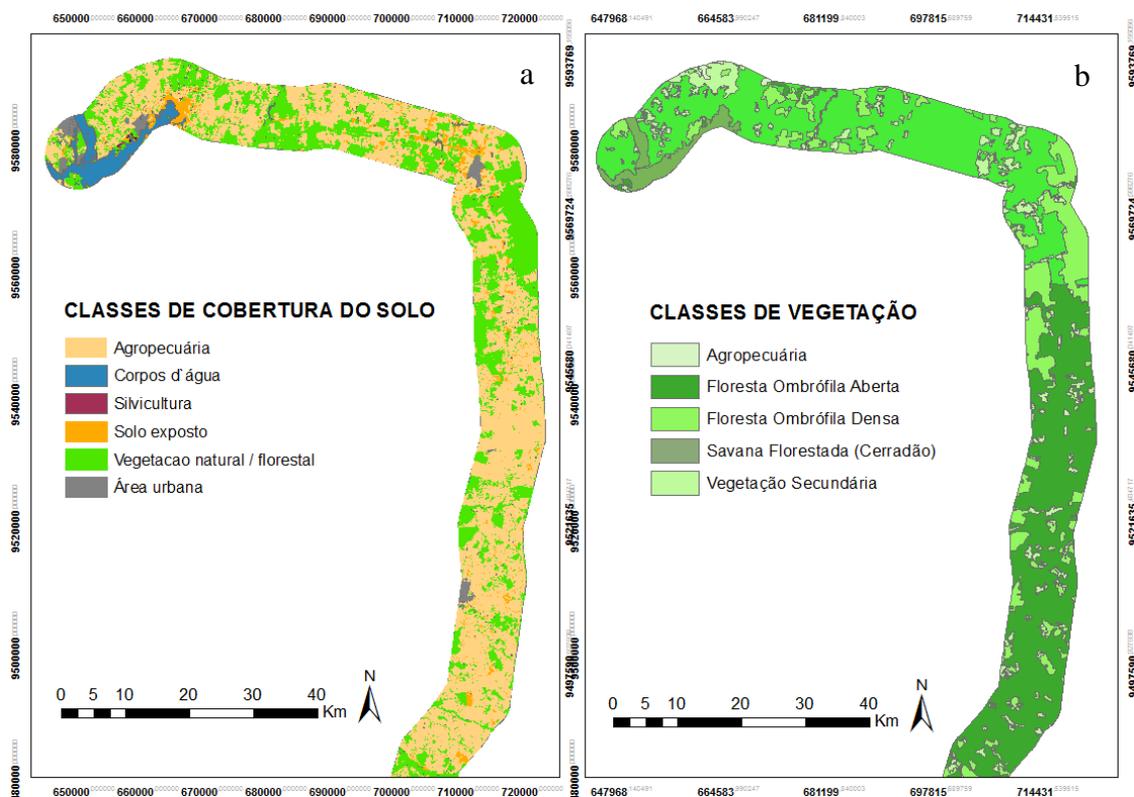
O mapa de cobertura do solo na AII da LT foi obtido na escala 1:100.000, no âmbito do processo de produção do RAS. Para tanto, foram utilizadas imagens *ResourceSat - 1*, que passaram pelo processo de classificação supervisionada para a determinação das classes de uso da terra.

Posteriormente, tomou-se como base o mapa de vegetação produzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004) para a produção de um mapa

de vegetação, onde as classes foram agrupadas em classes mais amplas. Este mapa de vegetação adaptado foi inserido dentro da classe “Vegetação natural/florestal” do mapa de cobertura do solo.

Deste modo, o fator C da USLE ficou mais detalhado, a partir da diferenciação dos diferentes tipos de vegetação, aonde puderam ser levados em consideração fatores como percentagem da área coberta pela copa das árvores, pela vegetação rasteira e pela serrapilheira, para a determinação do valor associado.

Na **Figura 7** são apresentados os mapas utilizados como subsídio para a produção do mapa de cobertura do solo em um trecho da área de estudo.



**Figura 7:** (a) Mapa de Cobertura do Solo (RAS da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2) e (b) Mapa de Vegetação adaptado do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em um trecho da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

As fontes para a estimativa do fator C na bacia foram tabelas de vegetação perene e semiperene do Manual AH-537/USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978), que até os dias atuais é a principal referência para estudos de erosão em todo o mundo. Além de outras publicações pertinentes.

A tabela 10 do “Agriculture Handbook 537” apresenta o fator C para florestas não perturbadas, os valores variam de acordo com a percentagem de cobertura do dossel, da

vegetação rasteira e da serrapilheira, além de variações de altura do dossel. Enquanto a tabela 11 apresenta intervalos do fator C para áreas de pousio e pasto.

Com relação ao fator P, a área de estudo está inserida na região da Transamazônica, caracterizada pela falta de técnicas adequadas ao manejo do solo, tornando-se propensas aos processos erosivos (MARQUES et al., 2007). Desta forma, as práticas de agricultura empregadas acarretam sérios danos ao ecossistema, como o desflorestamento acentuado e assoreamento de rios, transformando áreas antes consideradas aptas à agricultura em áreas alteradas (CASTELLANET et al., 1998).

Não havendo práticas conservacionistas, o valor atribuído ao fator P, por definição, é 1,0 (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Devido às características do local, para efeito deste estudo,  $P=1,0$ , considerando que as práticas conservacionistas, se realizadas, são insignificantes diante da extensão da área de estudo.

#### **4.3 Verificação do Mapa de Cobertura do Solo**

Sabe-se que o cálculo da USLE é feito com base em seis fatores principais e que cada um desses fatores é a estimativa numérica de uma condição específica que afeta a gravidade da erosão do solo em determinado local. Portanto, a acurácia e a precisão de cada uma das variáveis inseridas na equação irão determinar a precisão dos resultados gerados pela USLE.

Considerando que o fator (C) é um dos mais importantes do ponto de vista do planejamento de conservação, pois ele reflete as mudanças no uso da terra adotadas para reduzir a erosão (EDUARDO, 2012), e que o modelo USLE apresenta uma sensibilidade de 66% as mudanças desse fator (GÓMEZ, 2012) será feita a verificação do mapa cobertura do solo, utilizado para o cálculo do fator C.

Para tanto, foi realizado um tratamento estatístico visando a verificação do mapa de cobertura do solo, criado com base em imagens *ResourceSat* (23,5 m de resolução espacial). Foram amostrados pontos aleatórios com o auxílio da ferramenta *Create Random Points* do ArcGIS. Esses pontos foram checados através da interpretação visual de imagens do satélite *RapidEye*, que possuem uma resolução espacial de 5 m, maior do que a resolução das imagens que auxiliaram a criação do mapa de cobertura do solo.

Ressalta-se que foi tomado o cuidado de selecionar imagens *RapidEye* pertencentes ao ano de 2014, mesmo ano de produção do mapa de cobertura do solo, para evitar mudanças temporais, como colheita e desmatamento. Em vista disso, será utilizado

o modelo estatístico da matriz de confusão, que gera dados que revelam acurácia total, acurácia do produtor, acurácia do usuário e o índice *Kappa*.

A acurácia do usuário refere-se aos erros de inclusão ou comissão, indica a probabilidade de uma categoria classificada representar a mesma categoria no campo. Já a acurácia do produtor leva em consideração os erros de exclusão ou omissão, onde não são atribuídos a determinada classe os erros de classificação das outras classes, da mesma forma, a acurácia do produtor refere-se à probabilidade de determinada categoria ter sido corretamente classificada de acordo com os pontos de referência. A acurácia total ou índice de acurácia média apresenta a concordância entre um ponto no mapa e no terreno. O Índice *Kappa* é utilizado para descrever a intensidade da concordância entre dois métodos de classificação.

#### **4.4 Verificação dos Resultados com Dados de Imagens**

Ao longo dos últimos 30 anos uma série de estudos vem sendo publicados utilizando imagens de satélites na detecção de processos erosivos, com o uso das mais variadas metodologias. Esses dados espaciais podem ser utilizados para detectar erosões ou as consequências delas, a detecção direta é realizada por meio da identificação individual de grandes erosões, discriminação de áreas erodidas e avaliação da intensidade baseada em relações empíricas (OLIVEIRA, 2011). Os efeitos de detecção incluem o dano ocorrido durante os maiores eventos erosivos e os depósitos de sedimentos (VRIELING, 2007).

Dados espaciais podem desempenhar um papel importante na detecção de processos erosivos, incluindo pequenas feições erosivas e erosão superficial, para tanto, é necessária a utilização de imagens de satélite de alta resolução espacial (VRIELING, 2005). VRIELING (2005) encontrou bons resultados na detecção de erosão superficial utilizando imagens *Quickbird* (2.8 m em sensores multiespectrais e 60 cm em sensores pancromáticos) e de voçorocas utilizando classificação supervisionada ou não supervisionada em imagens ASTER durante a estação seca.

Com base nisso, para a verificação do mapa de erosão da USLE, foram obtidos aleatoriamente 200 pontos amostrais nas áreas classificadas como de alto risco de erosão, ou seja, aquelas com valores de  $A \geq 25 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com o uso da ferramenta *Create Random Points* do ArcGIS.

A suficiência amostral foi estimada com base na proporção, com 95 % de precisão, de acordo com a equação a seguir (Rose *et al.*, 2015):

$$nr = \frac{(1,96)pq}{d^2}$$

Onde:

*nr*: número de amostras requerida

*p*: proporção da população

*d*: grau de precisão requerida (0,05)

Após o lançamento das amostras, foi criada uma circunferência de 1 km de diâmetro ao redor de cada ponto amostrado, onde foram procurados sinais visuais evidentes ou indicadores de erosão linear ou laminar acelerada. Desta forma, cada círculo de 1 km foi classificado como “sim” quando encontrados sinais de erosão e “não” quando não encontrados.

A interpretação visual foi realizada em imagens de alta resolução espacial disponíveis na plataforma eletrônica *Google Earth*, além de imagens adicionais *Quickbird*, que serviram de apoio complementar para eliminar eventuais dúvidas de interpretação.

#### 4.5 Mapa de Risco de Erosão

Uma vez mapeados todos os fatores da USLE, a perda de solos em cada célula da bacia foi obtida por meio da álgebra de mapas, usando o módulo *Spatial Analyst* do ArcGIS.

Posteriormente, os valores encontrados foram agrupados e classificados para a criação do mapa de risco de erosão. Com essa agregação das informações em classes de risco, as incertezas originais eventualmente são diluídas e minimizadas, haja visto que a classificação agrupa uma grande quantidade de valores absolutos e cria tendências, mais facilmente analisadas e apresentam mais confiabilidade.

Além disso, a geração de índices e indicadores de riscos tornam os dados técnicos mais facilmente interpretados por tomadores de decisão, gestores, políticos e grupos de interesse (RAMOS, 1997). Desta forma, a informação técnica pode ser transmitida de uma forma sintética, preservando o significado original dos dados.

Apesar dos indicadores de risco carecerem da amplitude e do caráter mecânico dos modelos baseados em processos, são ferramentas úteis na gestão agrícola e ambiental, permitindo o estabelecimento de rankings, a estimativa da vulnerabilidade ambiental de sítios, e a identificação de medidas para a redução do risco (FERREIRA et al., 2010, FINIZIO et al., 2001;).

Para a determinação das classes, tomou-se como base dados da literatura. Na **Tabela 3**, por exemplo, encontram-se os limites potenciais de perda de solo e o respectivo nível da erosão baseado em análises técnicas feitas por WALL (1997).

**Tabela 3:** Limites potenciais de perda do solo em razão do nível da erosão.

Classe	Nível da erosão	Potencial de perda de solo (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )
1	Muito Baixo	< 6
2	Baixo	6 - 11
3	Moderado	11 - 22
4	Alto	22 - 33
5	Severo	> 33

Fonte: WALL, 1997.

Outro estudo, realizado pela FAO – Food and Agriculture Organization - em 1967 produziu uma classificação qualitativa, em que a perda de solo é considerada baixa entre

os valores 0 a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , moderada quando de 10 a  $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , alta entre 50 e 200, e muito alta quando a taxa de perda de solo é maior que  $200 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Afim de estabelecer um limite superior para a classe de baixo risco levou-se em consideração o conceito de tolerância de perda de solo, que reflete a perda máxima admitida, com grau de conservação tal, que mantenha um elevado nível de produtividade por longo período de tempo. Para solos dos Estados Unidos, esse valor varia de 2,0 a  $12,5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , no estado de São Paulo, variam de 4,5 a  $15 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Tradicionalmente, o valor de  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  é tratado como o limite da produtividade agrícola, pois existe maior risco de ocorrência de processos erosivos. Esse valor também é considerado o limiar para o surgimento de processos erosivos lineares, encarados como os de maior relevância em áreas de influência de linhas de transmissão de energia.

Para a classe de alto risco foi estabelecido o limite inferior de  $25 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , pois a partir desse valor os processos erosivos são mais acelerados, com alto grau de desagregação de partículas, perda de solo significativa em termos de massa e profundidade e risco de ravinamentos mais severos.

Desta forma, em consonância com os estudos realizados, foi criada uma classificação de risco de erosão, apresentada na **Tabela 4**. Desta forma, o resultado final deste estudo será um mapa de toda a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, com três níveis de risco de erosão.

**Tabela 4:** Classificação do risco de erosão.

A ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ )	Classificação do Risco
$A \leq 10$	Baixo
$10 \leq A \leq 25$	Médio
$A \geq 25$	Alto

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Cálculo da USLE

#### 5.1.1 Fator de Erosividade da Chuva (R)

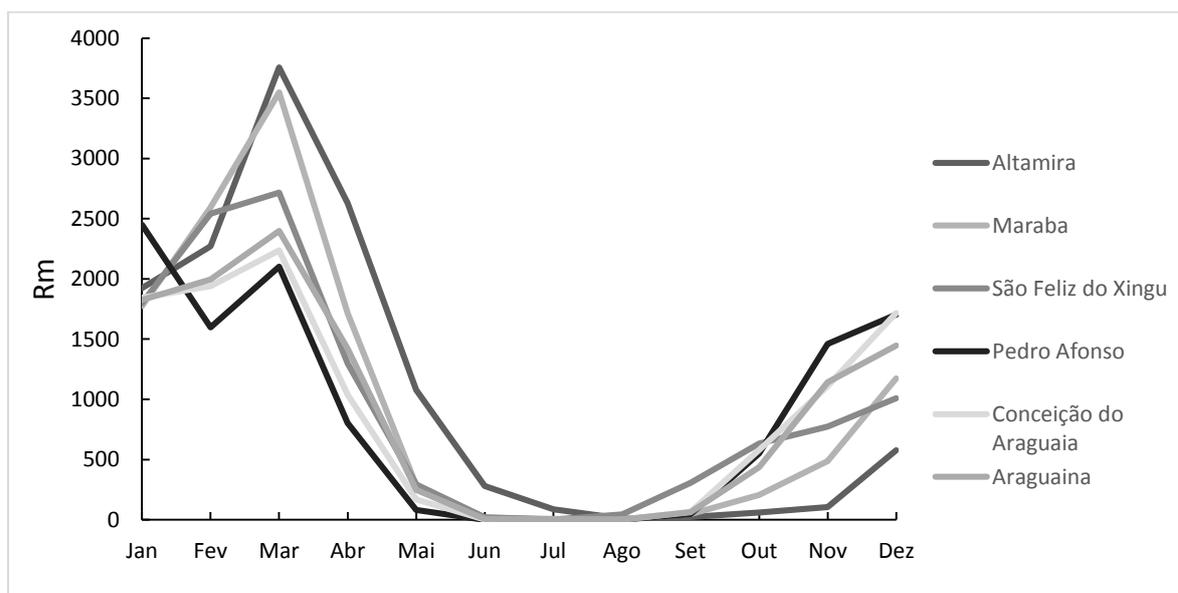
O Fator de Erosividade da Chuva (R) foi calculado para cada um dos postos pluviométricos selecionados. A **Tabela 5** apresenta os resultados encontrados, assim como a descrição dos dados e características dos postos.

**Tabela 5:** Características dos postos pluviométricos e fatores de erosividade da chuva (R) calculados para cada um.

Posto	UF	Código INMET	Coordenadas	Série	Nº de Anos	Fator R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Altamira	PA	82353	3,21 S 52,21 W	1973 - 2015	41	12799
Marabá	TO	82659	48,2 S 48,2 W	1985 - 2015	29	11859
São Feliz do Xingu	PA	82861	8,26 S 49,26 W	1961 - 2015	51	11438
Pedro Afonso	PA	82562	5,36 S 49,13 W	1973 - 2015	42	10798
Conceição do Araguaia	TO	82863	8,96 S 48,18 W	1978 - 2015	36	10709
Araguaína	PA	82668	6,63 S 51,96 W	1973 - 2015	35	10990

Apesar da série histórica de algumas estações ter sido incompleta, todas as séries apresentam dados pluviométricos mensais com períodos superiores a 25 anos, o que, de acordo com WISCHMEIER (1976), é suficiente para garantir estabilidade hidrológica na estimativa do fator R.

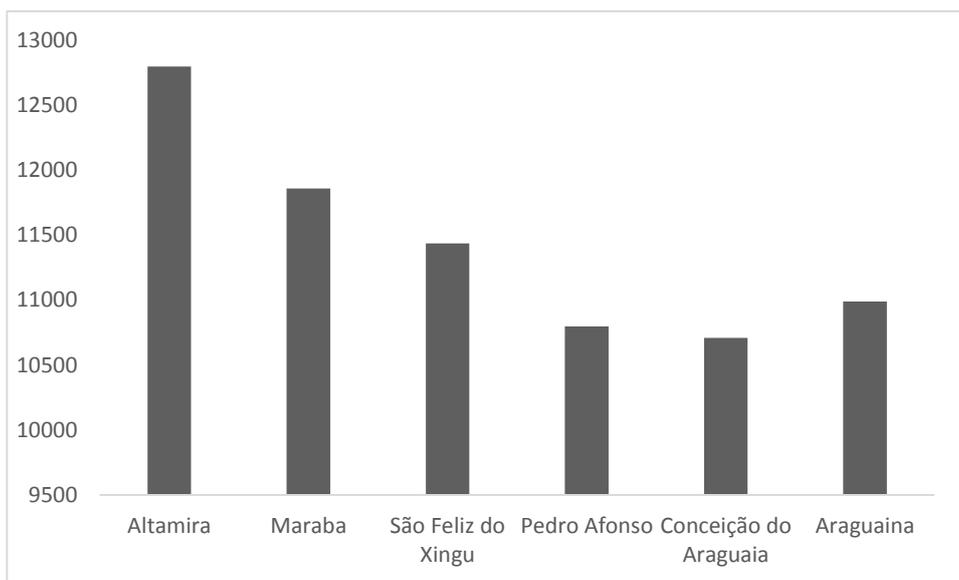
A **Figura 8** apresenta a distribuição das erosividades mensais da chuva para os postos selecionados, nota-se que quase 80% delas encontram-se entre os meses de novembro e março, podendo ocorrer consequências drásticas em termos de erosão hídrica neste período.



**Figura 8:** Erosividade média mensal da chuva (Rm) para os postos pluviométricos selecionados.

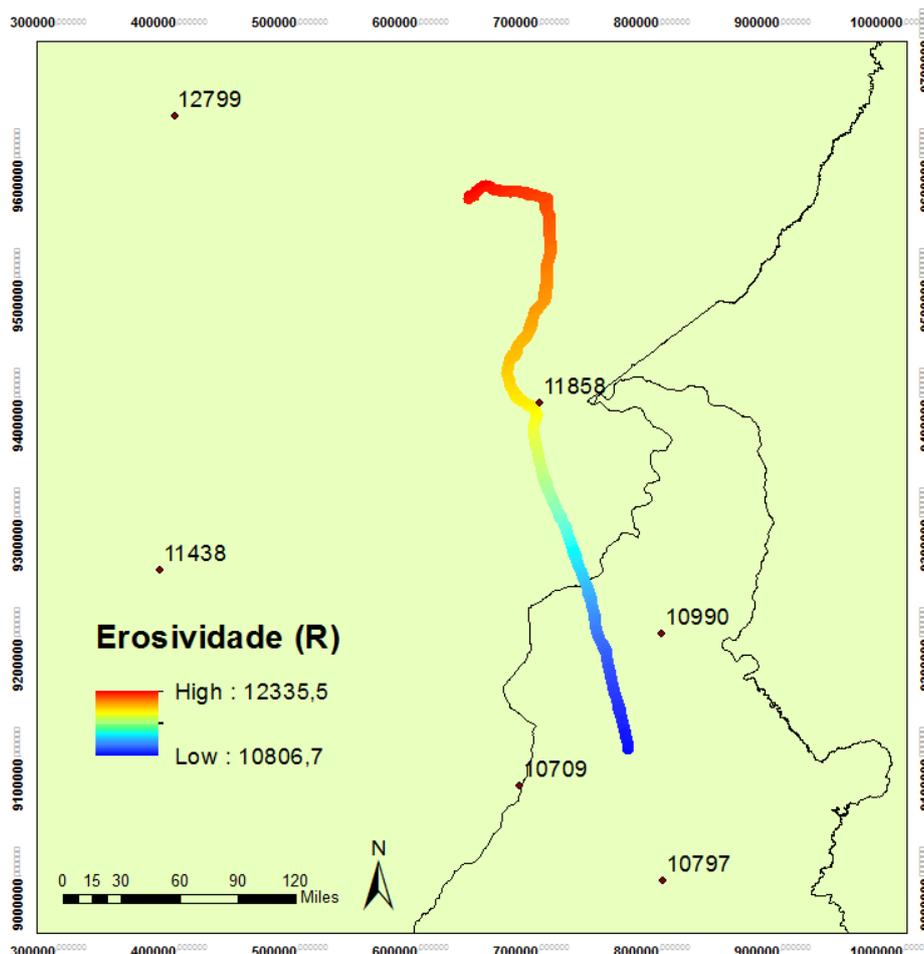
Na **Figura 9** abaixo é possível comparar a erosividade média anual calculada para cada estação, percebe-se que não houve discrepância significativa entre os valores encontrados.

SILVA et al. (2004) calculou a erosividade R para todo o território nacional, encontrando valores entre 3116 e 20035 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, portanto, os valores aqui calculados estão dentro do esperado. De acordo com a classificação de CARVALHO (1993), a erosividade da chuva em todos os postos estudados é classificada como *muito alta* (R > 9810), com significativo impacto no cálculo do risco de erosão.



**Figura 9:** Erosividade média anual das chuvas para os postos pluviométricos analisados.

A espacialização do valor de R na faixa da LT é apresentado na **Figura 10**. Percebe-se que o trecho na região amazônica apresenta maiores erosividades da chuva, o que corrobora com os resultados encontrados por SILVA et al. (2004).



**Figura 10:** Espacialização da erosividade da chuva na Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

### 5.1.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)

As erodibilidades dos solos da área de influência da LT encontram-se listados na **Tabela 6**, assim como a representatividade de cada solo na totalidade da área.

**Tabela 6:** Classes de solos encontradas na AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 e respectivos valores de K selecionados na literatura.

Classe de Solo	AII (%)	K (t.h.Mj <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	FONTE
Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico (PVAd)	59,98	0,020	CHAVES,2012
Gleissolo Háptico Tb e Ta Distrófico (GXbd)	1,59	0,036	OLIVEIRA ET. AL, 2009
Latossolo Vermelho Distrófico (LVd)	4,6	0,015	CHAVES*
Latossolo Amarelo Distrófico (LAd)	17,32	0,040	ARAÚJO, 2011
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd)	1,34	0,011	CHAVES*
Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo)	4,91	0,023	CHAVES*
Neossolo Litólico Distrófico (RLd)	2,88	0,061	CHAVES*

<b>Classe de Solo</b>	<b>AII</b> (%)	<b>K</b> (t.h.Mj <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	<b>FONTE</b>
Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc)	6,73	0,019	CHAVES,2012
Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico (ESKg)	0,67	0,059	SILVA; ALVARES, 2005

\*Dados de estudo ainda não publicado.

Os argissolos vermelho-amarelo distróficos representam aproximadamente 60% de todo o traçado do empreendimento, essa tipologia consiste em solos constituídos por material mineral, coloração vermelha amarelada, não-hidromórficos e horizonte B textural, normalmente abaixo de horizonte A moderado, de textura média ou arenosa. Devido a essas características são solos mais suscetíveis à erosão laminar e possuem baixa fertilidade, sendo necessária uma correção contra acidez quando usado para plantio.

Os gleissolos háplicos distróficos observados compreendem solos formados por materiais mal drenados, com lençol freático elevado por longos períodos. Os Latossolos são os solos mais abundantes no território brasileiro, na área do empreendimento foram encontradas três classes distintas que juntas representam pouco mais de 23% da área, o latossolo amarelo distrófico, vermelho-amarelo distrófico e vermelho distróficos. Todas as classes representam solos profundos com avançado estágio de intemperismo, elevada porosidade e permeabilidade, características que proporcionam rápida drenagem garantem certa resistência a processos erosivos.

Os neossolos quartzarênicos órtico são solos quartzosos, fortemente drenados e profundos, têm textura arenosa de pelo menos 2 mm de profundidade, normalmente são pobres e dependendo da topografia, podem ter propensão ao desenvolvimento de erosão profunda. A classe neossolo litólico distrófico apresenta texturas variadas, são poucos desenvolvidos e rasos, costumam estar associados a relevo declivoso, sendo mais suscetíveis à erosão.

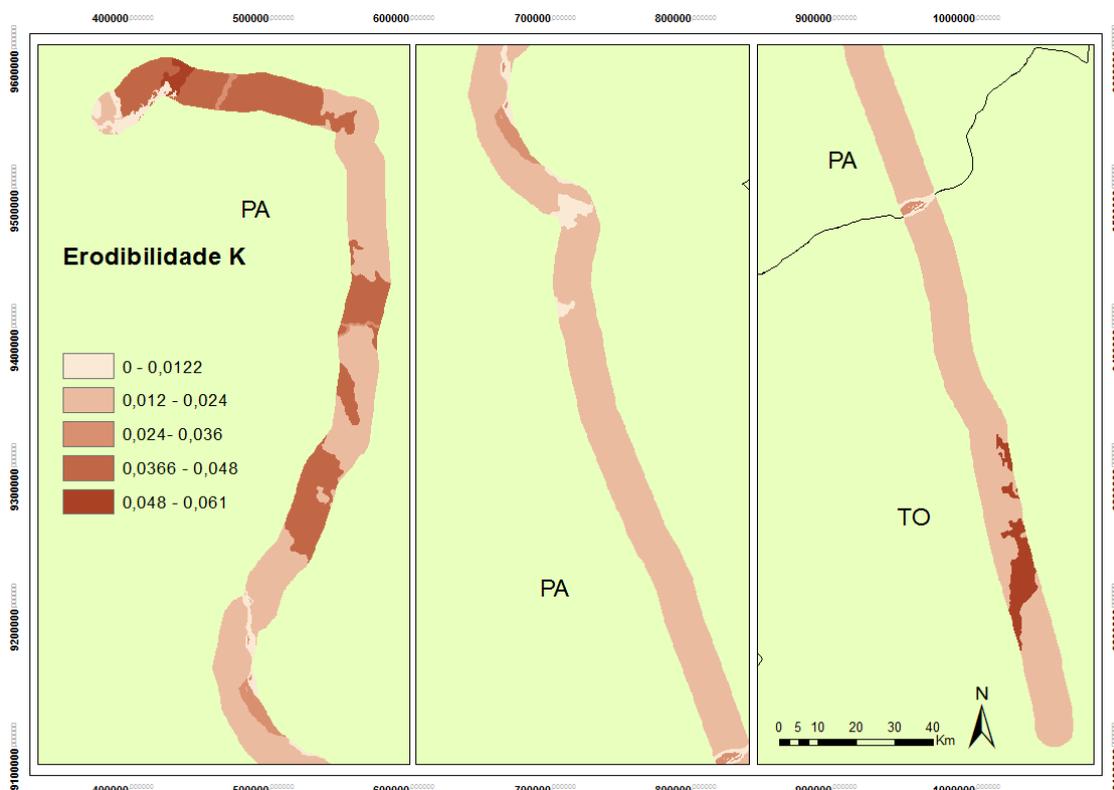
Os plintossolos pétricos concrecionários são constituídos por material mineral, formados em condições de restrição à percolação da água sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, de maneira geral imperfeitamente ou mal drenados. Se caracterizam por apresentar alto grau de plintização, tem ocorrência relacionada a terrenos de várzea, área com relevo plano ou suave ondulado. Apresentam erodibilidade de baixa a mediana.

Espodossolo Ferrihumilúvico Hidromórfico é uma classe originária de materiais areno-quartzosos, em relevo plano, suave ondulado ou ondulado em locais de umidade

elevada, em áreas de abaciamientos e depressões. Variam de pouco a muito profundos, tem fortes restrições à drenagem e alta erodibilidade.

O valor médio de K para a área foi de 0,024, considerada uma erodibilidade média por RANZANI (1980). Ainda de acordo com este autor, 5 solos apresentaram erodibilidade *baixa*, 4 *alta*, e 4 *muito alta*.

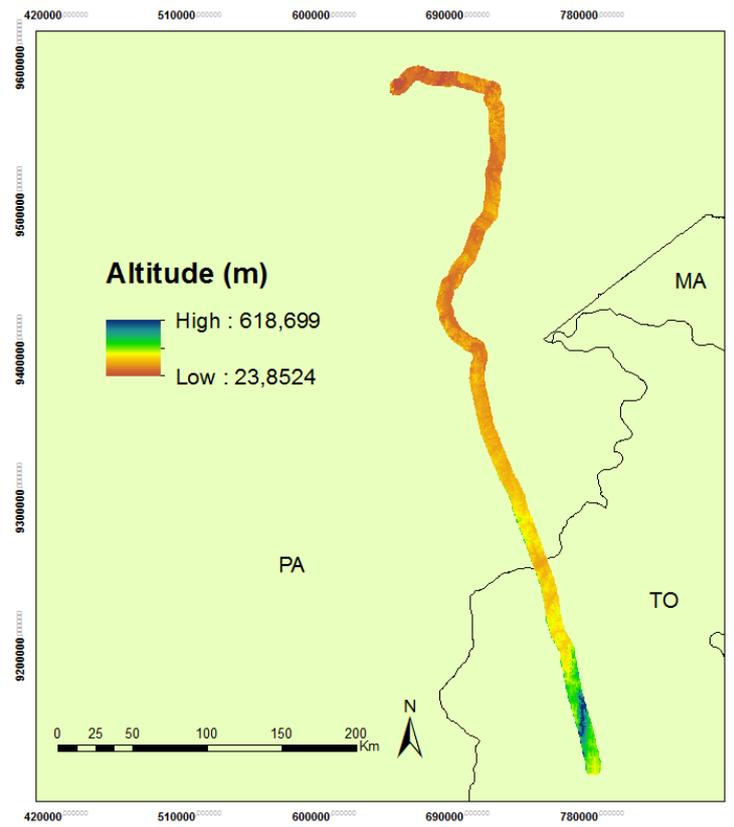
Como pode ser observado na **Figura 11**, as maiores erodibilidades do solo encontram-se no extremo sul da LT, no estado do Tocantins, próximo aos municípios de Nova Olinda e Bandeirantes do Tocantins, e também ao norte, no estado do Pará, nos municípios de Tucuruí, Breu Branco e Goianésia do Pará.



**Figura 11:** Espacialização da erosividade da chuva na Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

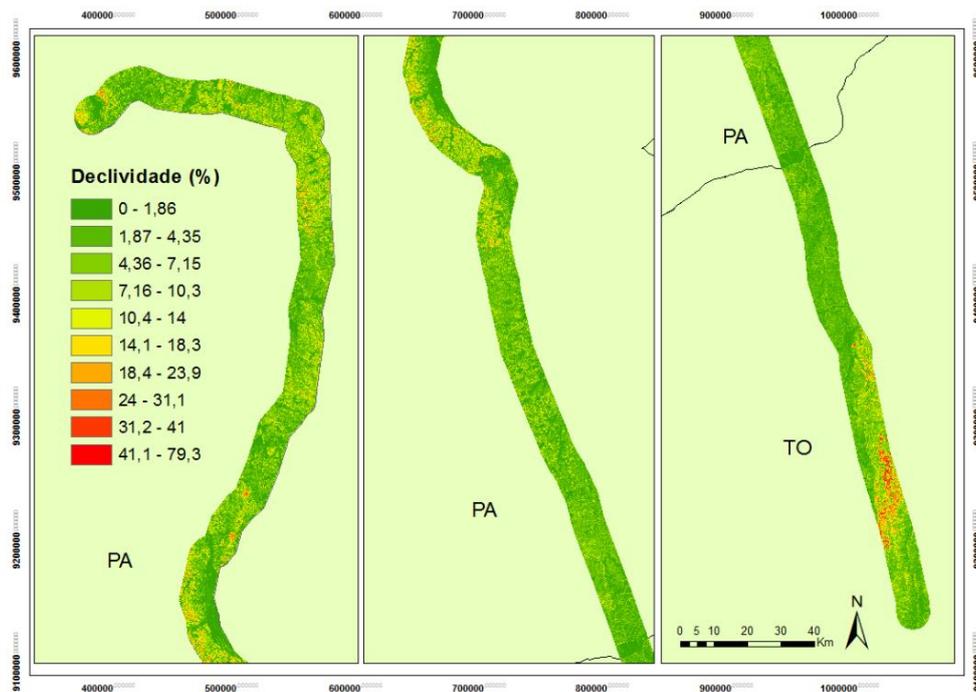
### 5.1.3 Fator de Comprimento do Declive e Grau de Declividade (LS)

O modelo digital de elevação TOPODATA, de resolução espacial de 30 m, usado na estimativa do fator LS, é apresentado na **Figura 12**. Nota-se que o ponto mais baixo da bacia tem cota 23,85 m e o ponto mais elevado tem altitude de 618,7 m, resultando numa amplitude de 594,85 m. Observa-se também, que as altitudes mais elevadas encontram-se ao sul do traçado, no estado do Tocantins.



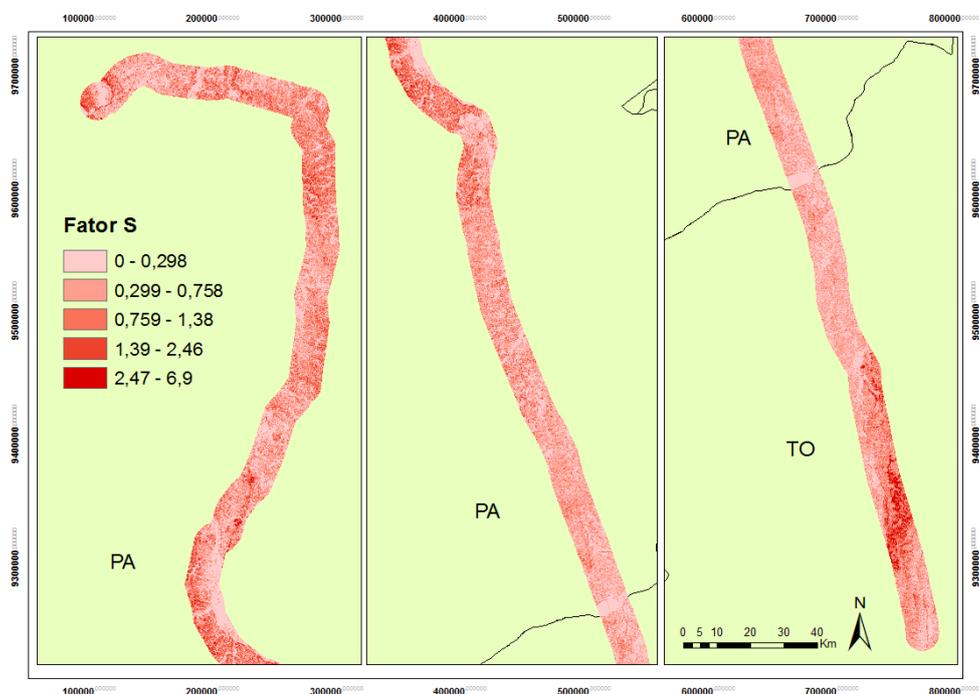
**Figura 12:** Modelo Digital de Elevação TOPODATA da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

O resultado do mapa de declividade média das vertentes é apresentado na **Figura 13**, variando de 0 a quase 80%, sendo a declividade média igual a 5%. Cerca de 58% da AII apresenta declividade superior a 10%, indicando propensão à erosão acelerada.



**Figura 13:** Declividade da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

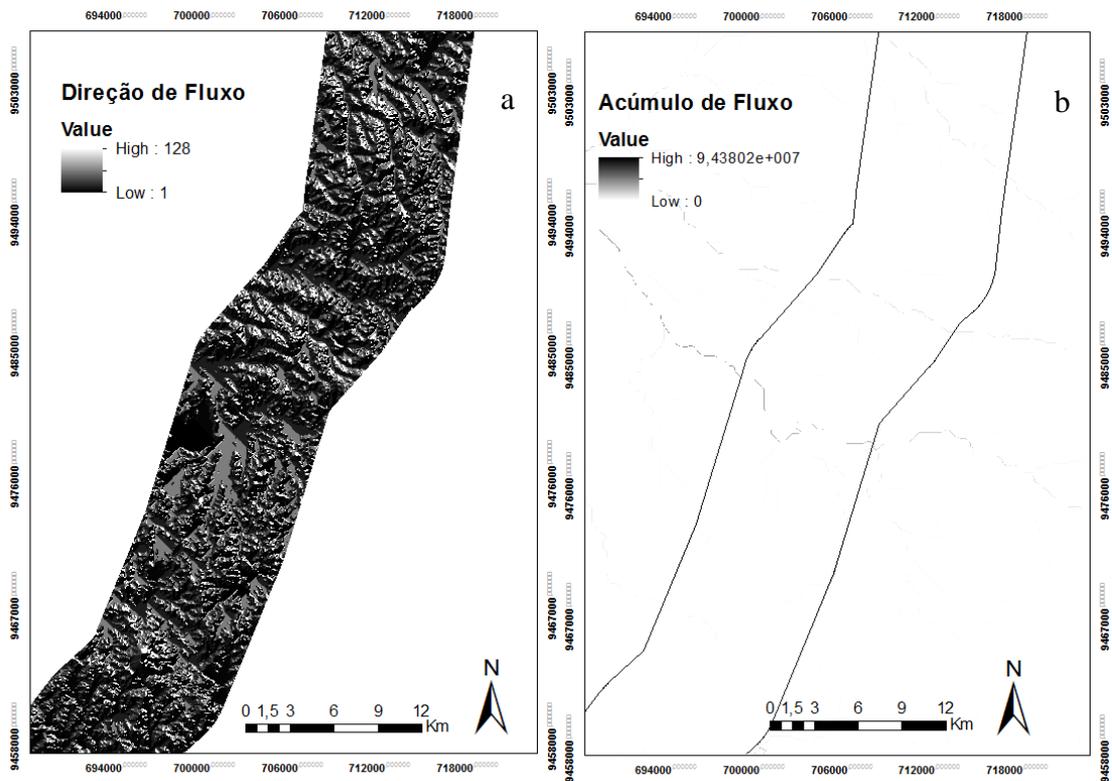
O mapa resultante do cálculo do fator S para a AII do empreendimento é apresentado na **Figura 14**, conforme individualizado na Equação 4. O fator S médio foi 0,56, e o desvio padrão 0,54, valores que indicam certa regularidade do terreno, levando em consideração a dimensão da área de estudo.



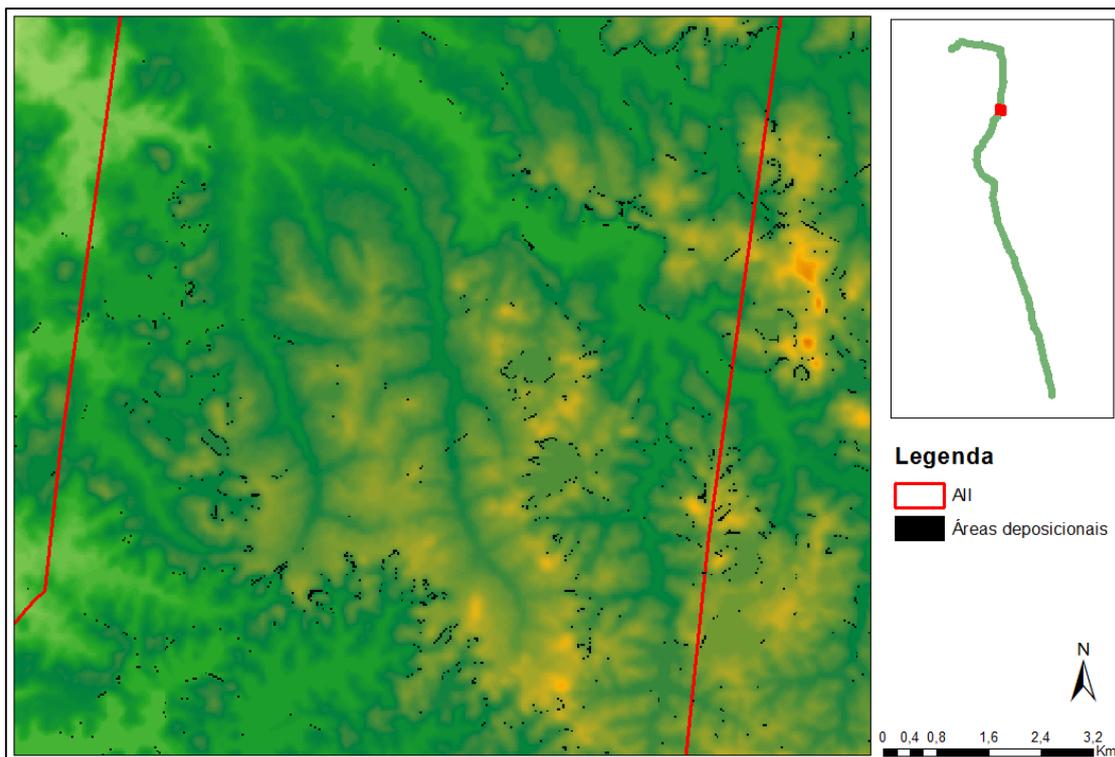
**Figura 14:** Mapa do Fator S para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

Nas figuras a seguir são apresentados trechos da LT produzidos a partir do processamento das imagens para a confecção do mapa do fator L. Na **Figura 15** é apresentado um pequeno trecho dos mapas de direção e acúmulo de fluxo. A **Figura 16** apresenta um detalhe mostrando as células deposicionais em preto. E na **Figura 17** é apresentado um outro trecho, com as zonas de talwegues ( $L > 10$ ) em verde.

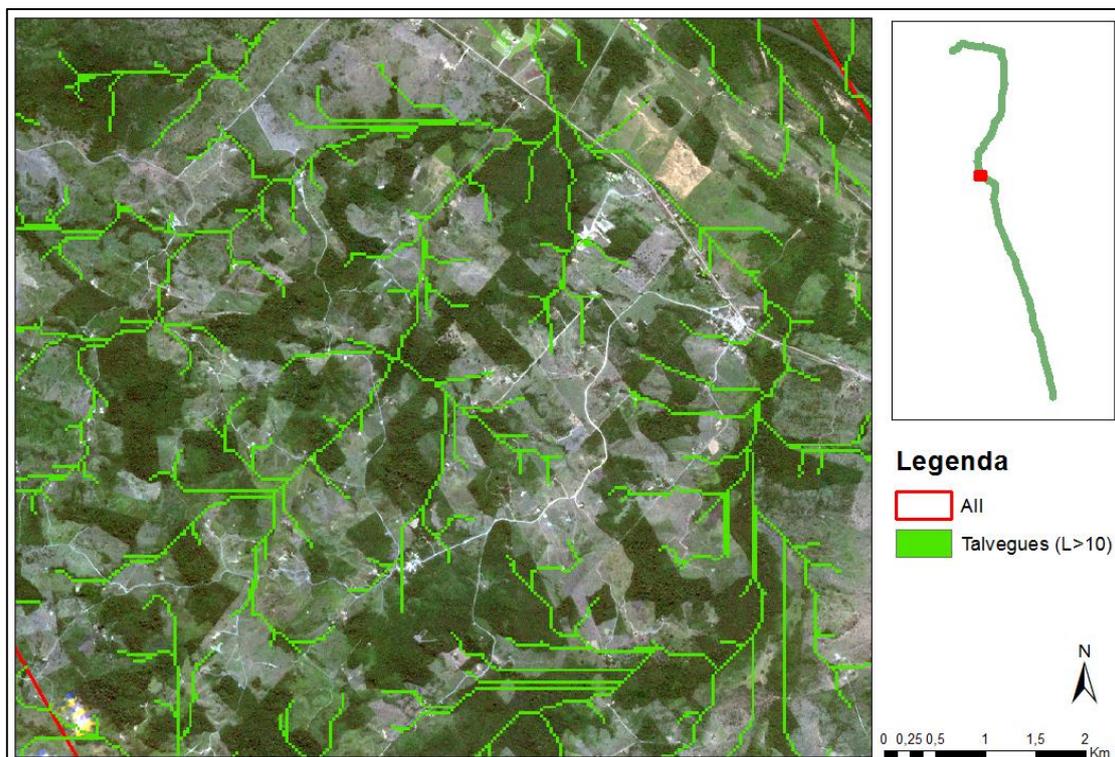
As áreas deposicionais representam 1,35 % da área total, já as áreas de talwegues naturais representam 5,89%. Juntas as áreas desconsideradas representam apenas 7,24% da AII do empreendimento, não comprometendo a análise.



**Figura 15:** (a) Detalhe do Mapa de Direção do Fluxo e do (b) Mapa de Acúmulo de Fluxo em um trecho da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

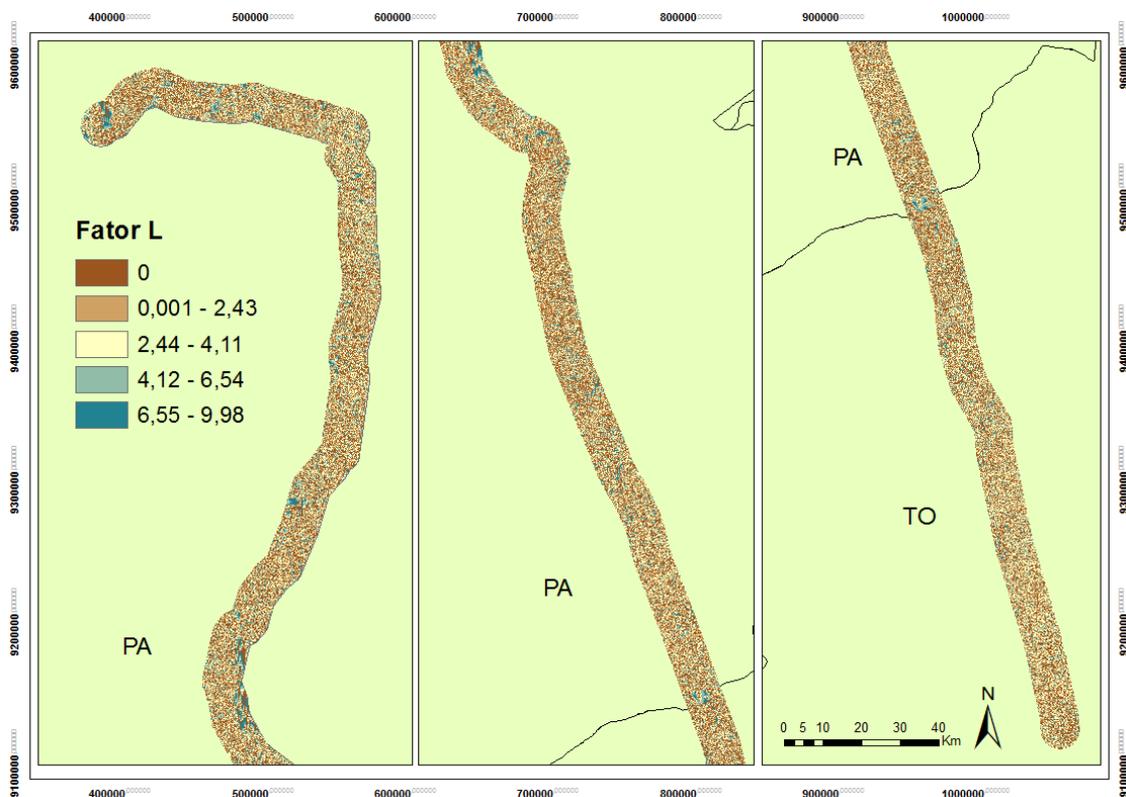


**Figura 16:** Detalhe de áreas deposicionais de um trecho da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, em preto, aonde a erosão, por definição, é igual a zero ( $A=0$ ).



**Figura 17:** Detalhe de um trecho da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 com zonas de talwegues em verde ( $L > 10$ ), onde a USLE não se aplica ( $A=0$ ).

O resultado da espacialização do mapa do fator L da USLE para a faixa de domínio da LT é apresentado na **Figura 18**. O valor médio de L em toda a área foi 2,27, o desvio padrão de 2,05.



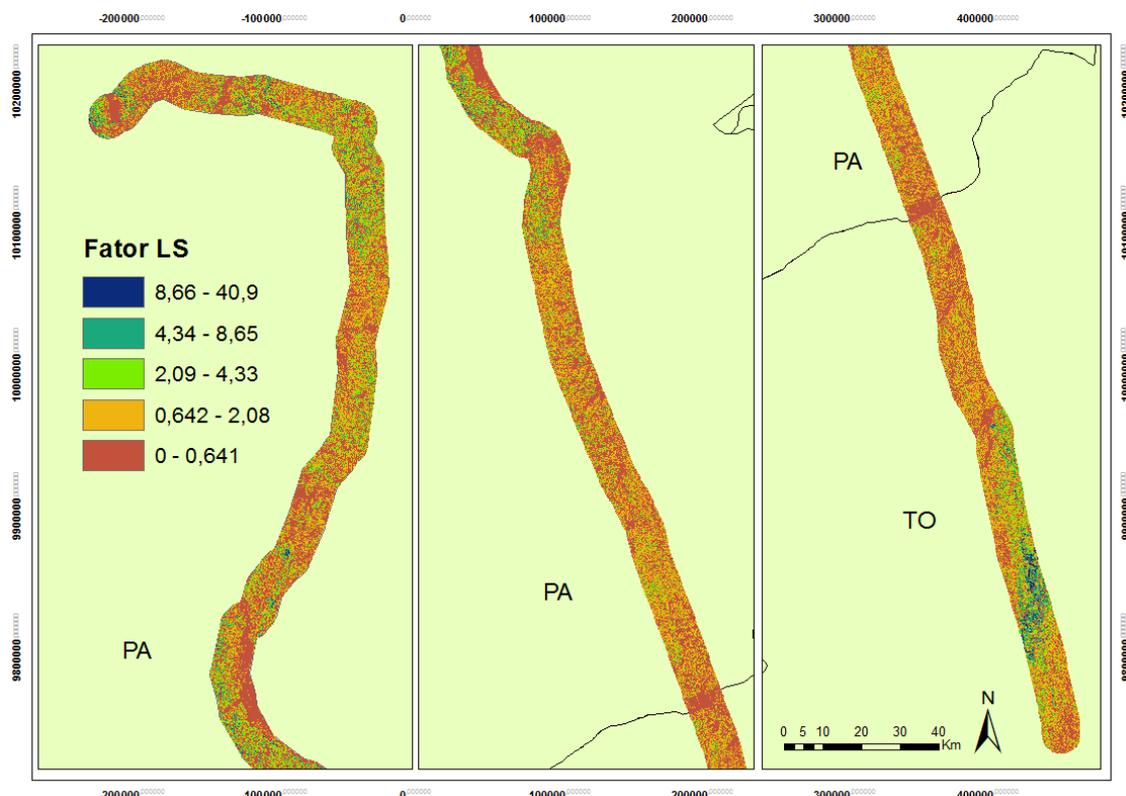
**Figura 18:** Mapa do Fator L para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

O cruzamento dos fatores L e S é apresentado na **Figura 19**. É possível perceber que as áreas de maior declividade possuem maior valor de LS, isso se dá ao fato de que a declividade é a variável que mais controla o cálculo desse fator (DESMET; GOVERS, 1996). Ou seja, a erosão é mais sensível a variações de declividade do terreno do que de seu comprimento (CORRÊA, 2009).

O fator LS variou de 0 a 40,9, sendo a região do Tocantins a que apresentou maior valor, devido à maior declividade encontrada. O valor médio de LS foi de 1,18 e o desvio padrão de 1,64. De maneira geral, os maiores valores estão predominantemente localizados nas áreas escarpadas, e os menores nos vales encaixados. Nas planícies e áreas de interflúvio os valores de LS também são reduzidos.

GÓMEZ (2012) encontrou valores de LS variando entre 0 e 10,9 para todo o território brasileiro, porém, com uso de outra metodologia. GOMIDE (2012) obteve resultados expressivamente distintos quando comparou o cálculo do fator LS para duas

pequenas bacias da Amazônia pelo método de WISCHMEIER; SMITH (1978) e de BERTONI; LOMBARDI NETO (1995), nesse último, o resultado foi três vezes menor.



**Figura 19:** Mapa do Fator LS para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

#### 5.1.4 Fator de Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)

A **Tabela 7** contém os valores do fator de cobertura e sua fonte para diferentes tipos de uso da terra. Esses valores foram retirados das tabelas 10 e 11 do "Agriculture Handbook 537" de WICHMEIER; SMITH em 1978, além de dados disponíveis em outras publicações relevantes, buscando melhor adaptação à realidade local.

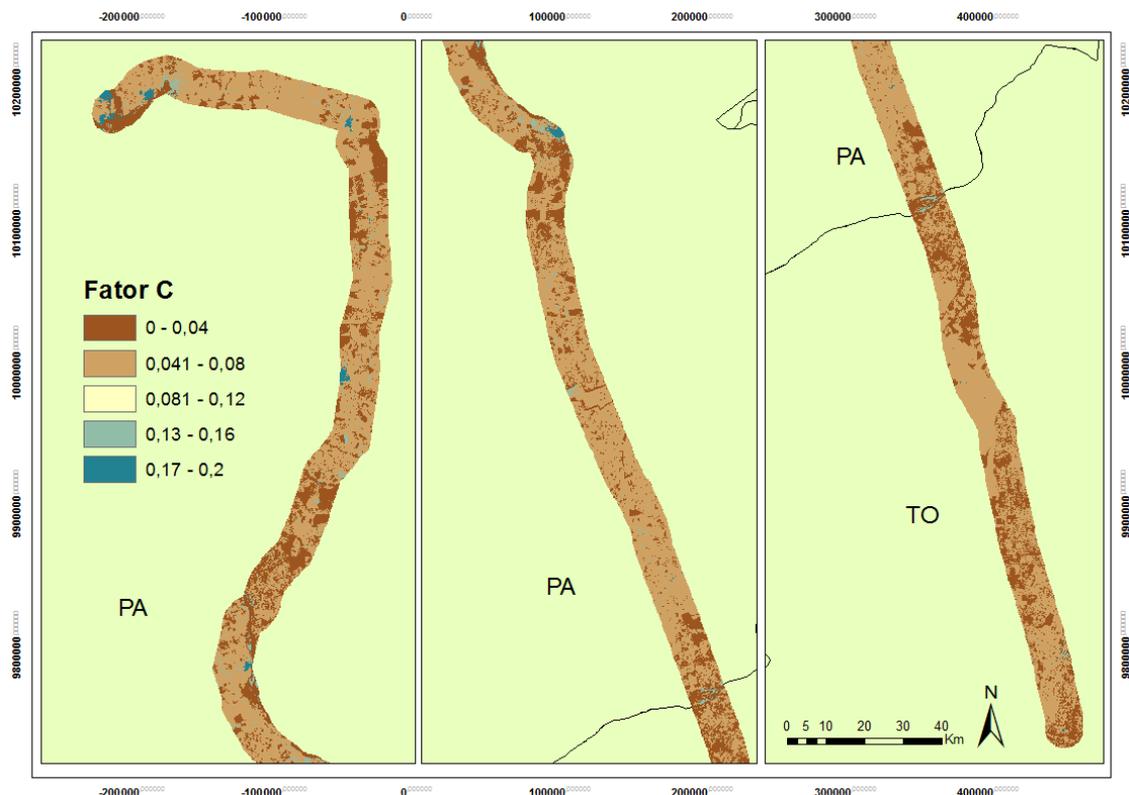
**Tabela 7:** Classes de uso do solo encontradas na AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, percentagem de cobertura da AII e respectivos valores de C selecionados na literatura.

Uso do Solo	AII (%)	C	Fonte
Floresta ombrófila aberta	13,16	0,002	WISCHMEIER; SMITH, 1978
Floresta ombrófila densa	10,28	0,0005	WISCHMEIER; SMITH, 1978
Vegetação Secundária	1,65	0,005	WISCHMEIER; SMITH, 1978
Savana Florestada (Cerradão)	0,2	0,001	WISCHMEIER; SMITH, 1978
Agropecuária	69,46	0,042	CHAVES, 2012
Silvicultura	0,017	0,01	MARTINS, 2005
Área Urbana	0,83	0,2	MORGAN, R, P, C, 1995
Solo Exposto	2,02	0,15	SIVERTUN, 2003
Corpo d'água	2,37	0	-

Do ponto de vista da extensão espacial, predomina a agropecuária, que representa 69,46% da área de estudo, se caracterizando pelo domínio da pastagem e áreas agrícolas, tendo em vista a forma de produção extensiva dos bovinos, as pastagens são as formações mais comuns, por isso o valor de C atribuído foi 0,042. A silvicultura presente na AII ocupa apenas 0,017%, localizada no município de Breu Branco, no extremo noroeste da LT.

A área urbana ocupa apenas 0,83%, já o solo exposto, 2,02%, essas duas últimas classes apresentam os maiores valores de C, 0,2 e 0,15 respectivamente, pelo alto grau de risco de erosão. Já as áreas com vegetação representam pouco mais de 25% da AII, sendo a maioria coberta por Floresta Ombrófila Aberta, as savanas representam apenas 0,2%, e estão localizadas quase inteiramente em Tocantins. A floresta ombrófila densa ocupa 10,28%, a maior parte nos municípios paraenses. Há ainda a presença de 1,65% de vegetação secundária, também localizadas quase que exclusivamente no estado do Pará.

As áreas referentes a corpos d'água foram tomadas como nulas, essas representam 2,37% da AII, formadas principalmente pelo lago de Tucuruí e rios Araguaia e Tocantins, além de pequenas massas d'água ao longo do traçado. Todos esses valores foram utilizados na reclassificação do mapa de uso e vegetação, gerando o mapa apresentado na **Figura 20**.



**Figura 20:** Mapa do Fator C para a AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2.

De maneira geral os valores de C variaram de 0,0005 (floresta ombrófila densa) a 0,2 (área urbana), com valor médio ponderado de 0,034, e desvio padrão 0,028. A grande maioria dos valores de C se encontram na classe de 0,041 a 0,08, referentes à agropecuária. Outra classe representativa foi a de 0 a 0,04, aonde encontram-se as classes associadas à vegetação.

## 5.2 Verificação do Mapa de Cobertura do Solo

Em consequência da dificuldade enfrentada na aferição do fator de uso e manejo do solo, principalmente devido a escala de trabalho, tornou-se necessária a avaliação da classificação de uso e ocupação do solo, utilizada como base para a determinação do fator C. Essa verificação foi realizada através da interpretação visual de imagens de satélite de alta resolução, técnica conhecida como fotointerpretação.

O método mais utilizado para representar o grau de acurácia de uma classificação é a construção da “matriz de confusão” ou matriz de erros (MATHER, 1999). A **Tabela 8** representa a matriz de confusão produzida após a verificação de pontos aleatórios no mapa de uso e ocupação do solo, sendo que a interpretação visual de imagens de satélite representa a verdade.

**Tabela 8:** Matriz de confusão obtida na verificação do mapa de cobertura do solo da AII da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2

		CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURA DO SOLO								
		Agropecuária	Corpo d'água	Vegetação/Floresta	Silvicultura	Solo exposto	Área Urbana	TOTAL	Acurácia do Produtor	Subestimado
VERDADE	Agropecuária	223		1		1		<b>225</b>	99,1%	0,89%
	Corpo d'água		13			3		<b>16</b>	81,3%	18,75%
	Vegetação/Floresta	64	2	77		1	2	<b>146</b>	52,7%	47,26%
	Silvicultura				15			<b>15</b>	100,00%	0,00%
	Solo exposto	22		2		19		<b>43</b>	44,2%	55,81%
	Área Urbana						5	<b>5</b>	100,0%	0,00%
<b>TOTAL</b>		<b>309</b>	<b>15</b>	<b>80</b>	<b>15</b>	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>450</b>		
Acurácia do usuário		72,16%	86,67%	96,25%	100,00%	79,17%	71,43%			
Superestimado		27,83%	13,33%	3,75%	0,00%	20,83%	28,57%			

Os elementos representados na diagonal da matriz representam o número de pontos identificados na imagem de satélite que foram corretamente classificados no mapa de uso do solo. Enquanto os outros elementos da coluna representam o número de pontos que foram classificados incorretamente (MATHER, 1999).

Por exemplo, dos 309 pontos amostrais classificados como agropecuária pelo mapa de uso, 223 também foram interpretados como agropecuária pela análise visual, enquanto 86 foram classificados incorretamente. Isso significa que o classificador superestimou 27,83% da classe de agropecuária, ao mesmo tempo que subestimou 0,89%, já que dois pontos identificados pela análise visual como agropecuária, foram classificados no mapa de uso como vegetação/floresta e solo exposto.

Já com relação a classe de vegetação/florestas, dos 146 pontos que verdadeiramente são florestas, o mapa de cobertura indicou apenas 52,7%. Isso significa que houve uma subestimação das classes de florestas, o que, conseqüentemente, poderá causar uma supestimação das classes de risco de erosão, tornando o mapa de risco mais conservacionista.

No total, houve concordância de 352 em um total de 450 pontos amostrados aleatoriamente, o que representa uma acurácia total de 78 %. A princípio, esse valor representa uma boa acurácia para a classificação, entretanto, muitos analistas preferem utilizar o Índice *Kappa* (K) para compilar as informações provenientes da matriz de confusão (MATHER, 1999).

Após os cálculos, o índice *Kappa* encontrado foi 0,63. Dentro da classificação de LANDIS; KOCH (1997), a acurácia resultante foi substancial.

### 5.3 Verificação dos Resultados com Dados de Imagens

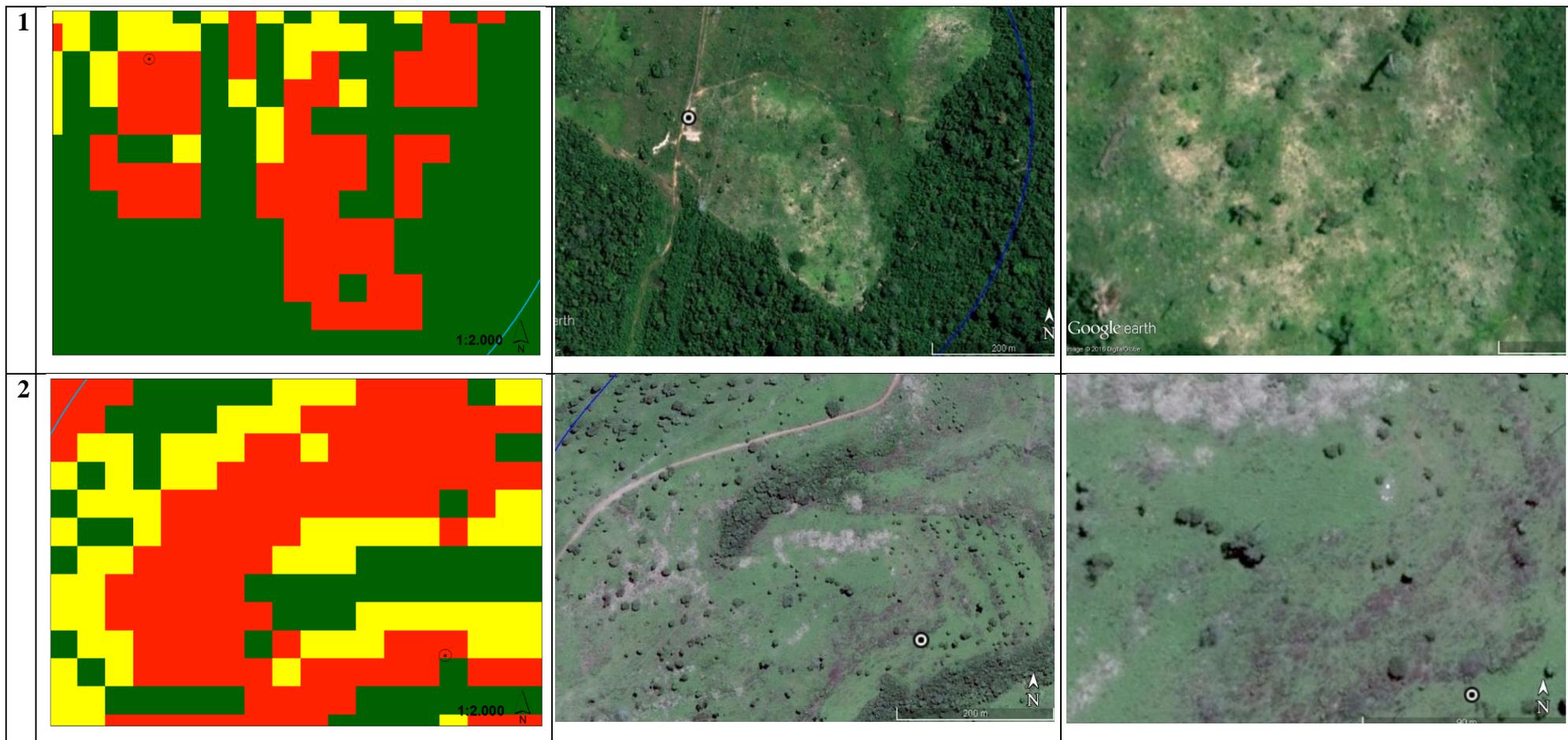
No **Quadro 1** são apresentados três amostras, de forma a exemplificar a verificação visual realizada em pontos aleatórios com erosão acima de 25 t.há<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, usando imagens de alta resolução.

Como resultado, das 200 amostras, 67% apresentavam, nas imagens analisadas, evidências de erosão acelerada no terreno (**Tabela 9**). Levando em consideração a escala de trabalho, bem como a quantidade de informações básicas disponíveis, conclui-se que o modelo foi razoavelmente acurado.

**Tabela 9:** Verificação do mapa de risco de erosão

	Quantidade	(%)
Amostras com sinais de erosão	133	67%
Amostras sem sinal de erosão	67	34%
<b>TOTAL</b>	200	100%

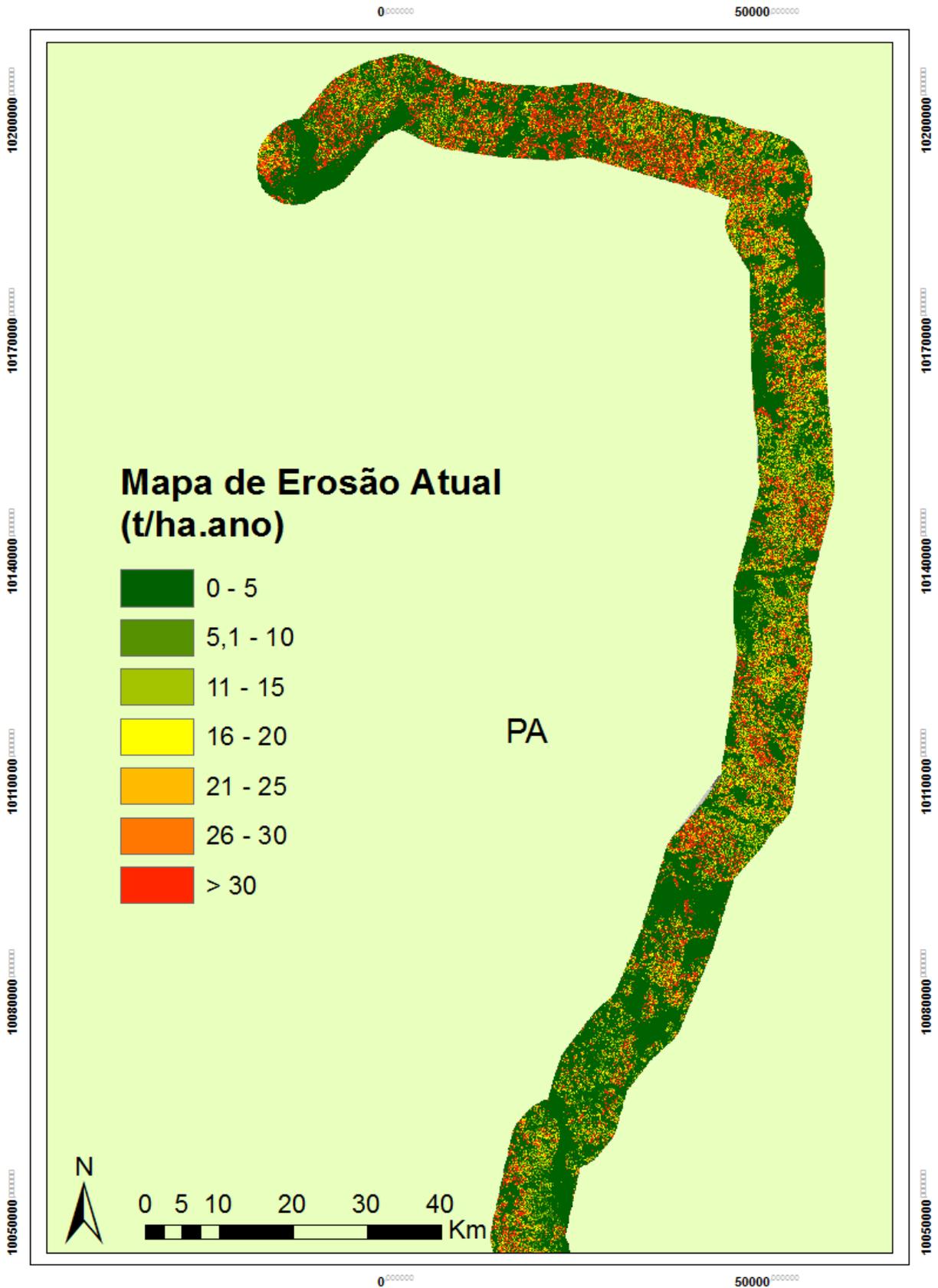
**Quadro 1:** Exemplo de 3 amostras lançadas aleatoriamente para verificação do mapa de risco de erosão da AII da LT Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2. Os dois primeiros mapas de cada amostra são apresentados na mesma escala para efeito de comparação, o terceiro mostra o detalhamento da feição erosiva encontrada.



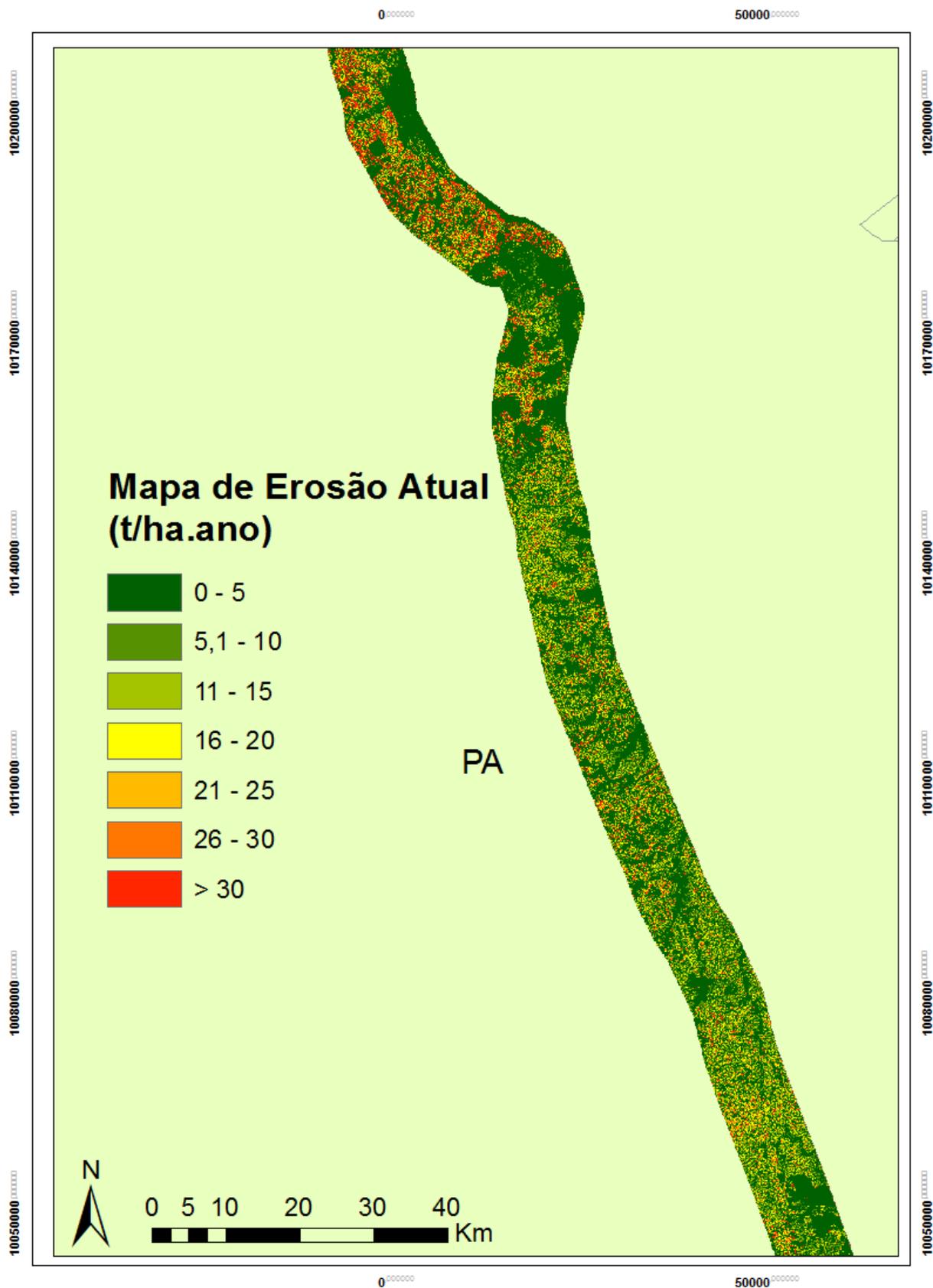


#### **5.4 Mapa de Risco de Erosão**

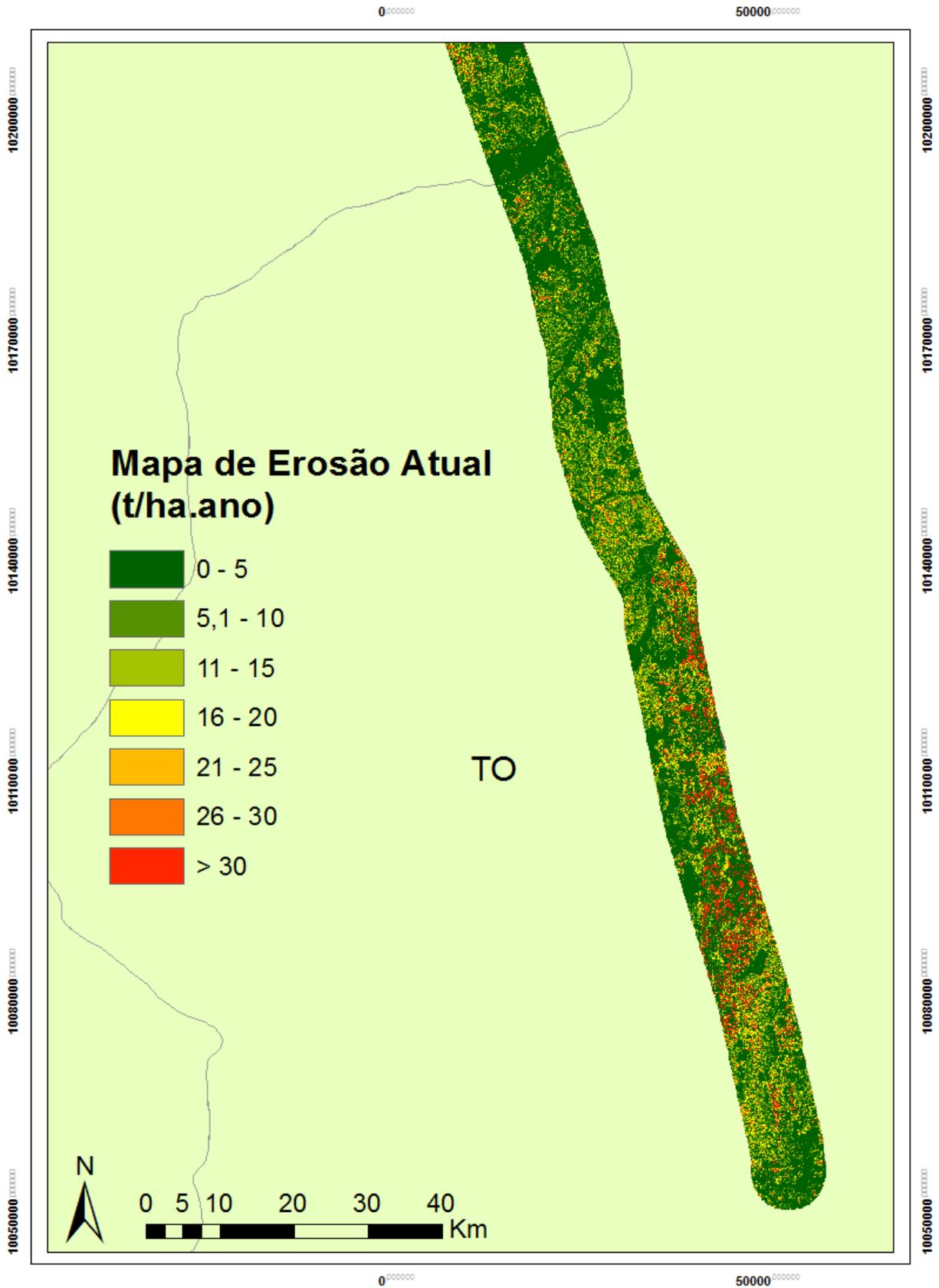
O mapa de erosão atual na Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2, calculado pela multiplicação, no ambiente SIG, das camadas relativas aos fatores no item 4.2, é apresentado nas **Figuras 21, 22 e 23**.



**Figura 21:** Mapa de erosão atual na porção norte da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2



**Figura 22:** Mapa de erosão atual na porção central da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2.



**Figura 23:** Mapa de erosão atual na porção sul da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2.

É possível perceber que a maior parte da área apresenta valores abaixo  $5 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , provavelmente, isso se deve à presença massiva de fragmentos florestais ao longo da AII. Não obstante, algumas áreas se destacam pela presença marcante de regiões com perda de solo anual maior que  $30 \text{ t/ha}$ . Mais precisamente, o extremo norte da LT, em especial o município de Breu Branco (PA), e a porção mais ao sul, localizada no estado do Tocantis.

Na parte norte da AII, podemos dizer que as características que contribuíram para essa condição são principalmente as associadas ao fator de erodibilidade do solo. A classe de solo mais presente nessa área é o Espodossolo Ferrilumínico Hidromófico, originários de materiais areno-quartzosos, com restrição à drenagem e muito suscetíveis à erosão.

Além disso, como apresentado anteriormente, a erosividade da chuva ao longo de toda a área é classificada como *muito alta*. Essa é uma característica marcante de regiões tropicais, onde aproximadamente 40% das chuvas são erosivas (RENARD, 1994; ROOSE, 1977).

Esses valores associados ao fator R significam que a chuva nessa região tem alta capacidade de iniciar um processo erosivo, principalmente devido à características como intensidade, duração e energia cinética. Para LEPSCH (2002) o impacto direto das gotas de chuva é a maior causa de desagregação das partículas do solo desprotegido, além do escoamento superficial.

O extremo sul da LT também se caracteriza pela presença de áreas com altos valores de erosão. Além da característica erosiva dos solos da região, a alta declividade também contribuiu para esse resultado. Ademais, muitas vezes essas características vêm associadas à baixa cobertura vegetal e ao alto grau de desmatamento, proveniente da expansão da fronteira agrícola nessa região.

Em função da não aplicabilidade da USLE em áreas com perdas de solo superiores a  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  foi assumido o valor exato de  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Elas representaram apenas 1,42% da AII e não afetam o mapeamento da erosão nessa área.

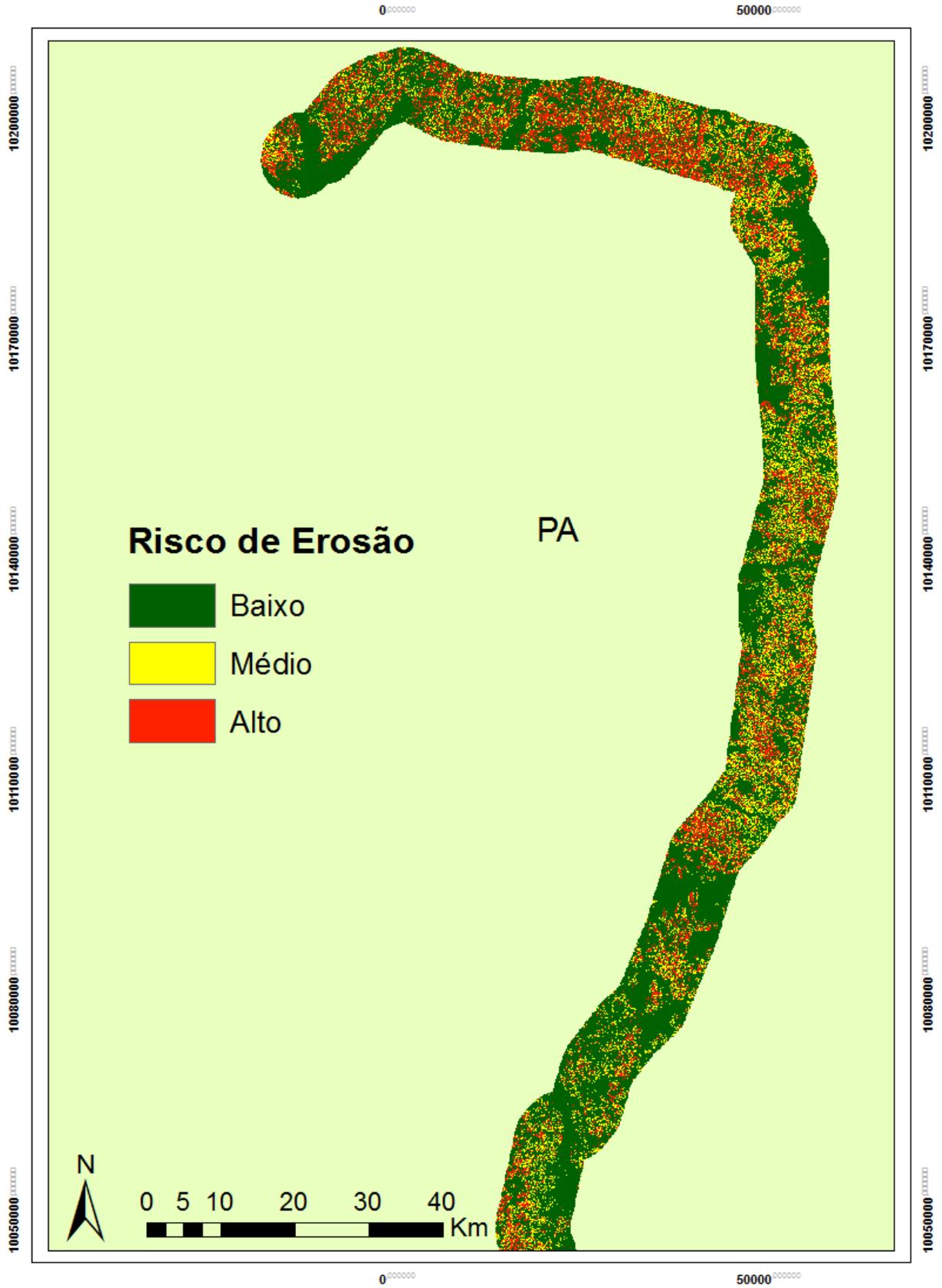
O valor médio de perda de solo foi de  $9,41 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e o desvio padrão de  $15,6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Esses valores corroboram com os encontrados em bacias brasileiras localizadas nas proximidades. CHAVES (2012) encontrou um valor médio de perda de solo de  $11,4 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para a Bacia do Rio Taquarussu localizada no estado de Tocantins. GOMIDE et al. (2012) encontrou valores médios de  $19,9 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na Bacia do Igarapé da Prata, localizada no estado do Pará. GÓMEZ (2012) estimou a erosão para todo o território brasileiro, e encontrou valores médios entre 9 e  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

O coeficiente de variação associado à erosão calculada foi 0,60. CHAVES (2010) encontrou o valor de 0,64 para uma vertente rural típica do Distrito Federal, de 90 ha, quando as variabilidades espaciais e temporais foram consideradas na análise. Demonstrando que, como em todo processo de modelagem matemática, muitas incertezas estão associadas às predições da erosão (CHAVES, 2010). Neste estudo, elas decorrem basicamente dos erros na estimativa dos fatores, além das próprias limitações estruturais da USLE.

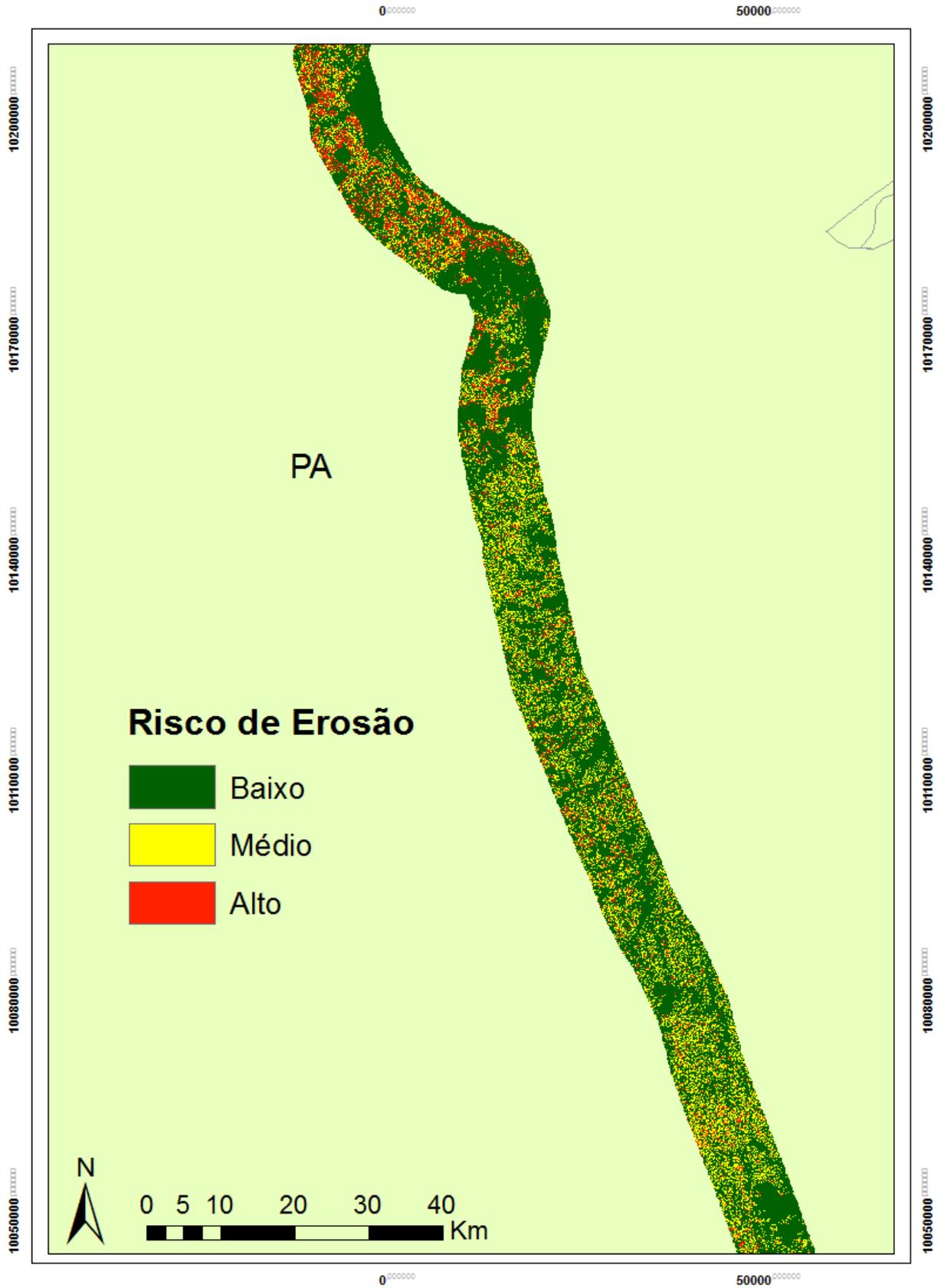
Apesar da USLE ser considerada um modelo robusto e com boa eficiência produtiva (RISSE et al, 1993; TIWARI et al, 2000), sua estrutura fatorial faz com que os erros se propaguem significativamente. CHAVES (2010) estimou a variabilidade espacial e temporal dos fatores da USLE e encontrou coeficientes de variação desde 0 (fator P) a 0,54 (fator K), indicando que há significativa propagação de incerteza por meio do modelo

HESSION et al. (1996), examinando a propagação de incerteza dos fatores da USLE com 90 % de probabilidade encontrou os valores de 18 a 174 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, enquanto a perda de solo média na vertente era de 75 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

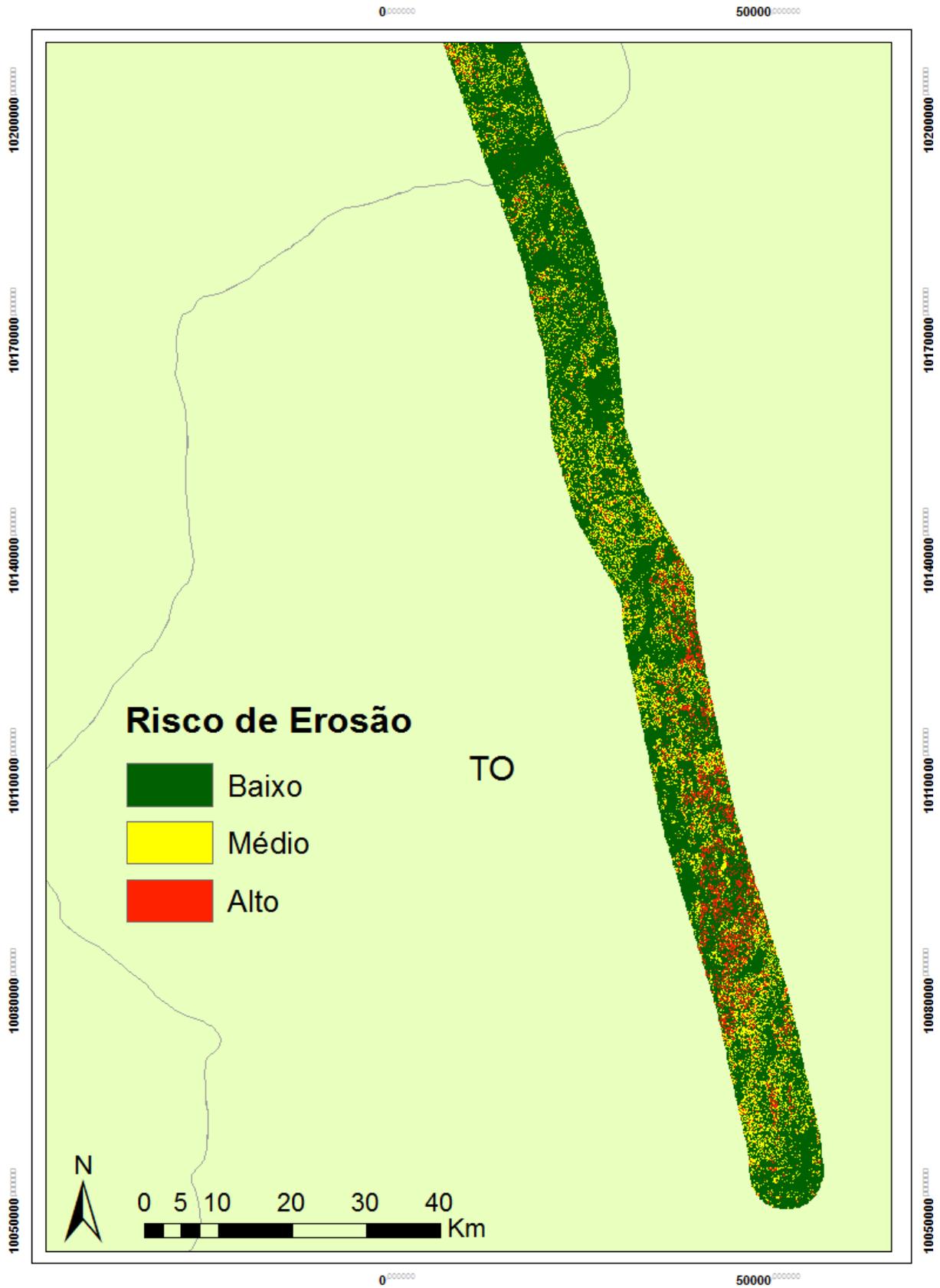
O mapa de risco de erosão da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2, calculado a partir do mapa de erosão, é apresentado nas **Figuras 24, 25 e 26.**



**Figura 24:** Mapa de Risco de Erosão na porção norte da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2.

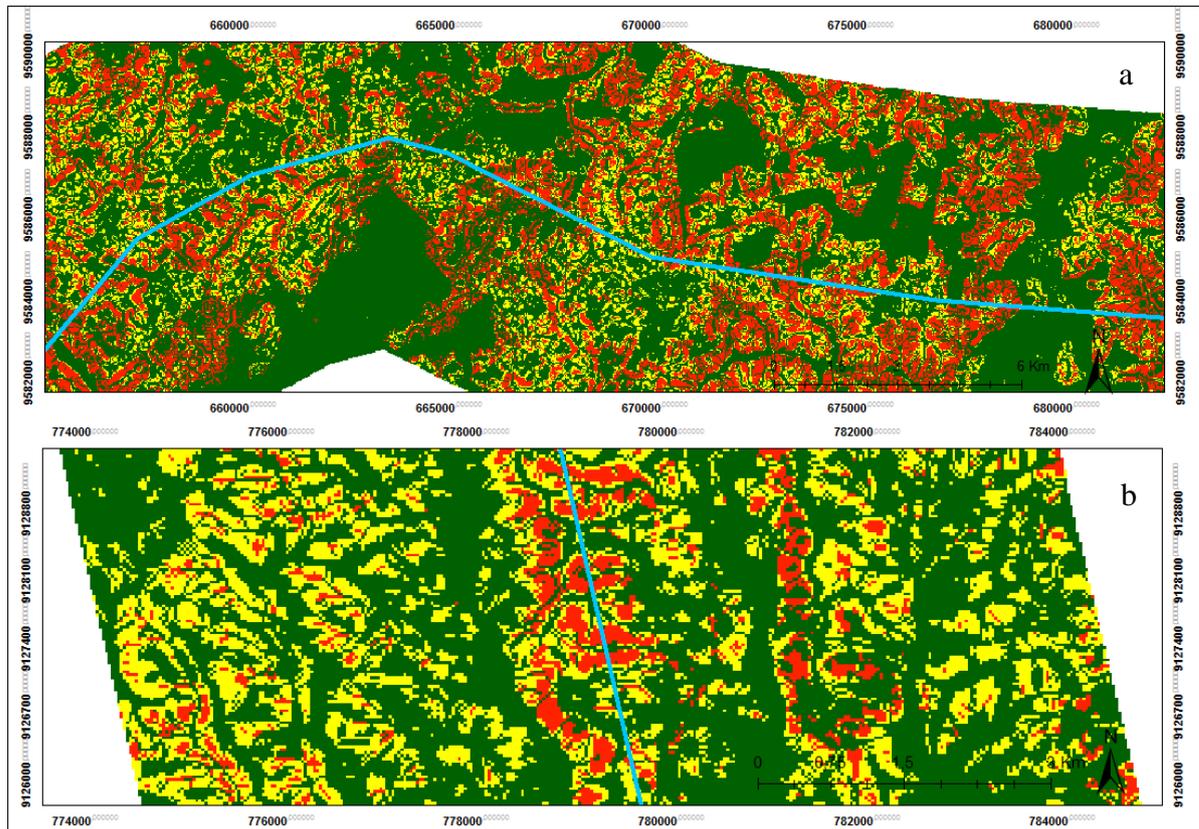


**Figura 25:** Mapa de Risco de Erosão na porção central da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2



**Figura 26:** Mapa de Risco de Erosão na porção sul da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II – Itacaiúnas – Colinas C2

Para uma melhor visualização da distribuição espacial da erosão, a **Figura 27** apresenta o detalhamento do mapa de risco de erosão nas duas áreas mais críticas, o extremo norte e a porção localizada ao sul do traçado da LT. A **Tabela 10**, por sua vez, apresenta os percentuais de cada uma das classes de risco de erosão. O **Figura 28** representa o histograma do mapa de risco de erosão.



**Figura 27:** Detalhes do mapa de risco de erosão da Área de Influência Indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. A linha azul representa o traçado da LT.

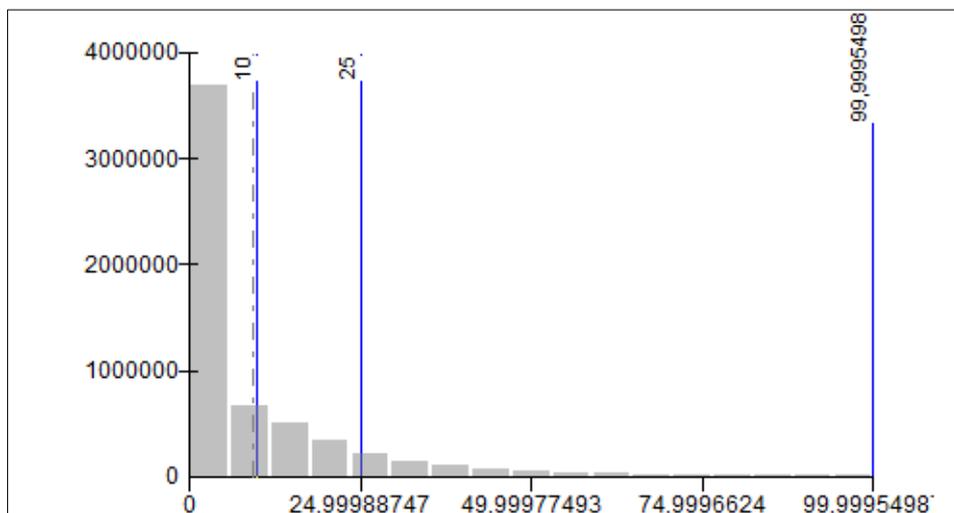
**Tabela 10:** Percentagem das diferentes classes de risco de erosão na área de influência indireta da LT 500 kV Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2 e percentagem do número total de torres presentes em cada classe.

Classificação do Risco	AII	Torres
Baixo ( $A \leq 10$ )	68,9%	63,7%
Médio ( $10 \leq A \leq 25$ )	18,7%	24,5%
Alto ( $A \geq 25$ )	12,4%	11,8%

Como pode ser observado nas figuras acima e na **Tabela 10**, 68,9% da área de influência indireta da linha encontram-se na classe de baixo risco, isso pode ser atribuído ao fato da região ainda apresentar grandes áreas de vegetação nativa, que auxiliam na contenção da erosão, por oferecer proteção física e mecânica à superfície do solo.

Os efeitos do fator de uso e manejo do solo não podem ser avaliados independentemente, devido às diversas interações que ocorrem (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Desta forma, observa-se que as áreas classificadas como de baixo risco também são as localizadas em regiões planas de planaltos e planícies com presença de solos resistentes, com altos teores de matéria orgânica e textura muito argilosa ou muito arenosa (WISCHMEIER, 1976).

As áreas de médio risco representam 18,7%, e as de alto risco, 12,4%. Ambas devem ser alvo de atenção durante a etapa de planejamento, na escolha da alternativa de locação da LT, bem como na alocação de estradas de acesso, muito usadas em serviços de operação e manutenção da rede. Também devem ser áreas de relevante interesse em programas de controle e prevenção de processos erosivos, tanto na etapa do planejamento, quanto na instalação e operação do empreendimento.



**Figura 28:** Histograma do mapa de risco de erosão, a linha tracejada representa a média da estimativa de erosão e as linhas azuis os limites das classes de risco.

Ainda de acordo com a **Tabela 10**, 63,7% das torres de sustentação encontram-se alocadas em áreas de baixo risco, enquanto 24,5% estão em médio risco e 11,8% em áreas de alto risco de erosão.

Por apresentar processos erosivos não agressivos, a classe de baixo risco é aceitável do ponto de vista ambiental e agrônomo, desta forma, o ideal para a prevenção de processos erosivos é que as estradas e torres de sustentação sejam alocadas nessas áreas.

Uma vez desmatadas, áreas florestadas com risco médio podem se tornar locais de alto risco, por esse motivo, caso sejam alocadas torres e estradas nessas áreas, devem ser instaladas estruturas preventivas, como obras de drenagem e proteção do solo.

Já nas classes de alto risco, deve-se evitar a instalação de infraestrutura viária e elétrica, pois são consideradas áreas críticas e apresentam alto risco de degradação permanente do solo, neste sentido, sua conservação deve ser priorizada. De qualquer forma, após o mapeamento e durante as obras de instalação, deve-se verificar a real existência desse risco.

## **6 CONCLUSÃO**

Os dados para a estimativa da perda de solos foram obtidos do relatório ambiental do empreendimento e de artigos secundários.

O valor médio de perda de solo estimado foi de  $9,41 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e o desvio padrão  $15,6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . A maior parte da área de influência encontra-se na classe de baixo risco (68,9%). As áreas de médio e alto risco representam 18,7% e 12,4%, respectivamente. Essas áreas devem ser evitadas na instalação de torres e abertura de estradas de acesso, de forma a evitar o surgimento e a expansão de processos erosivos.

As previsões de altas taxas de erosão foram verificadas em 67% dos 200 pontos de imagens analisadas aleatoriamente, indicando que a análise foi relativamente robusta.

O modelo proposto é replicável, simples e robusto, com potencial para compor estudos de impactos ambientais, auxiliando nas tomadas de decisão, de forma a garantir a sustentabilidade do empreendimento, no tocante à erosão, desagregação e segurança da infraestrutura.

Trabalhos futuros podem encontrar resultados ainda mais precisos, por meio do aprimoramento dos dados de entrada, como por exemplo, a aquisição de um mapa de uso e cobertura do solo mais detalhado, a realização de análises de solo para diminuir a variabilidade espacial e temporal do fator de erodibilidade e o mapeamento das práticas conservacionistas para estimar o fator P.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, L. M. Tradução e adaptação: entre a identidade e a diferença, os limites da transgressão. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto. 2003.
- AMORIM, R.S.S.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; MATOS, A.T. Avaliação do Desempenho dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica USLE, RUSLE e WEPP. Para Diferentes Condições Edafoclimáticas Do Brasil. Eng. Agríc. Jaboticabal, v.30, n.6, p.1046-1049, nov. /dez. 2010.
- BASTOS, C. A. B. Estudos Geotécnico sobre a Erodibilidade de Solos Residuais Não Saturados. Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.
- BELÉM, L. C. Ferramenta para Seleção de Corredor de Linha Aérea. (INPE, Ed.) Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3559-3566. 2009.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. São Paulo: Ícone 355 p .1995.
- BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. São Paulo: Ícone, 8º edição. 355p. 2012.
- BRASIL. Constituição Federal (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria Ministério do Meio Ambiente nº 421. Diário Oficial, Brasília, DF, 12 de novembro de 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 001. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial, Brasília, DF, 23 de janeiro de 1986.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 237. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial, Brasília, DF, 9 de dezembro de 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 279. Ministério do Meio Ambiente. Diário Oficial, Brasília, DF, 27 de junho de 2001.
- BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 99.274. Diário Oficial, Brasília, DF, 6 de junho de 1990.
- BRASIL. Presidência da República. II Plano Nacional de Desenvolvimento da Nova República – 1975/1979. Brasília. 1975.
- BRASIL. Presidência da República. Lei nº 6.938. Diário Oficial, Brasília, DF, 31 de agosto de 1981.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Org.) Introdução a Ciência da Geoinformação. São José dos Campos: DPI, 2006. Disponível em: <<http://mtc12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.22.07.43/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 13 de março de 2016.
- CAMPOS, O. L. Estudo de Caso Sobre Impactos Ambientais de Linhas de Transmissão na Região Amazônica. Meio Ambiente, BNDS setorial 32 231-266. 2010.
- CARVALHO, G. M. B. S.; FILHO, M. V.; MEDEIROS, J. S. Aplicação de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na Identificação da erosão dos solos na Bacia do Rio Aracoiaba - CE. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Anais do VII SBSR. 188-198. 1993.
- CASTELLANET, C.; SIMÕES, A.; CELESTINO, P. Diagnóstico preliminar da agricultura familiar na Transamazônica: indicações para pesquisa-desenvolvimento, 48. Belém: Embrapa-CPATU, 1998.

- CHAVES, H. M. L.; Mapas de Erosão e de Risco de Erosão da Bacia do Rio Taquarussu. 4º. Relatório de Consultoria Técnica. Projeto Produtor de Água da Bacia do Rio Taquarussu / Tnc-Saneatins. Maio de 2012.
- CHAVES, H.M.L. Incertezas na predição da Erosão com a USLE: Impactos e mitigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34(6): 2021-2029. 2010.
- CHAVES, H.M.L. Modelagem matemática da erosão hídrica: Passado, presente e futuro. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 731-750. 1996
- CORRÊA, R. S. *Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração no Cerrado: Manual para Revegetação*. Editora Universa, 2º edição. Brasília-DF. 2009.
- CPNSP - Comissão Tripartite Permanente de Negociação do Setor Elétrico no Estado de SP. Norma Regulamentadora N° 10. Manual de treinamento curso básico segurança em instalações e serviços de eletricidade. 2005.
- DESMET, P.J.J; GOVERS, G. A GIS Procedure for Automatically Calculating the USLE LS Factor on Topographically Complex Landscape Units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51 (5) 427-433. September-October 1996.
- DOMINGOS, J. L. Estimativa de perda de Solo por Erosão Hídrica em uma Bacia Hidrográfica. Universidade federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais, Departamento de Geografia. Vitória, 2006.
- DOSEL AMBIENTAL CONSULTORIA E PROJETOS Ltda. Relatório Ambiental Simplificado [RAS] da LT Tucuruí II - Itacaiúnas - Colinas C2. 2014.
- EDUARDO, E. N. Determinação da Erodibilidade e do Fator Cobertura e Manejo do Solo sob Condições de Chuva Natural e Simulada. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. 2012.
- ELETOBRÁS. Sistemas Isolados. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2010. Disponível em: <<http://www.eletobras.com.br/elb/portal/main.asp?ViewID=%7B79364694%2D1E07%2D42BC%2D80FB%2D3B9FD8773544%7D;params=itemID=%7BD92B6870%2D7661%2D4B04%2D8D65%D861113ABB07D%7D;UIPartUID=%7BD90F22DB%2D05D4%2D4644%2DA8F2%2DFAD4803C8898%7D>>. Acessado em 17 de maio de 2016.
- FARIA, I. D. Ambiente e Energia: Crença e Ciência no Licenciamento Ambiental. Parte III: Sobre Alguns dos Problemas que Dificultam o Licenciamento Ambiental no Brasil. Núcleo de Estudos e Pesquisas do Senado. Textos para Discussão 99. 2011.
- FERREIRA, J. M. L.; ALVARENGA, A. P.; SANTANA, D. P. E.; VILELA, M. R. Indicadores de sustentabilidade em sistemas de produção agrícola. EPAMIG: Belo Horizonte, 2010.
- FINIZIO, A; CALLIERA, M.; VIGHI, M. Rating systems for pesticide risk classification on diferente ecosystems. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. v. 49, n. 3, p. 262-274, July 2001.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). *La erosion del suelo por El agua: algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo*. 207 p. Roma, 1967.
- FOSTER, G.R.; JOHNSON, C.B.; MOLDENHAUER, W.C. Hydraulics of failure of unanchored cornstalk and wheat straw mulches for erosion control. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 25:940-947, 1982.
- GARCIA, M. F.; LIMONAD, E. Grandes Projetos Hidrelétricos e Desenvolvimento Regional: Algumas considerações sobre o Projeto do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira. IV Encontro Nacional da Anppas. Brasília - DF – Brasil. Junho de 2008.

- GARCIA, M.F. Ocupação do território e impactos ambientais: o papel dos grandes projetos de eletrificação da Amazônia. Dissertação de Mestrado. Niterói: [s.n.], 2006.
- GÓMEZ, J. D. P. Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo o território Brasileiro. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, 2012.
- GOMIDE, I; BLANCO, C.; SOARES, R. S. S. Aplicação do Modelo USLE para Estimar a Perda de Solo da Bacia do Igarapé da Prata em Capitão Poço – Pará. IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Brasília – DF. 2012.
- GRILO, R.C.; ENAMI, L. Gestão de bacias hidrográficas com o uso de modelo preditivo de erosão dos solos e sistemas de informação geográfica. UNAR, Araras, SP, v.2, n.1, p.21-33, 2008.
- HESSION, W.C.; STORM, D.E. & HAAN, C.T. Two-phase uncertainty analysis: An example using the universal soil loss equation. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.*, 39:1309-1319, 1996.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro: IBGE. 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA IBGE. Mapa de Vegetação do Brasil. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: IBGE. 2004.
- JÚNIOR, J. S. N.; GOPFERT, L. C. Impactos Ambientais pela Implantação da Linha de Transmissão 500 KV Oriximiná - Cariri. Universidade Federal do Rio de Janeiro: Escola Politécnica. Rio de Janeiro. 2010.
- KOCHEN, R. Dutos e Obras Lineares: condicionantes geológicas-geotécnicas para projetos e construções. *Revista Engenharia*. São Paulo: Engenho. N. 575, p. 80-81. 2006
- LANDIS, J. R.; KOCH, G.G. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics* 33, 159-174. 1977.
- LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. 1.ed. São Paulo:Oficina de Textos. v.1. 178p. 2002.
- MAGALHÃES, S. F. Perda de Solo e Erosão fluvial na Bacia Hidrográfica do Rio. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Curso de Graduação em Engenharia Florestal, Seropédica-RJ, 2010.
- MARQUES, A. do S.S; SILVA, M.V.M. da; SOUZA, D.R. de; MELLO, A.H. de. Descrição do uso do solo de três estabelecimentos rurais da localidade Bom Jardim I, no município de Altamira-Pará. In: *Anais da 7ª Semana de Integração das Ciências Agrárias- SICA, UFPA, Altamira-Pará*, 2007.
- MATHER, P. M. Computer processing of remotely-sensed images: an introduction. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons. 292 p. 1999.
- MATRICARDI, W. Curso sobre conservação e uso dos recursos naturais. INCRA. 1992.
- MENEZES, José Renato Sobral; LUCIANO, Benedito Antônio; FONTGALLAND, Glauco. Impactos Ambientais Causados por Linha de Transmissão de 500 kV. Santa Catarina, 2006.
- MITASOVA, H., Hofierka, J., Zlocha, M. & Iverson, L. R. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Int. J. of GIS*, 1996.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. Amazônia. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/biomas/amaz%C3%B4nia> >. Acesso em 16 de março de 2016.
- MME, Ministério de Minas e Energia. Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2014; Edição de junho de 2015. 2014.
- OLIVEIRA, B. E. N. Mapeamento, Identificação e Análise dos Fatores Relacionados aos Processos Erosivos no Distrito Federal (DF) - Ênfase Nas Voçorocas. Dissertação.

- (Mestrado em Ciências Florestais). Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília-DF.2011.
- OLIVEIRA, F. H.; WOSNY, G. C.; DAL SANTO, M. A. Análise e monitoramento das Linhas de Transmissão e Faixas de Servidão, utilizando SIG. Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC Laboratório de Geoprocessamento – Geolab.2005.
- PIRES, Lorena Fornari de Ary. Gestão ambiental da implantação de sistemas de transmissão de energia elétrica – Estudo de caso: Interligação Norte/Sul I. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Niterói, 2005.
- RAMOS, C. Utilização de Técnicas de Geoprocessamento para otimização de traçados em empreendimentos lineares. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. Porto Alegre, dezembro 2009.
- RAMOS, T. B. Sistemas de indicadores e índices ambientais. In: Congresso Nacional dos Engenheiros do Ambiente, 4, 1997, Faro: IPEA, p. IV33-IV43. 1997.
- RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical do INPA. *Acta Amazonica*, 10(1): 7-41. 1980.
- RENARD, K. G. FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of Hydrology* 157. Pg. 287-306. 1994.
- RISSE, L.M.; NEARING, M.A.; NICKS, A.D. & LAFLEN, J.M. Error assessment in the universal soil loss equation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57:825-833, 1993.
- SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena* 57: 251-259, 2004.
- SOUZA, N. C.; GIANOTTI, M. A.; QUINTANILHA, J. A.; FILHO, G. S. A.; Análise da Associação entre Características Topográficas e Tipos de Ocorrência de Processos Erosivos ao Longo de Linha Férrea -Estudo de Caso: Malha Paulista – All (SP). *Boletim de Ciências Geodésicas - On-Line version*. Curitiba, v. 20, no 4, p.947-969, out-dez, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702014000400052>>. Acesso em 17 de março de 2016.
- STEIN, M. L. Interpolation of spatial data: some Theory for Kriging. Spring Verlag New York. 1999.
- TÁNAGO, M.G. La ecuación universal de pérdidas de suelo: Pasado, presente y futuro. *Ecología*, 5:13-50, 1991.
- TIWARI, A.K.; RISSE, L.M. & NEARING, M.A. Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE. *Trans. Am. Soc. Agron. Eng.*, 43:1129-1135, 2000.
- TOBOUTI, A. K.; SANTOS, V. L. P. Impactos Ambientais Causados na Implantação de Linhas de Transmissão no Brasil. *Caderno Meio Ambiente e Sustentabilidade*. Vol. 4, n. 3, p. 184-199. Jul - dez 2014.
- VRIELING, A. Mapping erosion from space. Doctoral Thesis Wageningen University – with ref. – with summaries in English and Dutch. ISBN: 978-90-8504-587-8. 2007.
- VRIELING, A. RODRIGUES, S.C. STERK, G. Evaluating Erosion from Space: A Case Study Near Uberlândia. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, Special Issue, pg. 683-696. 2005.
- VUČKOVIĆ, L.; SAVIĆ, S.; CVETKOVIĆ, M. Elements and Methods for risk Assessment of an Electric Power Transmission System. Faculty of Occupational Safety, University of Niš. *Facta Universitatis Series: Working and Living Environmental Protection* Vol. 2, No 5, 2005, pp. 421 - 430. 2005.
- WALL, G. J. Seasonal soil erodibility variation in southwestern Ontário. *Can. J. Soil Sci.*, v. 68, p. 417-424, 1997.
- WILLIAMS, J.R. Sediment field prediction with universal equation using runoff energy factor. In: USDA-ARS (ed.). *Present and prospective technology for prediction sediment yields and source*, Washington, Handbook S-40, p.244-252. 1975.

- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA. (Agriculture handbook, 537). 1978
- WISCHMEIER, W.H. Use and misuse of the universal soil loss equation. J. of Soil and Water Conserv. 3 15-9. 1976.
- WOSNY, G. C.; JOÃO LUIZ, S. M.; OLIVEIRA, F. H. Modelagem, em Ambiente SIG, de Processos Erosivos do Solo Aplicado às Linhas de Transmissão de Energia Elétrica. EGAL - Encontro de Geólogos da América Latina. 2009.