



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA  
ÁREA DE GEOLOGIA MARINHA, COSTEIRA E SEDIMENTAR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**CONTRIBUIÇÃO DO APORTE FLUVIAL DE SEDIMENTOS PARA A CONSTRUÇÃO DA  
PLANÍCIE DELTAICA DO RIO JEQUITINHONHA – BA**

**JULIANA MARIA DA SILVA BERNAL**

**SALVADOR - BA**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**“Contribuição do aporte fluvial de sedimentos para a construção da planície deltaica do Rio Jequitinhonha-BA”**

**Por**

**Juliana Maria da Silva Bernal**

**Geógrafa (Universidade Estadual de Santa Cruz – 2003)**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Submetida em satisfação parcial dos requisitos ao grau de**

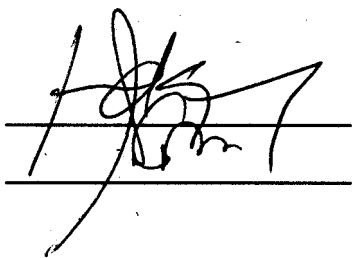
**MESTRE EM CIÊNCIAS – GEOLOGIA**

**à**

**Câmara de Ensino de Pesquisa e Pós-Graduação da  
Universidade Federal da Bahia**

**Prof. Dr. José Maria Landim Dominguez – Orientador (UFBA)**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



(Prof. Dr. Fernando Genz – UFBA)

(Prof. Abílio Carlos da S. P. Bittencourt – UFBA)

**Data da defesa: 15/12/2009**

**Resultado final: Aprovado ( x )**

## **DEDICATÓRIA**

*Ao meu companheiro de todos os momentos, Adeylan, por todo apoio e incentivo. Ao meu irmão Helder, e a minha filha amada Maria Clara, pela amizade e carinho de todos os dias, **ofereço**.*

*Aos meus queridos pais e avó, Francisco, Clotilde e Ercília, pelo carinho e apoio, sempre. Aos meus saudosos avós, João, Rosa e José (in memoriam), por terem vibrado pelo meu crescimento, **dedico**.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Landim pela confiança, paciência e admirável profissionalismo.

A Abílio, pela sua colaboração, textos e sábios conselhos.

A Rajendra, por todo apoio e pronto atendimento, elucidando dúvidas e acrescentando conhecimentos.

A Dária, pelo carinho, apoio e confiança, pelos ensinamentos, textos, livros e conversas.

A Junia, amiga e companheira de estudo que não poupou esforços para sempre me ajudar.

A Adeylan, companheiro de vida e de trabalho, por me aturar 24 h com amor, dedicação e apoio.

A Marcus, por tantas ajudas de SIG.

A Renata e Lucas, amigos e companheiros de trabalho, por todo apoio desta longa caminhada.

Ao Helder, irmão do coração, por todos os “Helps” de informática e outros. E pela sua importante e grandiosa amizade, de qualquer lugar do mundo, sempre presente.

A Anita pela ajuda com o *abstract*.

Ângela e Janaina pelo material cedido e apoio no início deste trabalho.

Aos colegas da pós, Augusto, Carol, Marcelo...pelo incentivo e apoio.

Ao Joaquim por salvar meu HD e nele todo meu trabalho.

A Rosane, pelas valiosas dicas no início deste trabalho.

A Helge do IBGE pelo fundamental mapa de uso da terra.

Ao Sr. Bonfim da CPRM e sua equipe do SIAGAS pelo pronto atendimento em enviar informações referentes aos poços subterrâneos.

Aos professores da pós pelos conhecimentos transmitidos.

Aos bibliotecários.

Ao Niltinho, sempre prestativo e ao querido Gil (in memoriam).

A todos os companheiros de trabalho do LEC pelo apoio em todo esse tempo de convivência diária.

A Creche-UFBA por cuidar de Clarinha na minha ausência.

A CAPES pela concessão da bolsa.

Aos amigos de longe que sempre torceram por mim.

Ao Mahananda por me mostrar o caminho.

A Maria Clara minha grande motivação, por ser uma fonte diária de aprendizado e maturidade.

E finalmente, a minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando, incentivando, ajudando e encurtando as distâncias através amor. “Vocês foram fundamentais”! (São Paulo, Santos, Canavieiras)

*“Mas se os rios surgem e perecem e se as mesmas partes da Terra não são sempre úmidas, o mar também deveria, necessariamente, secar. E se em alguns lugares o mar recua, enquanto em outros invade, evidentemente as mesmas partes da Terra como um todo não seriam sempre mar, nem sempre terra, mas no processo do tempo tudo muda.”*

*Aristóteles in “Meteorológica, Ca”. 355 A.C.*

## **RESUMO**

A Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha – BHRJ possui uma área de aproximadamente 73.600 km<sup>2</sup>, que abrange grande parte do nordeste do Estado de Minas Gerais e um pequeno setor do sudeste do Estado da Bahia. O rio Jequitinhonha nasce na Serra do Espinhaço, a sul da cidade de Diamantina, Estado de Minas Gerais, a uma altitude aproximada de 1.260 m, e deságua no Oceano Atlântico, no município de Belmonte, sul do Estado da Bahia. Uma planície deltaica, com aproximadamente 800 km<sup>2</sup>, está associada à desembocadura deste rio. O presente trabalho tem como objetivo, avaliar a contribuição do aporte fluvial de sedimentos da BHRJ na construção desta planície. A planície deltaica do rio Jequitinhonha é composta por depósitos com idades que variam do Pleistoceno até o Atual, e constitui um delta modificado pela ação de ondas.

A produção de sedimentos para os usos da terra atuais foi calculada através da aplicação da Equação Universal de Perda do Solo – EUPS. Os resultados obtidos foram comparados aos dados da série histórica de vazão líquida e de sedimentos da estação Jacinto (cód. 54780000) para os anos de 1971 a 2007, para uma melhor acurácia. A produção de sedimentos foi também modelada para um cenário de cobertura vegetal original a fim de se estimar o impacto das mudanças no uso da terra na descarga sólida.

A descarga sólida de sedimentos na BHRJ obtida pela aplicação da EUPS e calibrada com as medições da estação Jacinto foi de  $27 \times 10^6$  t/ano. Na simulação para o cenário de cobertura vegetal original esta descarga foi de  $1 \times 10^6$  t/ano. Considerando-se que a carga de leito corresponde a 26% da descarga total, e convertendo-se os valores obtidos para volume (m<sup>3</sup>), o aporte de sedimentos atual equivale a  $3,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/ano e o aporte de sedimentos para o cenário com vegetação original foi de  $140 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/ano.

As descargas sólidas fluviais calculadas para dois cenários foram comparadas com os sedimentos depositados na planície deltaica nos últimos 2500 anos e entre os anos de 1700 e 2008; esse último caracterizou o período sob condições atuais de uso da terra. Nos últimos 2500 anos acumularam-se na planície costeira  $1 \times 10^9$  m<sup>3</sup> de sedimentos arenosos e cascalhosos. Neste período estima-se que o rio Jequitinhonha tenha aportado para a zona costeira um volume de sedimentos de  $1,46 \times 10^9$  m<sup>3</sup> sugerindo que este rio desempenhou um papel fundamental na progradação da planície a ele associada.

## ***ABSTRACT***

The Jequitinhonha River Drainage Basin – JRDB has an area of approximately 73600 km<sup>2</sup>, which covers much of the northeastern State of Minas Gerais and a small section of the southeastern State of Bahia. The Jequitinhonha River rises in the Espinhaço Mountain Ridge, State of Minas Gerais, at approximately 1260 m altitude, and discharges into the Atlantic Ocean, near to the Belmonte City, southern Bahia. A delta plain with approximately 800 km<sup>2</sup> is associated with the mouth of the river. The present work aims at evaluating the contribution of the delivery of sediment by the rivers of the JRDB to the construction of this delta plain. The Jequitinhonha River delta plain is wave dominated and consists of deposits with ages ranging from Pleistocene to the present.

The sediment yield with the current land uses was calculated by means of the Universal Soil Loss Equation– USLE. The results obtained were compared to data of the historical series of net flow and sediment of the Jacinto Station (code 54780000) for the years from 1971 to 2007, for better accuracy. The sediment yield was also modeled on an original vegetation scenario in order to estimate the impact of changes in land use upon the river solid discharge.

The sediment discharge in the JRDB obtained by means of the USLE and calibrated with data of the Jacinto Station was 27 x 10<sup>6</sup> t / year. In the simulation for the original vegetation scenario the sediment discharge was 1 x 10<sup>6</sup> t /year. Assuming that the load of the river bed is responsible for 26% of the total discharge and converting the values obtained to volume (m<sup>3</sup>), it was obtained that the volume of sediment delivered to the delta plain is 3,7 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>/ year in current conditions and 140 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/ year for the original vegetation scenario.

The river discharges calculated for the two scenarios were compared with the sediment deposited in the delta plain in the last 2500 years and between 1700 and 2008; the latter to characterize the period of time under current land use. In the last 2500 years, 1 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> of sandy and gravelly sediment have accumulated in the strandplain. We estimate that during this time the Jequitinhonha River has brought to the coastal zone 1.4<sup>6</sup> x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>, which suggests that the river has played a fundamental role in the progradation of its delta plain.



## *ÍNDICE GERAL*

<i>DEDICATÓRIA</i> .....	i
<i>AGRADECIMENTOS</i> .....	ii
<i>RESUMO</i> .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
<i>ÍNDICE GERAL</i> .....	vi
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> .....	viii
<i>ÍNDICE DE TABELAS</i> .....	ix
<i>1. INTRODUÇÃO</i> .....	1
<i>2. OBJETIVOS</i> .....	4
2.1 Objetivo Geral.....	4
2.2 Objetivos Específicos.....	4
<i>3. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA</i> .....	5
3.1 Bases Cartográficas e Temáticas.....	5
3.2 Modelagem da EUPS em Ambiente de SIG.....	6
3.3 Cálculo da Descarga Sólida Total para a Estação Jacinto.....	7
3.4 Calculo do Volume de Sedimentos Fluviais Aportados nos Últimos 2500 anos.....	9
<i>4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</i> .....	10
4.1 Localização e Clima.....	10
4.2 Geologia e Geomorfologia.....	12
4.2.1 Recursos Minerais.....	13
4.3 Evolução Paleogeográfica da Planície Costeira.....	13
4.4 Solos.....	16
4.5 Ocupação Histórica e Impactos Ambientais.....	18
4.6 Vegetação e Uso da Terra.....	19
<i>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</i> .....	23
5.1 Cálculo e Espacialização dos Fatores da EUPS.....	23
5.1.1 Fator R – Erosividade das Chuvas.....	23
5.1.2 Fator K - Erodibilidade do Solo.....	27
5.1.3 Fator L e S – Comprimento e Declividade da Vertente.....	30
5.1.4 Fator C e P – Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas.....	30
5.1.5 Cálculo da EUPS - Produção de Sedimento Atual.....	35
5.1.6 Cálculo da EUPS para o Cenário de Cobertura Vegetal Original.....	38
5.2 Descarga Sólida Total para a Estação Jacinto.....	38
5.3 Contribuição dos Aportes Fluviais do Rio Jequitinhonha para a Construção da Planície Costeira.....	42
5.3.1 Aporte de Sedimentos Fluviais.....	43
5.3.2 Volume de Sedimentos Arenosos dos Últimos 2500 anos, 308 anos e 48 anos.....	44

6. *CONCLUSÕES* .....51  
7. *REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS*.....52  
*ANEXOS*.....60

## *ÍNDICE DE FIGURAS*

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	11
Figura 2 – Mapa geológico simplificado da BHRJ, modificado da CPRM (2004).....	14
Figura 3 – Mapa geológico-geomorfológico da Planície Costeira do rio Jequitinhonha, segundo Dominguez (1983) e atualizado por Nascimento (2007).....	15
Figura 4 – Mapa de solos da BHRJ, modificado da EMBRAPA (1981) e adaptado para a nova classificação brasileira de solos.....	17
Figura 5 – Foto de atividade de dragagem no médio curso do rio Jequitinhonha (Chaves & Chambel 2004).....	19
Figura 6 – Mapa de vegetação original da BHRJ, modificado do IBGE (1988).....	20
Figura 7 – Mapa de uso da terra da BHRJ, digitalizado a partir do mapa impresso original, modificado de Sokolonski et al. (1999). Barramentos: (1) Bananal; (2) Calhauzinho; (3) Caraíbas; (4) Diamantina-1; (5) Irapé; (6) Itapebi; (7) Salinas e (8) Santa Marta.....	21
Figura 8 – Mapa do Fator R – Erosividade da Chuva na BHRJ.....	26
Figura 9 – Mapa do Fator R – Erodibilidade dos Solos da BHRJ.....	29
Figura 10 – Mapa do Modelo Numérico de Terreno, da BHRJ modificado da USGS (2007).....	31
Figura 11 – Mapa do Fator LS – Comprimento e Declividade da Vertente da BHRJ.....	32
Figura 12: Área ocupada pelos valores do fator CP para a BHRJ.....	33
Figura 13: Mapa do Fator CP – Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas na BHRJ. Categorias de ocupação: R – Reflorestamento, EA – Extrativismo Animal + Extrativismo Vegetal, PE – Pecuária Extensiva, OS – Pecuária Semi-Intensiva, AP – Agropecuária, Atr – Agricultura Transição e EV – Extrativismo Vegetal + Agropecuária.....	34
Figura 14 – Mapa do Fator CP – Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas para o cenário de Cobertura Vegetal Original da BHRJ.....	36
Figura 15 – Mapa de Produção de Sedimento Atual da BHRJ.....	37
Figura 16 – Mapa de Produção de Sedimento para o Cenário de Cobertura Vegetal Original da BHRJ.....	39
Figura 17 – Descarga anual de sedimentos para o período de 1972 a 2007.....	42
Figura 18 – Localização dos furos de sondagem da CERB, área dos sedimentos acumulados nos últimos 2500 anos e linhas de costa para os anos de 1700, 1800, 1900 e 1906 (modificado de Dominguez et al. 2004, Dominguez 2008) na planície costeira do rio Jequitinhonha. Imagem do satélite CBERS-2B HRC de 2008.....	46
Figura 19 – Área de progradação na planície costeira do rio Jequitinhonha entre os anos de 2500 AP. a 1700; 1700 a 1800; 1800 a 1900; 1900 a 1960 e 1960 a 2008.....	48
Figura 20 – Gráfico comparativo entre os volumes de sedimentos acumulados na planície e os volumes dos aportes fluviais.....	49

## *ÍNDICE DE TABELAS*

Tabela 1 – Classificação do nível de degradação referente a perda de solo por erosão hídrica e/ou eólica.....	7
Tabela 2 – Séries históricas de dados pluviométricos para as estações selecionadas para este estudo mostrando os anos de preenchimento de falhas.....	24
Tabela 3 – Precipitações médias anuais e valores do fator R para a série histórica de 30 anos de dados pluviométricos.....	25
Tabela 4 – Valores da erodibilidade dos solos (K) e propriedades de cada classe de solo utilizada na equação adotada.....	28
Tabela 5 – Classes de uso da terra e valores de CP.....	33
Tabela 6 - Classes de vegetação e os respectivos valores de CP atribuídos.....	35
Tabela 7 – Classes de perda de solos em toneladas proporcional à área da bacia.....	35
Tabela 8 - Classes de perda de solos em toneladas proporcional à área da bacia.....	38
Tabela 9 – Equações aplicadas a cada período de dados para o cálculo da descarga sólida total de sedimentos.....	40
Tabela 10 – Média anual e descarga sólida total calculada para o período de 1972 a 2007.....	41
Tabela 11 - Taxa de progradação entre os anos de 2500AP. e 1700 e de 1700 e 2008.....	47
Tabela 12 – Volumes de sedimentos depositados na planície e os volumes dos aportes fluviais correspondentes em cinco intervalos de tempo durante os últimos 2500.....	49

## 1. INTRODUÇÃO

As planícies costeiras quaternárias brasileiras são ambientes que resultaram da interação de diversos processos sedimentares e morfodinâmicos. Sua história evolutiva é tema discutido em diversos trabalhos, dentre estes pode-se citar, Bittencourt *et al.* (1982), Dominguez (1983), Dominguez *et al.* (1981, 1982, 1983, 1987, 1992), Martin *et al.* (1996) e Suguio *et al.* (1982, 1985). Estes estudos permitiram estabelecer um modelo geral para explicar a evolução das feições progradantes da costa leste brasileira, destacando principalmente o papel das oscilações do nível relativo do mar durante o Quaternário e a relação da deriva litorânea e o efeito de molhe hidráulico no processo de construção dessas planícies litorâneas.

Os trabalhos acima mencionados enfatizaram a grande contribuição sedimentar de origem marinha disponibilizada pelo abaixamento do nível relativo do mar para a progradação dessas feições. Concomitante a esse processo, a deriva litorânea transportaria esses sedimentos sendo os mesmos depositados posteriormente pelo efeito de molhe hidráulico das desembocaduras fluviais. Com base neste modelo evolutivo, Bittencourt *et al.* (1982), Dominguez *et al.* (1982) e Suguio *et al.* (1982), questionaram o emprego do termo “delta” para designar tais feições, argumentando que os rios, associados a essas planícies costeiras, desempenharam um papel secundário no suprimento de sedimentos para a construção das mesmas.

Com o avanço dos estudos relacionados à história evolutiva dos ambientes costeiros, fatores como as mudanças climáticas e o suprimento de sedimentos passaram a ser considerados importantes elementos de investigação (Brommer & Bochev-van der Burgh 2009), proporcionando uma melhor compreensão a respeito da gênese e da dinâmica das planícies costeiras.

A importância do aporte fluvial de sedimentos na zona costeira e nos oceanos é observada desde as primeiras estimativas globais de produção de sedimentos realizadas por Holeman (1968) e Milliman & Meade (1983). Estes trabalhos já mencionavam que a interferência humana nas bacias hidrográficas influenciava no volume de sedimentos carreados pelos rios e conseqüentemente no aporte de sedimentos para a zona costeira.

Posteriormente, outros trabalhos têm evidenciado ainda mais esta relação, como mostram os estudos dos rios Yellow e Yangtze na China. Segundo Milliman *et al.* (1987), Saito (2001) e Yang *et al.* (2002), o desflorestamento, a agricultura, a construção de barragens e a extração de sedimento de fundo, têm influenciado fortemente o regime de descarga de água e sedimento resultando em mudanças significativas na linha de costa. Yang *et al.* (2002) relacionaram a diminuição da descarga de sedimentos do rio Yangtze nas últimas décadas à construção de barragens, sugerindo um cenário de erosão nos próximos 50 anos para o delta deste rio. Segundo Syvitski (2003), entre 1951 e 1982, grandes barragens foram construídas em todo o

mundo, em média 900 por ano. O autor apresenta como exemplo deste crescimento, a China, que até a década de 50 possuía apenas 8 barragens. Na década de 80 este número aumentou para 18.600, totalizando na época, 55% do total existente em todo mundo.

As alterações ambientais em uma bacia hidrográfica, associadas a mudanças nos usos da terra, como por exemplo, a agricultura, o desmatamento e a construção de barragens, resultam em modificações no ciclo hidrológico e hidrossedimentológico dos rios, com conseqüências diretas na produção de água e sedimento. Estas modificações podem repercutir diretamente na dinâmica natural dos ambientes fluvial, estuarino e costeiro.

Um estudo realizado por Tanabe *et al.* (2006), no delta de Song Hong analisou a morfodinâmica da desembocadura fluvial em relação à descarga de sedimentos, e as mudanças no nível relativo do mar. Estes autores descreveram a evolução holocênica deste sistema deltáico com base nos registros sedimentares de sete perfurações na área da planície costeira aplicando os conceitos da estratigrafia de seqüências. Este trabalho considerou em sua análise, além dos elementos que integram este complexo sistema costeiro, o suprimento de sedimentos continentais, o qual assumiu um importante papel na progradação e atual morfologia do delta.

Na costa brasileira, o conhecimento da carga de sedimentos fluviais que alcança o oceano, representa uma importante informação, tanto para a compreensão do balanço de sedimentos na zona costeira, como para o entendimento da história evolutiva quaternária (Dominguez & Bittencourt 1996, Dominguez *et al.* 1992). Segundo Martin *et al.* (1993) estes estudos podem fornecer informações valiosas sobre mudanças paleoambientais e sobre tendências da dinâmica atual, auxiliando na resolução de diversos problemas, como aqueles relacionados aos fenômenos de erosão e sedimentação.

A quantificação da produção de sedimento de uma bacia hidrográfica pode ser realizada através de medições de campo em estações sedimentométricas ou estimada a partir de modelos matemáticos que utilizam as características físicas e ambientais da bacia.

No Brasil, alguns trabalhos integraram os estudos de bacias hidrográficas e suas implicações ambientais na zona costeira. Estes trabalhos estimaram a produção de sedimentos para bacias hidrográficas que deságuam diretamente no oceano. A metodologia utilizada foi a medição direta em estações sedimentométricas e a aplicação de equações de perda do solo (Carvalho & Cunha 1998, Oliveira 1999, Aquino *et al.* 2003, Medeiros *et al.* 2007, Queiroz 2003 e Almeida 2004). Alguns destes trabalhos mostraram alterações no ciclo hidrossedimentológico das bacias, decorrentes principalmente das atividades humanas e os conseqüentes impactos na zona costeira adjacente (Oliveira 1999, Queiroz 2003, Medeiros *et al.* 2007).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Jequitinhonha – BHRJ, dados de descarga de sedimento foram apresentados pelos estudos de Souza & Knoppers (2003) e Oliveira *et al.* (2004).

Souza & Knoppers (2003) avaliaram o fluxo de água e sedimento para a costa leste do Brasil, a partir de registros de estações fluviométricas obtendo um resultado de produção específica de matéria em suspensão para o rio Jequitinhonha de 78 t/km<sup>2</sup> ano, classificada como a terceira maior produção da costa leste.

Oliveira *et al.* (2004) compararam os resultados da produção de sedimento na BHRJ estimados através do modelo *Soil Water Assessment Tool - SWAT* com os dados obtidos na estação fluviométrica de Jacinto apresentando um coeficiente de correlação de 97%, entre o resultado medido e o estimado. Diante do bom resultado obtido pelo modelo de previsão, os autores indicaram a ferramenta para simulações de cenários assim como sugestões para o aperfeiçoamento do modelo com a utilização de dados de entrada com melhores resoluções.

Outros trabalhos realizados na BHRJ (Geotécnica 1994, IBGE 1997, Sokolonski *et al.* 1999, Santos 2004, ANA 2006), trazem informações sobre as características físicas, ambientais e sócio-culturais da bacia, mostrando a intensa exploração dos seus recursos naturais desde o início da colonização. Dentre os impactos ambientais neles descritos, destacam-se aqueles referentes às condições de assoreamento e alta turbidez apresentados pelo rio. No entanto, não há menção sobre dados de descargas de água e sedimento, bem como análises das alterações hidrossedimentológicas e seus possíveis reflexos no equilíbrio dos sistemas costeiros adjacentes.

A planície costeira do rio Jequitinhonha apresenta-se como uma área extremamente dinâmica e vulnerável, devido tanto à ação de correntes, ondas e ventos, quanto às descargas fluviais de água e sedimento. Dominguez *et al.* (2004) identificaram episódios de severa erosão na planície costeira do rio Jequitinhonha durante os últimos 1.200 anos através da análise da arquitetura dos cordões litorâneos holocênicos. Os autores atribuíram estes episódios às mudanças climáticas, ocasionando assim eventos de redução na precipitação sobre a bacia hidrográfica, e a conseqüente diminuição no suprimento de sedimentos para a zona costeira.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar a contribuição do aporte fluvial de sedimentos na construção da planície costeira associada à foz do rio Jequitinhonha.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Modelar a produção de sedimentos para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, utilizando a Equação Universal de Perda do Solo – EUPS (*Universal Soil Loss Equation – USLE*);
- Modelar a produção de sedimentos para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, para um cenário de cobertura vegetal original, sem a interferência humana;
- Calcular a descarga sólida total para a estação sedimentométrica de Jacinto;
- Calcular o volume total de sedimentos quaternários acumulados na planície costeira do rio Jequitinhonha;
- Contabilizar os créditos relativos de sedimentos oriundos do aporte fluvial na construção da planície costeira do rio Jequitinhonha.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS DE PESQUISA

As principais etapas deste trabalho foram: (i) aquisição de informações sobre a área de estudo, através de pesquisa bibliográfica, compilação de dados hidrológicos, cartográficos e fisiográficos; (ii) manipulação e tratamento dos dados e (iii) geração e discussão dos resultados.

#### 3.1 Bases Cartográficas e Temáticas

Nesta etapa, foi delimitada a área da BHRJ, utilizando-se a rede de drenagem obtida em formato digital publicada pela CPRM (2004) e o Modelo Numérico de Terreno – MNT obtido no site do *United States Geological Survey – USGS* (2007). O MNT teve o tamanho das células dimensionadas em 0.001°, equivalente a 100 x 100 metros ou 1 hectare, bem como os demais mapas em formato *raster* resultando na padronização da dimensão das células para a execução das operações algébricas entre os diferentes planos de informação que compõem a equação de perda de solo.

O mapa geológico da BHRJ foi elaborado a partir dos dados digitais publicados pela CPRM (2004). Para a elaboração do mapa geológico da planície costeira do rio Jequitinhonha foi utilizado o mapa geológico da área de estudo, publicado por Dominguez (1983) e atualizado por Nascimento (1997) em formato digital.

O mapa de solos foi elaborado a partir do Mapa de Solos do Brasil produzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa em 1981, na escala de 1:5.000.000, digitalizado pela USGS (1992) disponível na internet. Alguns detalhes foram incorporados aos solos da planície costeira utilizando o mapa de solos da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE (1977) digitalizado pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia – SEI em 2003.

O mapa de vegetação foi elaborado a partir do Mapa de Vegetação do Brasil produzido pelo IBGE em 1988, na escala de 1:5.000.000, digitalizado pela USGS (1992), publicado atualmente por IBGE (2004) e disponível na internet. O mapa de uso da terra apresentado neste trabalho foi digitalizado a partir da versão impressa, elaborada por Sokolonski *et al.* (1999) na escala de 1:500.000.

Os programas utilizados neste trabalho para digitalização e geração dos mapas, e tratamento dos dados cartográficos foram o ArcView 3.2® e o ArcMap 9.2® em um Sistema de Informações Geográficas – SIG.

### 3.2 Modelagem da EUPS em Ambiente de SIG

Para modelar a produção de sedimentos da BHRJ adotou-se a Equação Universal de Perda do Solo – EUPS (*Universal Soil Loss Equation – USLE*) desenvolvida na década de 50 revisada e amplamente difundida por Wischmeier & Smith (1978). Esta equação incorpora parâmetros naturais e antrópicos da bacia hidrográfica. Do resultado da equação, obtém-se o valor da perda de solo média anual, que representa a erosão laminar na bacia hidrográfica. Desta quantidade de sedimento produzido, parte pode ser depositada no leito do rio, em bancos de areia ou barras, em reservatórios, na planície fluvial e apenas um percentual de toda quantidade produzida aporta efetivamente ao exutório da bacia.

Equação Universal de Perda de Solos:  $A = R K L S C P$ , onde:

A = perda de solo calculada por unidade de área (t/ha ano);

R = fator erosividade da chuva (MJ.mm/ha.h.ano);

K = fator erodibilidade do solo (t.ha.h/ha.MJ.mm);

L = fator comprimento do declive (adimensional);

S = fator grau de declive (adimensional);

C = fator uso e manejo (adimensional);

P = fator prática conservacionista (adimensional).

A produção de sedimento atual para a BHRJ foi obtida através do produto de todos os fatores integrantes da equação de perda do solo, em planos de informação gerados no programa *ArcMap 9.2®*, no formato *raster*, os quais foram submetidos a uma operação de multiplicação utilizando álgebra de mapas.

Para estimar a taxa de transferência de sedimentos que alcançam o exutório da bacia, foi utilizada a equação da *SDR - Sediment Delivery Ratio* conforme definido em Walling (1983).

Taxa de transferência de sedimentos:  $SDR = 100Y/At$ , onde:

*SDR* = taxa de descarga de sedimento, expressa em percentagem;

Y = aporte de sedimento ao exutório da bacia, expresso em t/ano;

At = perda de solo total no interior da bacia, expressa em t/ano.

A estimativa do aporte de sedimentos ao exutório da bacia foi calculada através da média da descarga sólida total (ver item 5.2) obtida através da série histórica dos dados de descarga líquida e de sedimentos em suspensão da estação Jacinto (54780000). A estação é representativa de uma área de 65.986 km<sup>2</sup>, equivalente a 89,66% da área total da bacia, e sua localização é apresentada na figura 1. Para a aplicação do *SDR*, a EUPS foi inicialmente modelada para a área de abrangência da estação

sedimentométrica (89,66%), para posteriormente ser aplicado o *SDR* na modelagem da produção de sedimento de toda a área da bacia (100%).

Segundo a classificação proposta por Riquier (1984) apud Carvalho (1994), os valores de degradação referentes erosão hídrica e eólica são representados em quatro classes (Tabela 1), os valores classificados como forte e muito forte correspondem a erosão acima de limites toleráveis e ocorrem em áreas com forte degradação como voçorocas, deslizamentos, desbarrancamentos ou mesmo em áreas sujeitas a forte erosão, quando estão desprotegidas.

Tabela 1 – Classificação do nível de degradação referente a perda de solo por erosão hídrica e/ou eólica:

<b>Classes</b>	<b>Erosão Hídrica e Eólica (t/ha.ano)</b>
I - nula a pequena	até 10
II - moderada	10 a 15
III - forte	50 - 200
IV - muito forte	> 200

Uma primeira modelagem foi realizada para calcular o aporte atual de sedimentos fluviais da BHRJ, utilizando-se para compor o fator CP, dados do uso da terra mais recentes disponíveis para área de estudo (Sokolonski *et al.* 1999). Aplicando-se a EUPS, calibrada com os dados da descarga sólida obtidos pela estação sedimentométrica (*SDR*), foi obtido o aporte de sedimentos atual da BHRJ.

Uma segunda modelagem foi realizada, substituindo o plano de informação do fator CP referente ao uso da terra atual, por valores do fator CP utilizando dados da cobertura vegetal original (IBGE 2004), obtendo-se a simulação de um cenário de cobertura vegetal preservada, ou seja, sem usos ou cultivos. Aplicando-se a EUPS com o mesmo valor do *SDR* utilizado na primeira modelagem foi possível obter o aporte de sedimentos da BHRJ para um cenário de cobertura vegetal original.

### **3.3 Cálculo da Descarga Sólida Total para a Estação Jacinto**

Das quatro estações de medição de sedimentos em suspensão existentes na bacia em estudo, foi escolhida a mais próxima da foz, a estação Jacinto (54780000), representativa de uma área de 65.986 km<sup>2</sup> da área total da bacia, equivalente a 89,66 %.

Foram utilizados os dados de vazão líquida e os dados de material particulado em suspensão, para o período de 1971 a 2007, existentes na estação de medição Jacinto e disponibilizados pelo Sistema de

Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional das águas (ANA). Os dados foram tratados em planilha eletrônica utilizando-se o programa *Microsoft Office Excel*® - 2003.

Inicialmente, foi realizado o preenchimento das falhas existentes na série histórica dos dados de vazão, entre os anos de 1991 e 1994 através dos dados de duas estações próximas à Jacinto (Itapebi – 54950000 e Jequitinhonha – 54710000), estabelecendo correlações entre as séries de vazões, Jacinto x Itapebi e Jacinto x Jequitinhonha, corrigindo assim, a ausência de dados.

A seguir, foi calculada a descarga sólida total para todos os dados medidos de material particulado em suspensão, adotando, o Método Simplificado de Colby de 1957. Este método é baseado no Método Simplificado de Einstein e em várias medições no campo (Carvalho 1994). O método de Colby foi escolhido pelo fato dos dados necessários, tais como, concentração do material em suspensão, vazão, velocidade, etc., estarem disponíveis para a estação Jacinto, e disponibilizados pela ANA, o que não aconteceu com outros métodos que necessitavam de muitas outras variáveis não obtidas para este estudo.

O cálculo da descarga sólida foi realizado utilizando uma solução elaborada por Prodanoff (1996), que permite, após a digitação das variáveis que integram a equação, o cálculo automático da descarga sólida total pelo método de Colby.

Diferente das medições dos dados de vazão que foram diários para toda série histórica, os dados de medição de material particulado em suspensão foram realizados apenas uma vez ao mês, e variaram de duas a oito medições ao ano (para o período de 1971-2007).

Por esta razão, os dados de medição de sedimentos apresentaram uma limitação em relação aos valores de vazão máxima, pois a maior vazão verificada na série de dados de sedimentos em suspensão foi de 1035m<sup>3</sup>/s, já na série histórica de vazão líquida foram encontrados valores de até 11.451m<sup>3</sup>/s, mas estes, sem medições de sedimentos. Desta forma, buscou-se uma correlação entre a descarga sólida total e sua vazão líquida correspondente.

Para uma maior acurácia desta correlação, os dados de descarga sólida foram divididos em quatro períodos de tempo elevando desta forma os valores de R<sup>2</sup> acima de 0,9.

As quatro equações resultantes das correlações acima descritas foram aplicadas em toda série histórica de dados de vazão líquida, com exceção das vazões cujos valores foram superiores às vazões máximas existentes nos quatro períodos de dados da descarga sólida total.

Considerando a importância de estimar a descarga de sedimentos também para os períodos de cheia do rio, foi aplicada a equação (obtida da correlação entre a descarga sólida total e sua vazão líquida correspondente) nos dados de vazão desconsiderados anteriormente, completando assim o cálculo de descarga sólida total para o período de 1971 a 2007.

### **3.4 Cálculo do Volume de Sedimentos Fluviais Aportados nos Últimos 2500 anos**

Apesar da área da planície costeira em estudo abranger as desembocaduras tanto do rio Pardo quanto do rio Jequitinhonha, foi utilizado para o cálculo do acúmulo de sedimentos quaternários, somente os sedimentos depositados nos últimos 2500 anos nas vizinhanças da desembocadura deste último rio. Isto deve-se ao fato desta pesquisa estar focada apenas no aporte sedimentar do rio Jequitinhonha.

Foi utilizado para o dimensionamento desta área de influência o mapa da geologia da planície costeira elaborado por Dominguez (1983), atualizado por Nascimento (2007) (Fig. 3). Neste mapa foi identificado de acordo com Dominguez (1983), o sistema de cordões litorâneos associado à desembocadura atual do rio Jequitinhonha – Sistema III, com datações que demonstraram que este sistema foi construído nos últimos 2500 anos. A área de acúmulo desses sedimentos está apresentada na figura 18.

Para estimar o volume de sedimentos depositados na área, acima descrita, foi considerada a espessura do pacote de sedimentos arenosos. Três perfis de poços para água, perfurados pela Companhia de Engenharia Rural da Bahia – CERB (1975, 1981) foram utilizados para esta análise. A localização dos perfis pode ser observada na figura 18 e os perfis no anexo 1.

Ao analisar os três perfis disponíveis, observou-se uma variação de profundidade de 6, 7 e 9 metros, entre os limites de areia fina e média (considerado depósito de até 2500 anos AP.) e as camadas de argila e rocha calcífera (consideradas como um depósito mais antigo que 2500 anos AP.). Adotou-se, portanto a média de 7 metros de espessura para o cálculo do depósito holocênico em estudo.

## **4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **4.1 Localização e Clima**

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e a planície costeira associada a sua foz, onde se concentram os resultados principais desta pesquisa (Fig. 1).

A BHRJ abrange grande parte do nordeste do Estado de Minas Gerais e um pequeno setor do sudeste do Estado da Bahia, possuindo uma área de aproximadamente 73.600 km<sup>2</sup> sendo, 69.091 km<sup>2</sup> localizadas em Minas Gerais e 4.505 km<sup>2</sup> na Bahia. O rio Jequitinhonha nasce na Serra do Espinhaço, a sul da cidade de Diamantina, Estado de Minas Gerais, a uma altitude aproximada de 1.260 m e deságua no Oceano Atlântico, no município de Belmonte, sul do Estado da Bahia.

A planície costeira do rio Jequitinhonha abrange os baixos cursos dos rios Pardo e Jequitinhonha, apresentando uma área de aproximadamente 800 km<sup>2</sup>. Neste estudo, particularmente, a área da planície costeira, a que se referem os principais resultados, é delimitada ao sul pelo início dos cordões holocênicos e ao norte pela desembocadura do rio Pardo.

As características climáticas da BHRJ podem ser divididas em três áreas distintas (Fig 1):

(i) Na parte mais ocidental, correspondente ao Alto do Jequitinhonha, o qual representa 53% da área da bacia, o clima é quente-úmido, com chuvas concentradas nos meses de verão (novembro a janeiro) e atinge um índice pluviométrico da ordem de 1.060 mm, podendo ocorrer precipitação nula nos períodos de estiagem (junho a agosto). A temperatura média anual é de aproximadamente 21°C. A umidade relativa média na área é de 75% e a evapotranspiração é de 1450 mm. O índice de déficit hídrico anual varia entre 300 e 700 mm;

(ii) A parte central da bacia correspondente ao curso médio do rio Jequitinhonha, é uma área de transição climática e corresponde a 43% da área da bacia, na qual as massas de ar chegam com pouca umidade, resultando em baixos índices pluviométricos (média anual inferior a 1.000 mm). O clima predominante é semi-árido quente e seco. A temperatura média anual é de aproximadamente 24°C. A umidade relativa média é baixa, sendo da ordem de 70% e a evapotranspiração é de 1.650 mm, estando esta área sujeita a déficits hídricos mais rigorosos variando de 200 mm a 900 mm;

(iii) Na parte oriental, baixo curso do rio Jequitinhonha, o qual corresponde a 4% da área da bacia, o clima é tropical úmido, apresentando índices pluviométricos anuais variando de 1.000 mm a 1.600 mm, e

valor médio de 1176 mm, que decrescem à medida que se afasta do litoral para o interior, passando para um clima tropical menos chuvoso, embora nunca inferior a 1.000 mm anuais. O período mais chuvoso ocorre de dezembro a março, a umidade relativa é de 80% e a evapotranspiração anual é de 1.400 mm, com uma variação de 0 a 200 mm de déficit hídrico (Geotécnica 1994).

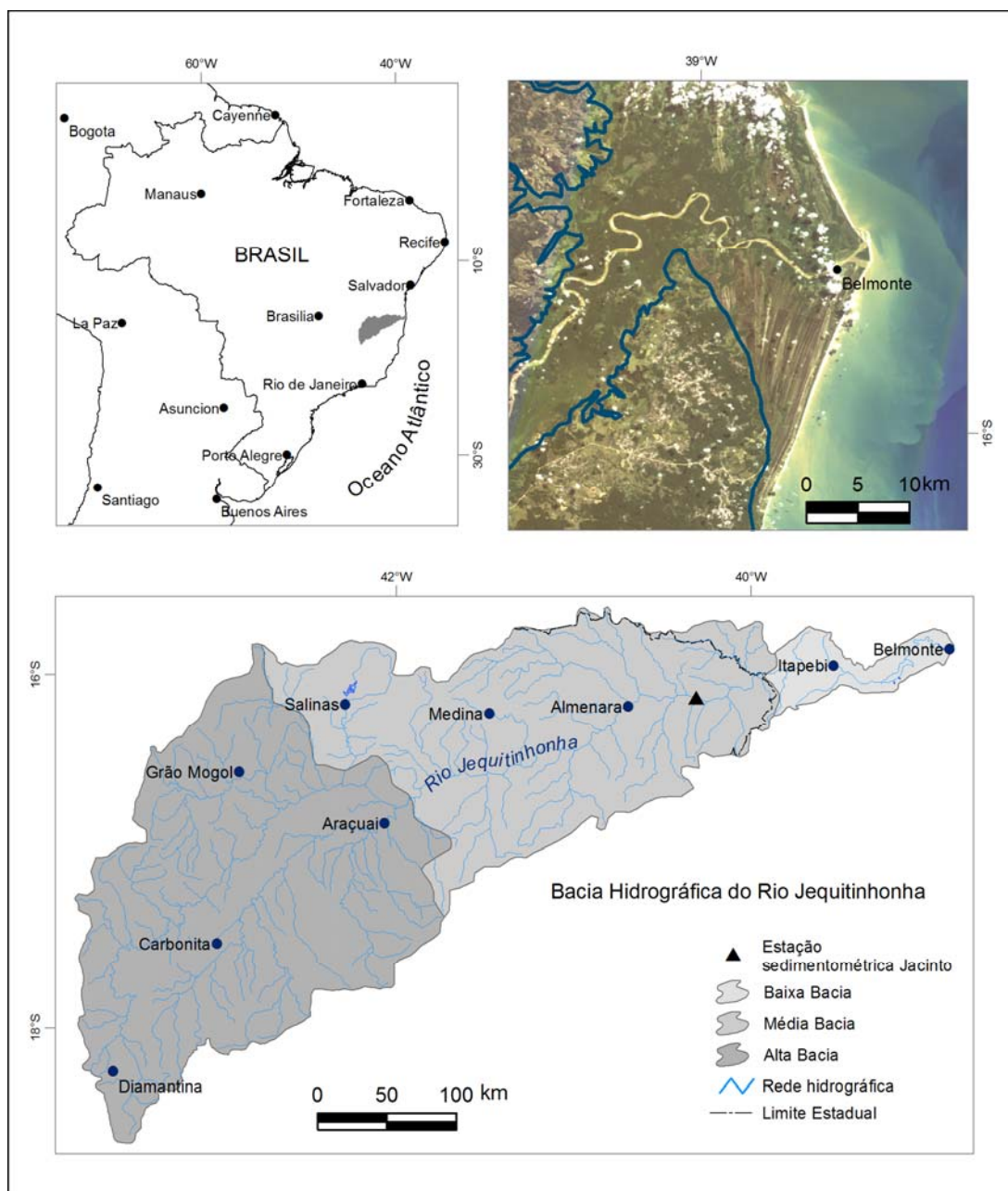


Figura 1 – Localização da área de estudo.

## 4.2 Geologia e Geomorfologia

A geologia da BHRJ é constituída principalmente de rochas do Arqueano e do Proterozóico médio e superior, sobre as quais se assentam sedimentos da cobertura do Terciário-Quaternário, aluviões e sedimentos costeiros recentes. No mapa geológico simplificado (Fig. 2) as unidades geológicas estão divididas em Pré-Cambriano, Paleozóico, Terciário e Quaternário. As principais unidades de relevo são: serra do Espinhaço, planalto do rio Jequitinhonha, depressão do Jequitinhonha, planaltos dissecados do leste de Minas Gerais, mares de morros e tabuleiros costeiros, e a planície litorânea (Geotécnica 1994).

A planície costeira é caracterizada por extensos terraços marinhos que apresentam, na superfície, uma série de cordões litorâneos. Ao norte do rio Jequitinhonha a planície costeira apresenta diversas formas de acumulação sedimentar, como pântanos ou terras úmidas, mangues, terraços marinhos e uma porção expressiva ocupada por terraços fluviais onde predominam depósitos de canal e de diques marginais. A linha de costa é constituída por uma sucessão de ilhas arenosas, destacadas da planície costeira por canais de maré, que abrigam manguezais em sua porção interna, exibindo em uma ou ambas extremidades feições do tipo esporão (Dominguez 1983). Ainda segundo o mesmo autor, os depósitos sedimentares quaternários encontrados na planície costeira do rio Jequitinhonha são (Fig. 3):

(i) Terraços Marinhos individualizados em pleistocênicos e holocênicos, os quais definem a configuração e a forma cuspidada da planície. Os depósitos pleistocênicos se depositaram na fase terminal da Penúltima Transgressão e na regressão subsequente. Os depósitos holocênicos se depositaram na fase terminal da Última Transgressão e na regressão subsequente. A sul da desembocadura do rio Jequitinhonha é possível observar nitidamente estes depósitos os quais se caracterizam por uma sucessão de cristas arenosas, os chamados cordões litorâneos.

(ii) Depósitos Fluviais constituídos basicamente por sedimentos de dique marginal, de barra de meandro e de canal abandonado. Além dos terraços fluviais associados ao canal atual do rio Jequitinhonha são observados testemunhos de antigos terraços relacionados a possíveis leitos ocupados anteriormente por este rio.

(iii) Depósitos de Terras Úmidas ou Sedimentos Lagunares são encontrados nas zonas baixas que separam os terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos preenchidas por sedimentos lamosos. Estes sedimentos foram depositados em antigas lagunas que se formaram na região por volta da Última Transgressão.

(iv) Pântanos ou Terras Úmidas são ambientes que substituíram as lagunas que secaram no evento regressivo que se seguiu á Última Transgressão. Atualmente nestes pântanos predomina a acumulação de turfas. Terras Úmidas ocorrem também nas zonas baixas alagadiças intercordões, no fundo dos vales



colmatados escavados na Formação Barreiras, e nas regiões adjacentes aos terraços fluviais resultando em depósitos de várzea.

(v) Mangues ocorrem predominantemente ao norte da desembocadura do rio Jequitinhonha, nas desembocaduras abandonadas pelos rios e seus distributários, ou nas regiões protegidas pela presença de ilhas arenosas.

(vi) Ilhas Arenosas caracterizam a metade norte da planície costeira e são destacadas do continente por canais de maré. A migração das feições do tipo esporão presentes em suas extremidades foi o mecanismo principal do seu desenvolvimento.

(vii) Formação Barreiras é constituída por uma seqüência de sedimentos terrígenos, inconsolidados, de cores variegadas, com texturas variando entre argilas, areias e cascalhos.

#### **4.2.1 Recursos Minerais**

A BHRJ oferece condições para a ocorrência de variados minerais de interesse econômico incluindo-se diamantes, pedras semipreciosas e minerais de pegmatito, ferro, grafita, calcário, mármore, cianita e sodalita. O diamante ocorre como plácer nos aluviões do rio Jequitinhonha e também em rochas quartzíticas do Super-Grupo Espinhaço, existindo várias minas e garimpos na região do alto curso, que produzem também ouro como subproduto (Geotécnica 1994).

#### **4.3 Evolução Paleogeográfica da Planície Costeira**

A evolução paleogeográfica da planície costeira do rio Jequitinhonha durante o Quaternário, inclui nove estágios principais, caracterizados por eventos de transgressão e regressão marinha associados às oscilações do nível relativo do mar (Dominguez 1983). Segundo Dominguez *et al.* (2004) a planície costeira do rio Jequitinhonha é resultado de uma complexa interação entre a história das variações do nível relativo do mar durante o Quaternário, mudanças climáticas, e sedimentos trazidos pelo rio Jequitinhonha e pela deriva litorânea.

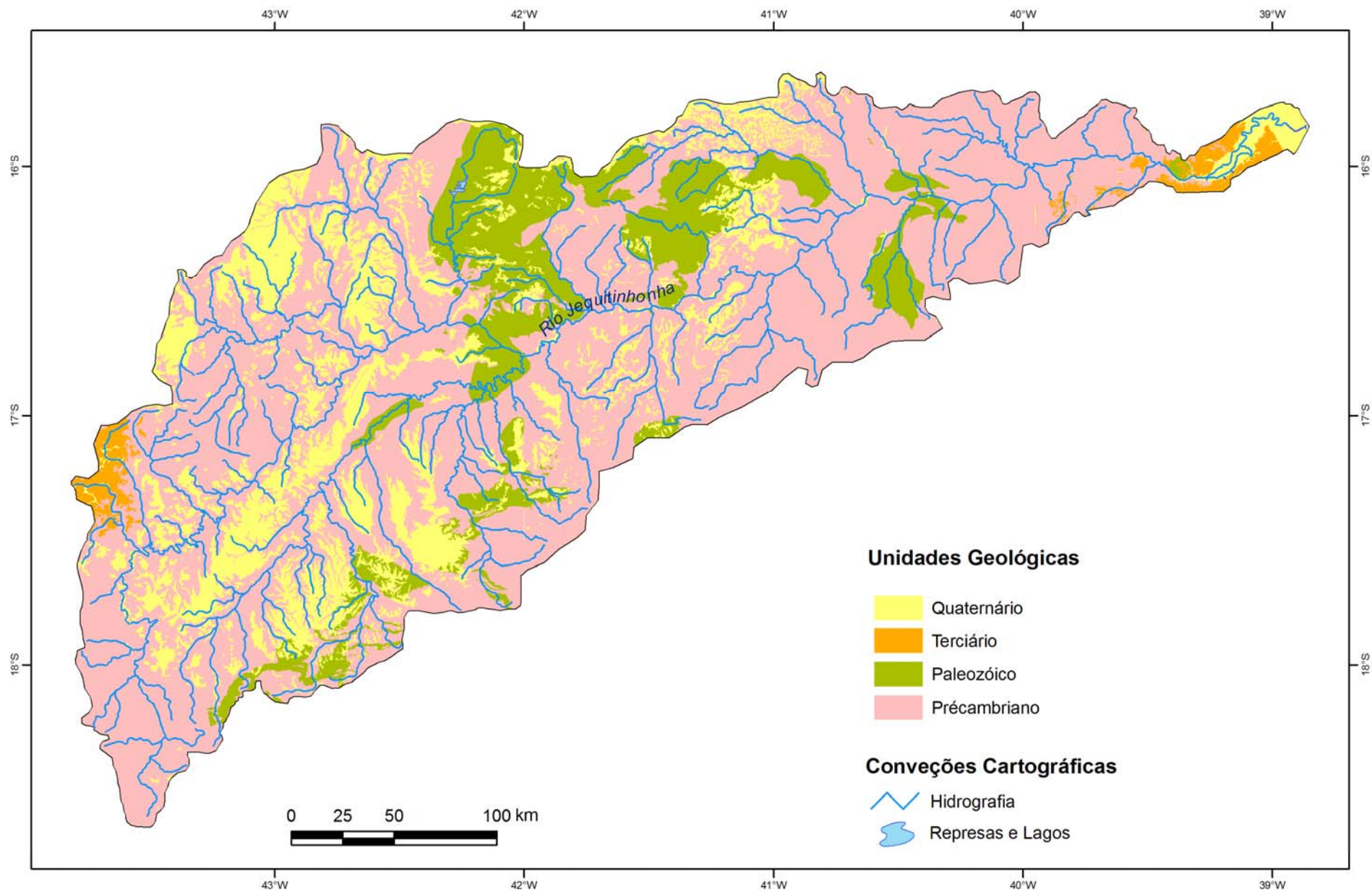


Figura 2 - Mapa geológico simplificado da BHRJ, modificado da CPRM (2004).

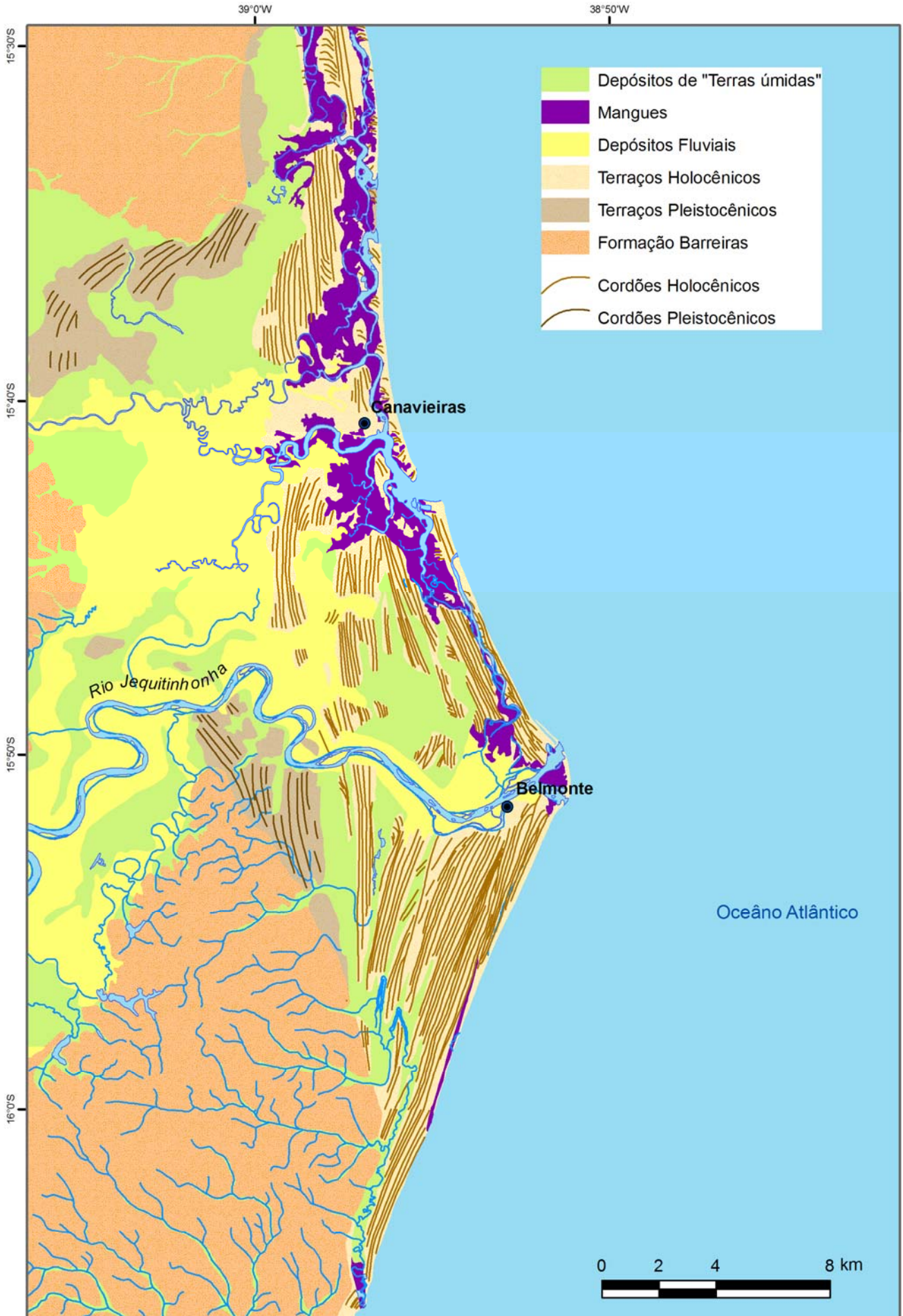


Figura 3: Mapa geológico-geomorfológico da Planície Costeira do rio Jequitinhonha, segundo Dominguez (1983) e atualizado por Nascimento (2007).

#### 4.4 Solos

A descrição das classes de solos presentes na BHRJ foi conceituada através das definições propostas pela EMBRAPA (1997). O mapa dos solos presentes na BHRJ é apresentado na figura 4.

##### a) Argissolos

Tratam-se de solos constituídos por material mineral, que tem como característica diferencial, a presença de argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial. Possuem profundidades variadas, coloração normalmente avermelhadas ou amareladas, sendo forte a imperfeitamente drenados.

##### b) Cambissolos

Compreende solos constituídos por material mineral, sendo fortemente a imperfeitamente drenados, com horizonte B incipiente ou câmbico. Apresenta profundidade mediana, são moderadamente desenvolvidos, com granulometria variando de média a fina e coloração variando do bruno amarelado escuro ao bruno escuro.

##### c) Chernossolos

São solos constituídos por material mineral caracterizados por uma alta saturação por bases, argila de atividade alta e horizonte A chernozêmico sobrejacente a um horizonte B textural, ou B incipiente, ou horizonte C cálcico, ou material carbonático. São solos normalmente pouco coloridos, bem a imperfeitamente drenados.

##### d) Gleissolos

Solos constituídos por material mineral, hidromórfico, com horizonte glei ou caráter sálico, imediatamente abaixo do horizonte A, apresentando normalmente cores acinzentadas, azuladas e esverdeadas. Em condições naturais estes solos são mal ou muito mal drenados.

##### e) Latossolos

Compreendem solos minerais não hidromórficos com horizonte B latossólico imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial. São constituídos de quartzo, óxidos de ferro e alumínio, argila de baixa mobilidade e minerais resistentes ao intemperismo. Variam de fortemente a bem drenados, altamente intemperizados, profundos e evoluídos.

##### f) Neossolos

São solos constituídos por material mineral ou por matéria orgânica. São rasos e pouco evoluídos. Não possuem o horizonte B. Nesta classe estão incluídos os Litossolos, Solos Litólicos Regossolos, Solos Aluviais e Areias Quartzosas.



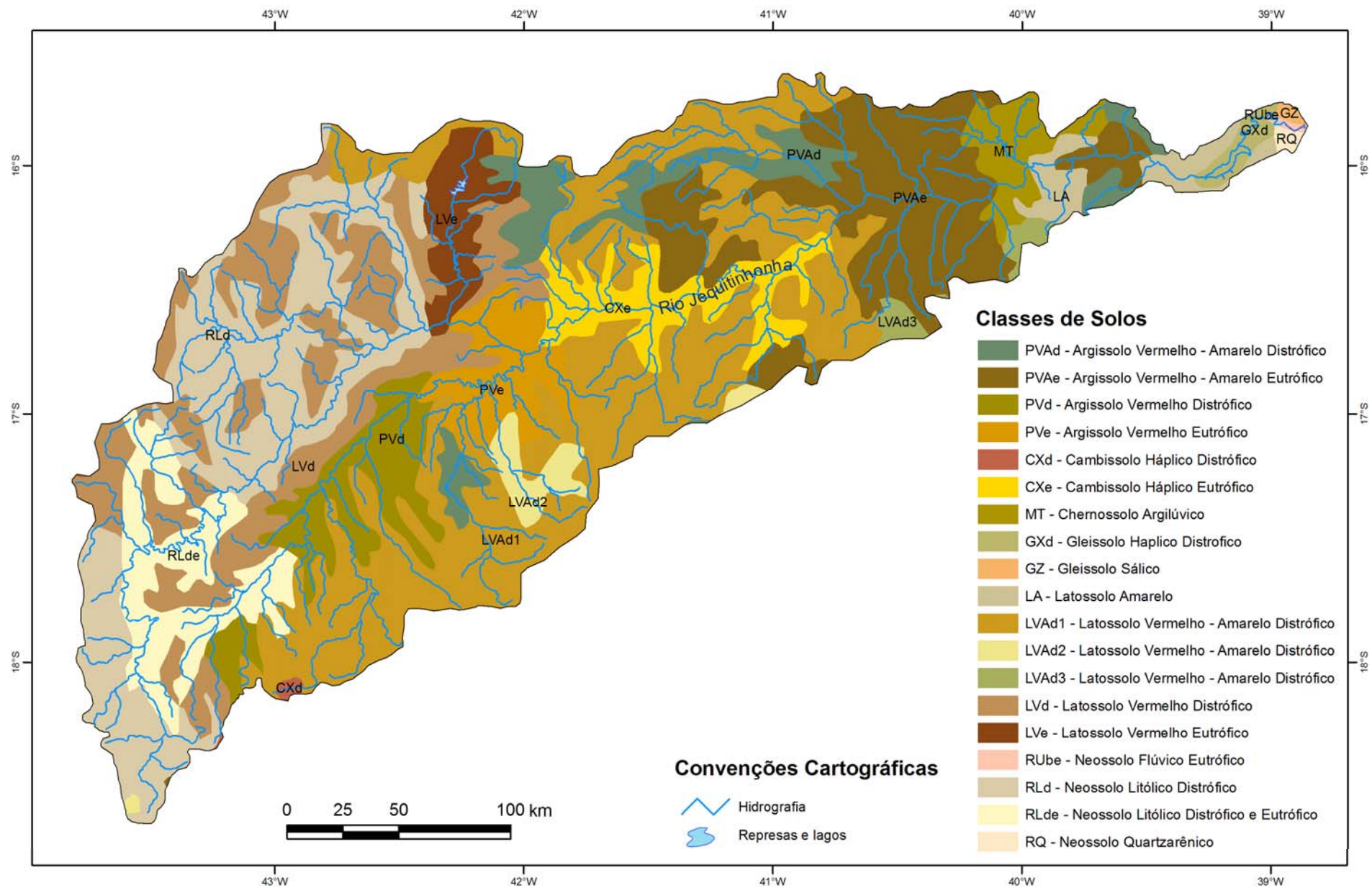


Figura 4 - Mapa de Solos da BHRJ, modificado da EMBRAPA (1981) e adaptado para a nova classificação brasileira de solos.

#### 4.5 Ocupação Histórica e Impactos Ambientais

A ocupação do vale do rio Jequitinhonha teve início no século XVI com as primeiras expedições promovidas pelo movimento de Entradas e Bandeiras. A expansão da atividade de mineração nos séculos seguintes promoveu o crescimento populacional da região, desenvolvendo a pecuária e a agricultura baseada no trabalho escravo para o abastecimento das cidades mineradoras (ANA 2006). Neste processo, o rio e seus afluentes funcionavam como eixo de ocupação, reserva de minerais preciosos, canais de circulação mercantil e base hídrica para as atividades agropastoris. Atualmente, a navegação na região do vale encontra-se quase extinta devido ao rebaixamento das águas e assoreamento dos canais (Santos 2004).

Os principais fatores de degradação dos recursos hídricos na BHRJ são os processos erosivos dos solos devido às queimadas de remanescentes florestais, a ocupação desordenada das margens dos rios, o lançamento de efluentes e resíduos de atividades agropecuárias (agrotóxicos), descarga de grandes cargas poluidoras de efluentes domésticos e industriais, sem tratamento, lançamento de lixo e de chorume, contaminação por efluentes sólidos em algumas cidades (material de construção, sobras de minério, etc.), presença de barragens e represas, ocorrência de retificação, canalização e dragagem dos cursos de água, adição de sedimentos elevando a turbidez e causando o assoreamento da calha, e atividades de mineração (Santos 2004, ANA 2006).

Os impactos ocasionados pelas atividades de mineração na BHRJ podem ser verificados em vários trechos ao longo do curso do rio como é ilustrado na figura 5. Segundo Santos (2004) pode ser observado na BHRJ, como resultado da atividade de mineração, o desvio do leito original do rio, a poluição, o assoreamento, o desmatamento e o extermínio da ictiofauna. A extração mineral concentrada no alto curso do rio resulta em processo de erosão que têm reflexos em todo vale, sendo que na foz o problema de assoreamento é particularmente grave (IBGE 1997).

Segundo o relatório da Agência Nacional de Águas – ANA (2006), a atividade de mineração é responsável pelas maiores fontes de poluição das calhas dos rios, transformando-os em rios caudalosos, extremamente rasos e assoreados, onde as temperaturas subaquáticas médias anuais se elevaram nos últimos anos, estando assim em confronto direto com a legislação ambiental.



Figura 5 – Foto de atividade de dragagem no médio curso do rio Jequitinhonha (Chaves & Chambel 2004).

#### 4.6 Vegetação e Uso da Terra

A BHRJ está inserida em uma área de convergência de três domínios morfoclimáticos: a Mata Atlântica, o Cerrado e a Caatinga (ANA 2006), classificados em nove domínios fitoecológicos segundo IBGE (1997). São eles: a Floresta Ombrófila, Floresta Estacional, Cerrado, Caatinga, Formações Pioneiras, Áreas de Contato entre Floresta Estacional – Cerrado, Floresta Estacional – Caatinga, Cerrado – Floresta Estacional e Cerrado – Refúgio Fitoecológico (Fig. 6).

Segundo mapeamento realizado por Sokolonski *et al.* (1999), numa escala de 1:500.000 para toda a BHRJ, o uso da terra foi classificado em cinco classes dominantes. São elas: agricultura, pecuária, agropecuária, extrativismo e reflorestamento. Segundo os autores, as alterações mais significativas quanto à utilização das terras nos últimos anos estão diretamente relacionadas à pecuária e ao reflorestamento (Fig. 7).

Segundo o diagnóstico ambiental realizado pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1997), a agropecuária detém um papel importante na economia da região, sobretudo na média e baixa bacia, onde são verificados intensos desmatamentos e queimadas para implantação de pastagens, o que resulta em destruição da vegetação original da Mata Atlântica.



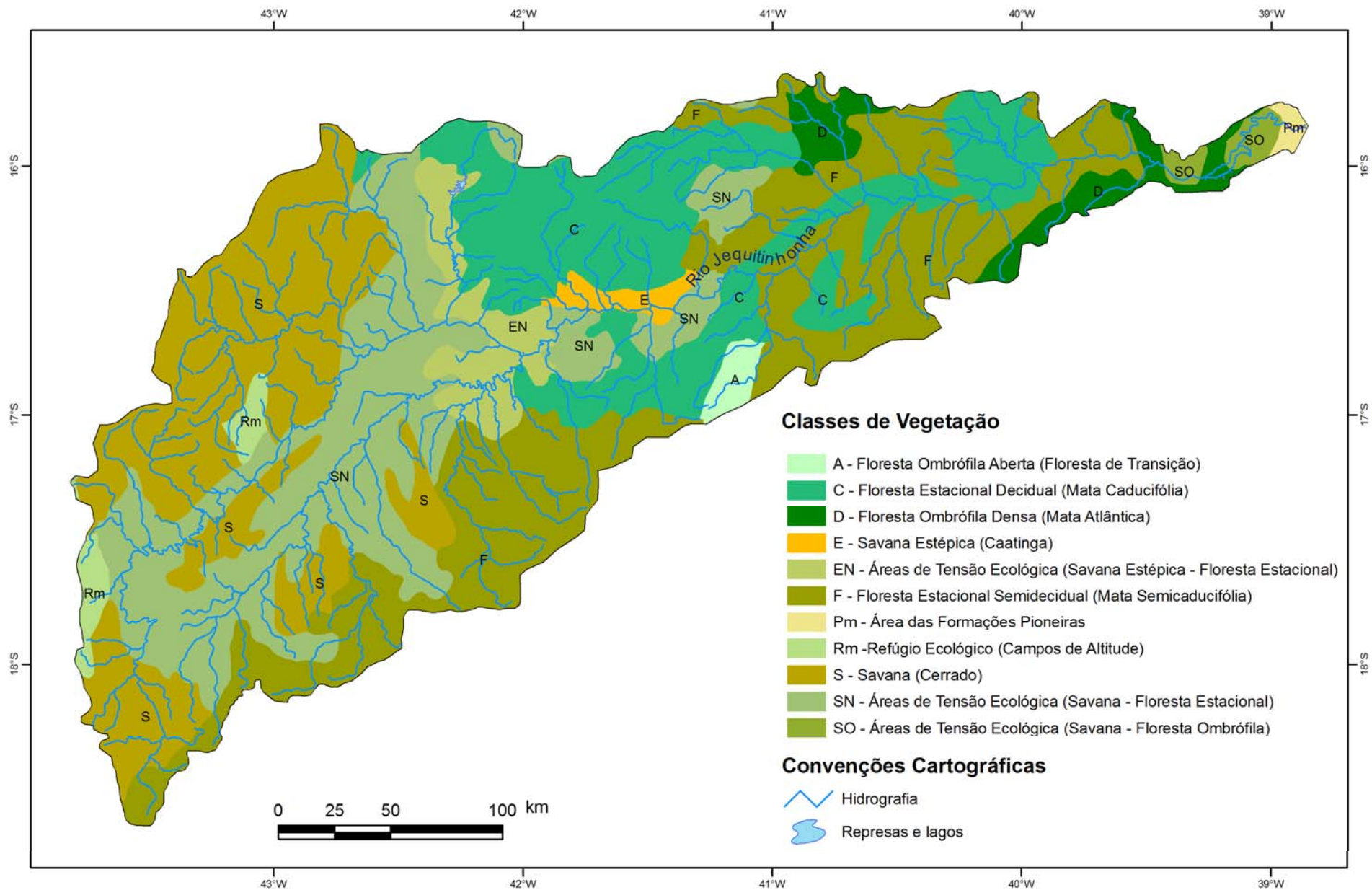


Figura 6 - Mapa da vegetação original da BHRJ, modificado do IBGE (1988).



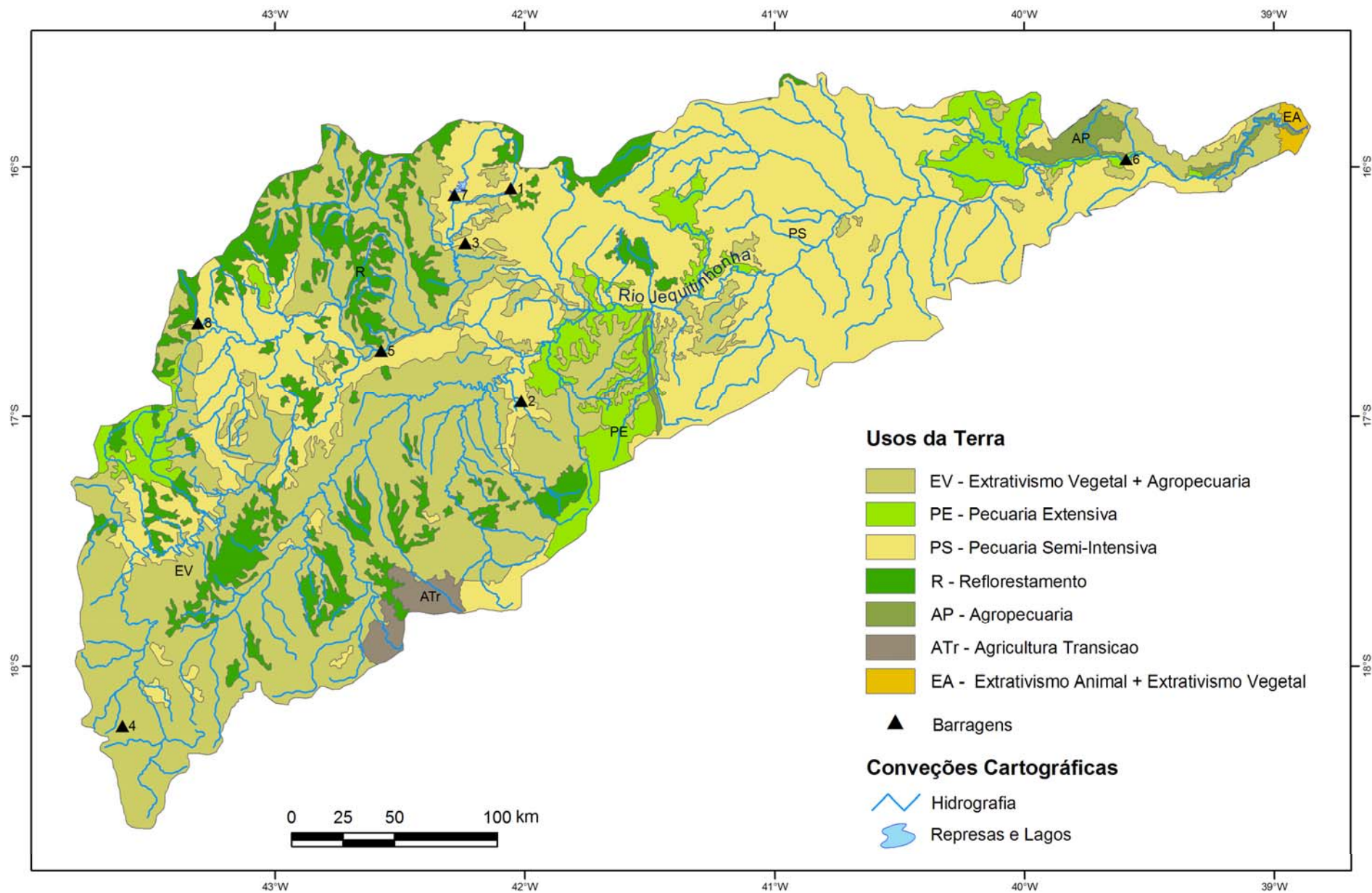


Figura 7 - Mapa de Uso da Terra da BHRJ, digitalizado a partir do mapa impresso original, modificado de Sokolonski et al. (1999). Barramentos: (1) Bananal; (2) Calhauzinho; (3) Caraibas; (4) Diamantina-1; (5) Irapé; (6) Itapebi; (7) Salinas e (8) Santa Marta.

Os reflorestamentos ocupam grandes extensões dos topos planos das chapadas na alta e média bacia, a vegetação de Cerrado é extensivamente retirada para a implantação dos reflorestamentos (IBGE 1997), em geral, feita sem os cuidados conservacionistas necessários (ANA 2006). Segundo Santos (2004), o reflorestamento feito com plantio de eucalipto na região do vale do Jequitinhonha, tem o objetivo de gerar matéria prima para as carvoarias. Já no baixo curso do rio Jequitinhonha, segundo Nascimento (2007), o reflorestamento é feito com eucaliptos com a finalidade de produção de celulose ocupando os Tabuleiros Costeiros, a partir da década de 1990.

Inúmeros barramentos são utilizados na BHRJ para irrigação agrícola, perenização das águas e geração de energia elétrica (Fig. 7). Devido a ausência de um comitê de gestão para toda a BHRJ, a integração e a sistematização das informações ficam seriamente prejudicadas, resultando em dados dispersos e desorganizados. As informações referentes aos barramentos existentes na bacia em estudo foram pesquisadas em diversas fontes. São elas: (i) barragens do Calhauzinho, Bananal, Caraíbas e Salinas, em operação a partir da década de 1990 com a finalidade de perenização do rio e irrigação (CBDB 2009 e Transportes 2009); (ii) usinas hidrelétricas de Santa Marta (1,5MW) e Diamantina-1 (3,7MW), com a finalidade de geração de energia de pequeno porte, (Geotécnica 1994) e (iii) usinas hidrelétricas de Irapé (360MW) e Itapebi (450MW), com a finalidade de geração de energia de grande porte (CEMIG 2009 e Grupo Neoenergia 2009).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Cálculo e Espacialização dos Fatores da EUPS

#### 5.1.1 Fator R – Erosividade das Chuvas

O fator erosividade da chuva (R) expressa a capacidade da chuva, esperada em uma dada localidade, para causar erosão em uma área sem proteção (Bertoni & Lombardi Neto 1999). A relação entre a perda de solo e as características da chuva é segundo os estudos de Wischmeier & Smith (1978), diretamente proporcional, quando os outros fatores que determinam a perda de solo são mantidos constantes. Essa correlação é expressa a partir do produto da energia cinética da chuva por sua máxima intensidade em trinta minutos.

Para suprir a escassez e a ausência de dados de intensidade da chuva (EI), para as estações de medições pluviométricas da bacia em estudo, foi utilizada a equação proposta por Lombardi Neto & Moldenhauer (1992) para o cálculo do fator R.

$$EI = 68,730 (p^2/P)^{0,841} \quad \text{onde:}$$

EI = média mensal do índice de erosão em megajoule x milímetro de chuva por unidade de área (hectare) por hora de chuva (MJ.mm/ha.h.ano);

p = precipitação média mensal (mm);

P = precipitação média anual (mm).

O fator R é a soma dos valores mensais dos índices de erosão. Utilizando séries históricas de registros de chuva para 20 anos ou mais, esta equação estima com relativa precisão os valores médios de EI de um local (Bertoni & Lombardi Neto 1999).

Os dados de precipitação foram obtidos através do site Hidroweb (2006, 2008) disponibilizado pela ANA. Posteriormente, foram realizadas as análises dos dados de precipitação em todas as estações pluviométricas existentes na área da bacia, sendo selecionadas 31 estações que preencheram uma série histórica de medições diárias de chuva para 30 anos.

Para o preenchimento de falhas nos registros pluviométricos das estações foram utilizados os registros das estações mais próximas das que apresentaram falhas, visando a homogeneização do período de informações (tabela 2).



O cálculo da erosividade da chuva (Fator R), na BHRJ mostrou que o menor valor deste fator foi encontrado na porção média da bacia, (estação Jacinto – 4.356,0 MJ.mm/ha.h.ano) e o maior valor na porção alta da bacia (estação Medanha-Montante – 7415,2 MJ.mm/ha.h.ano). A precipitação média anual e os valores do fator R para a série histórica de 30 anos de dados pluviométricos nas estações analisadas são apresentados na tabela 3.

Das trinta e uma estações aqui analisadas, vinte e três delas, ou seja, 74%, apresentaram valores entre 4.929 MJ.mm/ha.h.ano e 7.216 MJ.mm/ha.h.ano, sendo considerados, segundo as classes de interpretação para o fator R (Carvalho 1994), como de erosividade moderada a forte. Nas oito estações restantes, seis destas, ou seja 19%, apresentaram valores de erosividade moderada, enquanto que duas estações (6%) apresentaram valores de erosividade forte (Fig. 8).

Tabela 3 – Precipitações médias anuais e valores do fator R para a série histórica de 30 anos de dados pluviométricos.

Ordem	Código	Nome da estação	Precipitação média anual (mm)	R = índice de erosividade anual (MJ.mm/ha.h.ano)
1	1538001	BELMONTE	1612,3	6610,4
2	1538002	BELMONTE_EXP	1612,3	6610,4
3	1539006	ITAPEBI	1211,9	5177,4
4	1539014	FAZENDA NANCY	1145,7	4929,2
5	1541002	DIVISA ALEGRE	832,1	4950,6
6	1541003	DIVISOPOLIS	889,4	4563,5
7	1541010	ITAMARATI	761,8	4784,0
8	1543010	RIACHO DOS MACHADOS	897,5	5800,8
9	1640000	JACINTO	788,9	4356,0
10	1640001	FAZENDA CAJUEIRO	993,4	5195,0
11	1641001	ITAOBIM	699,3	4458,3
12	1641002	JEQUITINHONHA	943,4	5153,4
13	1641007	SAO JOAO GRANDE	708,3	4448,6
14	1641010	ITINGA	707,9	4597,1
15	1641011	MEDINA	849,7	5090,0
16	1642002	CORONEL MURTA	783,1	5008,5
17	1642007	PORTO MANDACARU	826	5335,2
18	1642009	SALINAS	854,5	5745,2
19	1642013	PEGA	832,9	5432,7
20	1642014	GRAO MOGOL	1062,8	6560,9
21	1643007	JURAMENTO	1104,9	7045,1
22	1643017	USINA SANTA MARTA	1006,7	6417,8
23	1741013	PADRE PARAISO	986,3	5454,9
24	1742008	CARBONITA	1002,7	6218,1
25	1742014	CAPELINHA	1117,1	6673,8
26	1742017	MALACACHETA	1176,7	6452,0
27	1743000	BOCAIUVA	1016,3	6482,9
28	1743002	VILA TERRA BRANCA-JUSANTE	1072,6	6624,9
29	1843002	GOUVEIA	1261,7	7216,1
30	1843003	MENDANHA-MONTANTE	1246,7	7415,2
31	1843011	SERRO	1300,2	7391,1

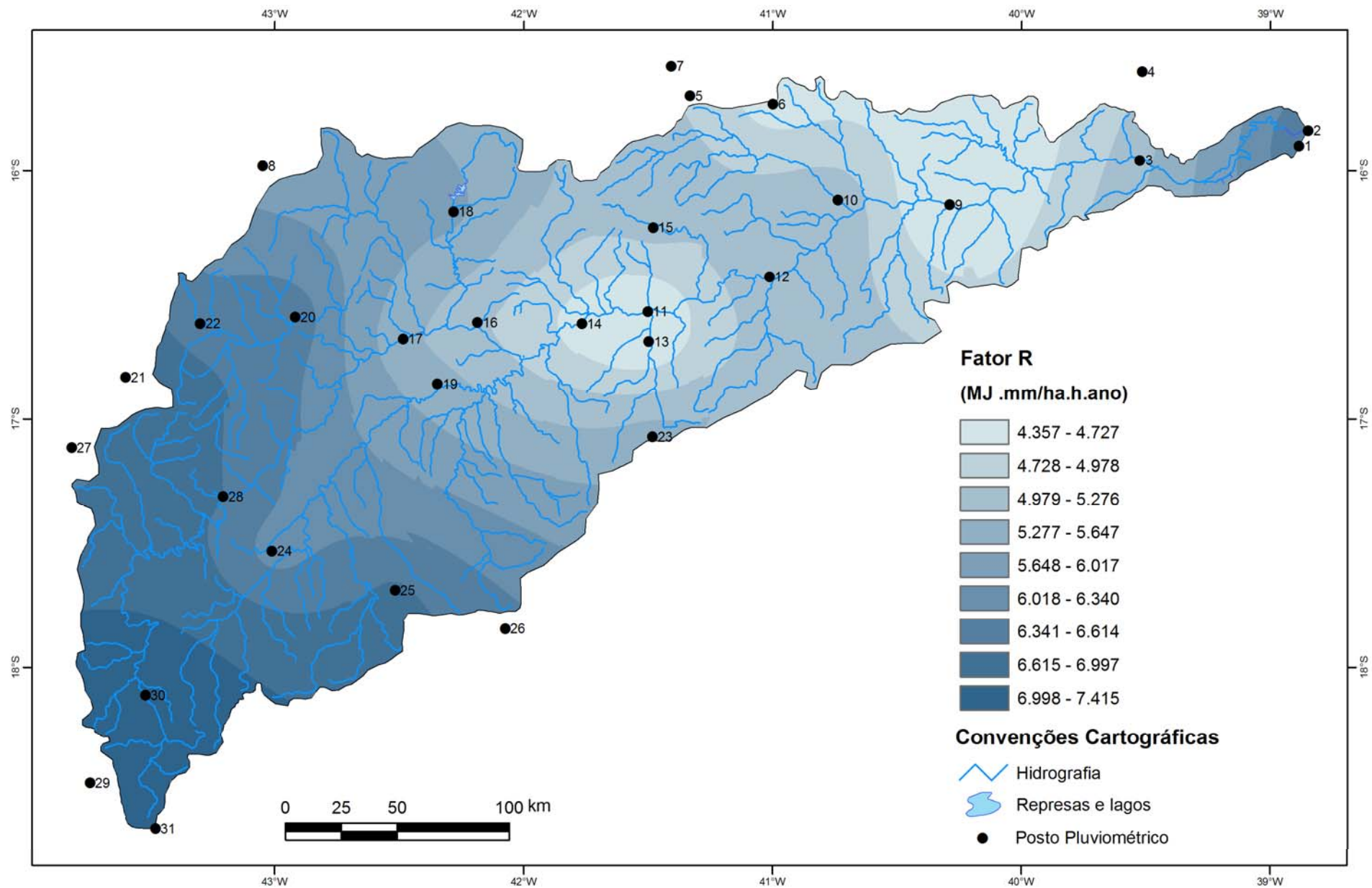


Figura 8 - Mapa do Fator R - Erosividade da Chuva na BHRJ.

### 5.1.2 Fator K - Erodibilidade do Solo

O fator erodibilidade do solo (K) expressa a relação entre a intensidade da erosão por unidade de índice de erosão causada pela chuva, para uma classe de solo específica, que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais. O fator erodibilidade do solo pode ser entendido como a susceptibilidade de um solo aos processos erosivos (Bertoni & Lombardi Neto 1999).

As diferentes propriedades físicas e químicas inerentes a cada tipo de solo determinarão os valores de erodibilidade causada pela água (Bertoni & Lombardi Neto 1999). Estas propriedades são: granulometria, textura, permeabilidade, conteúdo de matéria orgânica e outras propriedades biológicas do solo que exercem diferentes influências na resistência do solo (Silva *et al.* 2007).

Para o cálculo do fator erodibilidade do solo foi adotada a equação proposta por Denardin (1990), que utiliza dados sobre as propriedades físicas e químicas de cada classe de solo identificada na área da bacia. Para determinar as propriedades de cada classe solo foram utilizadas as informações pedológicas do Projeto RADAMBRASIL para as folhas SD 24 Salvador, SD 23 Brasília e SD 24 Rio Doce (Brasil 1981, Brasil 1982, IBGE 1987).

Equação proposta por Denardin:

$$K = 0,00608397 (a) + 0,00834286 (b) - 0,00116162 (c) - 0,00037756 (d), \text{ onde:}$$

K = valor estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em toneladas x hora de chuva x unidade de área (hectare) por megajoule x milímetro de chuva x unidade de área (hectare) (t.ha.h/ha.MJ.mm);

(a) = permeabilidade do perfil de solo codificada conforme Denardin (1990);

(b) = teor de matéria orgânica (teor de carbono orgânico total multiplicado por 1,72), expresso em percentagem;

(c) = teor de óxido de alumínio extraível por ácido sulfúrico, expresso em percentagem;

(d) = teor de partículas com diâmetro entre 2,0 e 0,5 mm (sendo utilizada nesta pesquisa partículas entre 2,0 e 0,2 mm), expresso em percentagem.

Os valores do fator K já calculados foram posteriormente atribuídos aos polígonos representativos à cada classe de solos em um ambiente de SIG, sendo então, o mapa de solos transformado em uma superfície *raster* com a utilização da extensão *Spatial Analyst*.

Os valores de erodibilidade do solo (Fator K), calculados para cada classe de solos da BHRJ variaram de 0,0034 t.ha.h/ha.MJ.mm a 0,0561 t.ha.h/ha.MJ.mm (Fig. 9, Tab. 4). Destaca-se que a classe Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico foi subdividida em três subclasses (LVAd1, LVAd2 e LVAd3), por apresentarem valores distintos em algumas de suas propriedades físicas e químicas, resultando em valores diferenciados de erodibilidade.

O tipo de solo de maior ocorrência na área de estudo é o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico 1 – LVAd1, ocupando 25,73% da área da bacia hidrográfica, apresentando um baixo valor de erodibilidade (0,0061 MJ.mm/ha.h.ano). Os maiores valores de erodibilidade são encontrados na porção baixa da bacia, representados pelos solos: Gleissolo Háplico Distrófico - GXd, Gleissolo Sálico - GZ , Neossolo Quartzarênico - RQ, Neossolo Flúvico Tb Eutrófico - Rube e Chernossolo Argilúvico - MT, ocupando uma área de apenas e 3,28% da bacia hidrográfica.

Os valores mais significativos em termos de área e de erodibilidade do solo foram encontrados na porção média da bacia hidrográfica representados pelos solos: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico 2, Argissolo Vermelho Distrófico, Argissolo Vermelho Eutrófico e Cambissolo Háplico Eutrófico, ocupando uma área de 14,52% da bacia hidrográfica.

Tabela 4 – Valores da erodibilidade dos solos (K - MJ.mm/ha.h.ano ) e propriedades de cada classe de solo utilizada na equação adotada.

Classe de Solos	Código Perm.	Matéria Orgânica (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Areia Grossa 0,20 - 2,0 mm (%)	Fator K	
MT	Chernossolo Argilúvico	2	3,04	8,13	20,30	0,0205
CXd	Cambissolo Háplico Distrófico	1	3,46	19,23	15,00	0,0069
CXe	Cambissolo Háplico Eutrófico	4	2,06	10,10	45,00	0,0128
GXd	Gleissolo Háplico Distrófico	3	6,69	7,14	25,60	0,0561
LA	Latossolo Amarelo	3	2,99	21,30	32,10	0,0064
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico	2	2,49	22,86	5,20	0,0045
LVe	Latossolo Vermelho Eutrófico	2	2,49	22,86	5,20	0,0044
LVAd1	Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico	3	2,24	19,69	21,00	0,0061
LVAd2	Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico	3	6,26	25,80	25,00	0,0311
LVAd3	Latossolo Vermelho - Amarelo Distrófico	3	2,36	18,15	24,50	0,0076
PVd	Argissolo Vermelho Distrófico	4	1,57	11,90	21,00	0,0156
PVe	Argissolo Vermelho Eutrófico	4	1,57	12,00	21,00	0,0155
PVAd	Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico	3	1,22	8,30	40,25	0,0036
PVAe	Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico	3	1,00	13,35	9,50	0,0075
RLd	Neossolo Litólico Distrófico	1	2,00	15,95	2,00	0,0034
RLde	Neossolo Litólico Distrófico e Eutrófico	2	1,00	4,50	27,00	0,0051
GZ	Gleissolo Sálico	5	5,93	3,14	56,40	0,0550
RQ	Neossolo Quartzarênico	5	3,61	4,81	34,50	0,0419
Rube	Neossolo Flúvico Tb Eutrófico	4	2,37	6,03	45,80	0,0198



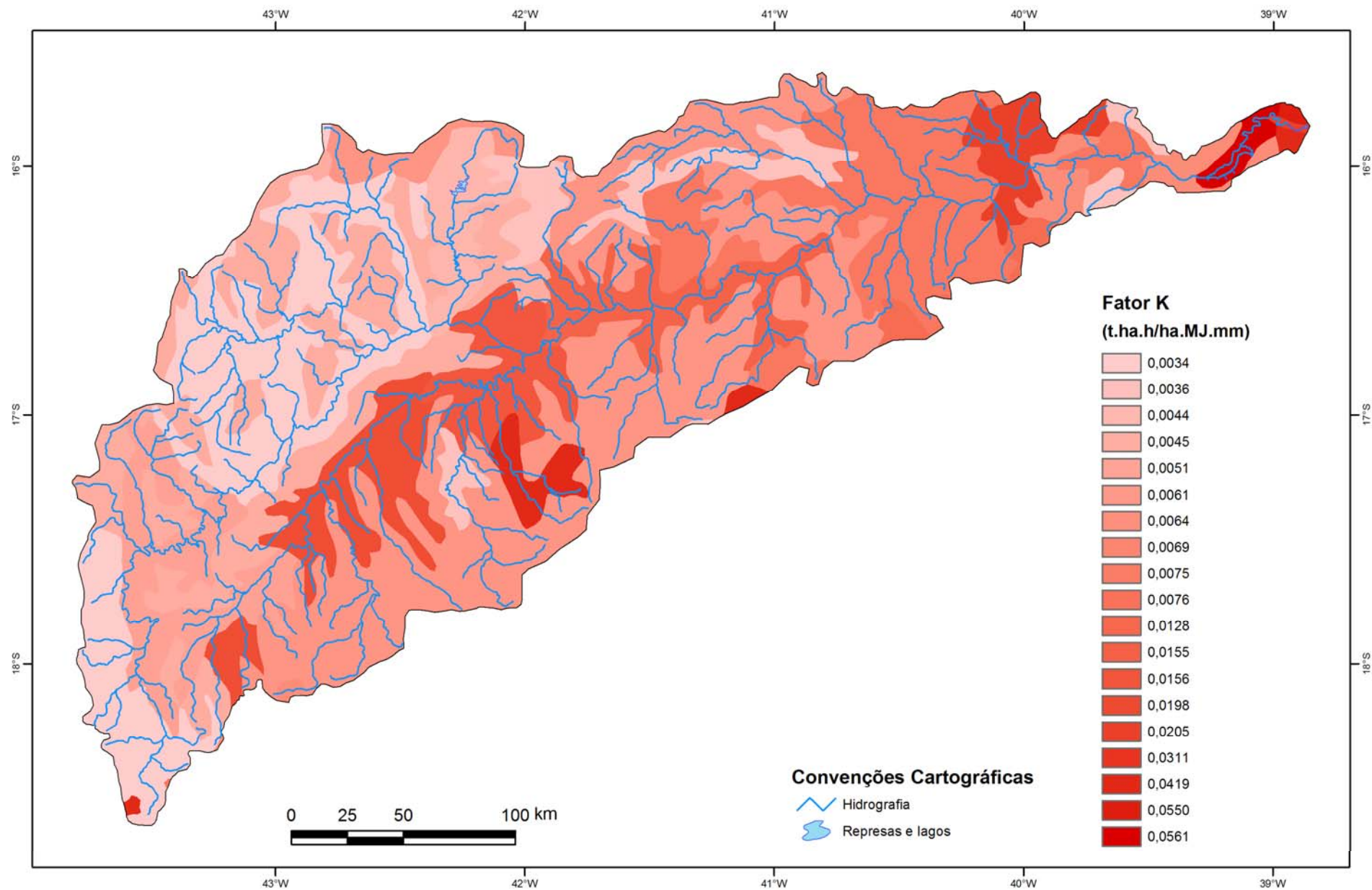


Figura 9 - Mapa do Fator K - Erodibilidade dos Solos da BHRJ.

### 5.1.3 Fator L e S – Comprimento e Declividade da Vertente

A intensidade de erosão pela água é grandemente afetada, tanto pelo comprimento do declive como pelo seu gradiente. Esses dois efeitos são avaliados separadamente e são representados pelo fator L e S na equação de perda de solo. Para a aplicação prática da equação, os fatores L e S são considerados conjuntamente como um fator topográfico (Wischmeier & Smith 1978, Bertoni & Lombardi Neto 1999). Ainda segundo Bertoni & Lombardi Neto (1999) a quantidade de material em suspensão arrastado pela água, depende da velocidade com que ela escorre que por sua vez, é condicionada pelo comprimento e declive da vertente.

L = fator comprimento do declive em metros

S = grau do declive em porcentagem

O comprimento e a declividade da vertente (Fator LS) foram calculados conjuntamente através da extensão *Topocrop* elaborada por Schmidt (2002), fundamentada no trabalho de Moore & Wilson (1992). A extensão utiliza como único dado de entrada o MNT (USGS 2007) (Fig. 10) e foi executada com o programa *ArcView 3.2®*, gerando também um mapa em formato *raster*. Os valores de LS obtidos variaram de 0 a 133,48 (valor adimensional) (Fig. 11).

### 5.1.4 Fator C e P – Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas

O fator uso e manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno com certo tipo de cobertura ou cultivo e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto. O fator de práticas conservacionistas (P) é a relação entre a intensidade esperada de perdas de solo de um terreno que foi cultivado adotando-se determinada prática conservacionista e as perdas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) (Bertoni & Lombardi Neto 1999).

Para o cálculo dos fatores C e P, referentes ao uso da terra atual, foi utilizada a metodologia proposta por Stein *et al* (1987), a qual propõem categorias de ocupação e valores correspondentes de CP, para diversos tipos de cultivos e porte de vegetação. Estes valores de CP propostos por Stein *et al.* (1987) foram atribuídos às classes de uso da terra (Fig. 7) mais recentes encontrados para a BHRJ.

A simulação do cenário de cobertura vegetal original, sem intervenção humana, foi elaborado a partir do mapa de vegetação do IBGE (2004), identificando para a área da bacia, onze classes de vegetação consideradas sem uso ou cultivo (Fig. 6).

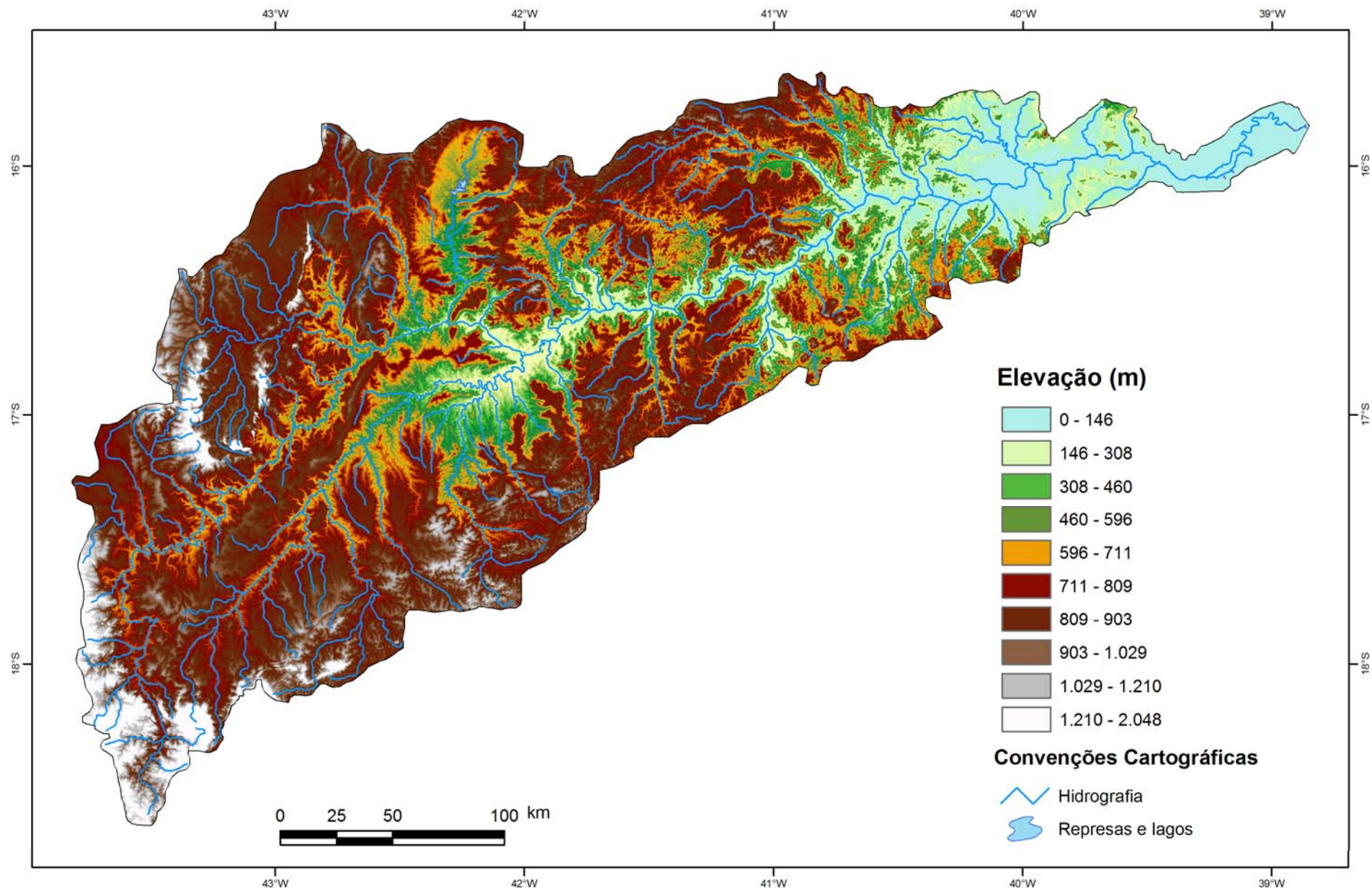


Figura 10 - Mapa do Modelo Numérico de Terreno, da BHRJ modificado da USGS (2007).



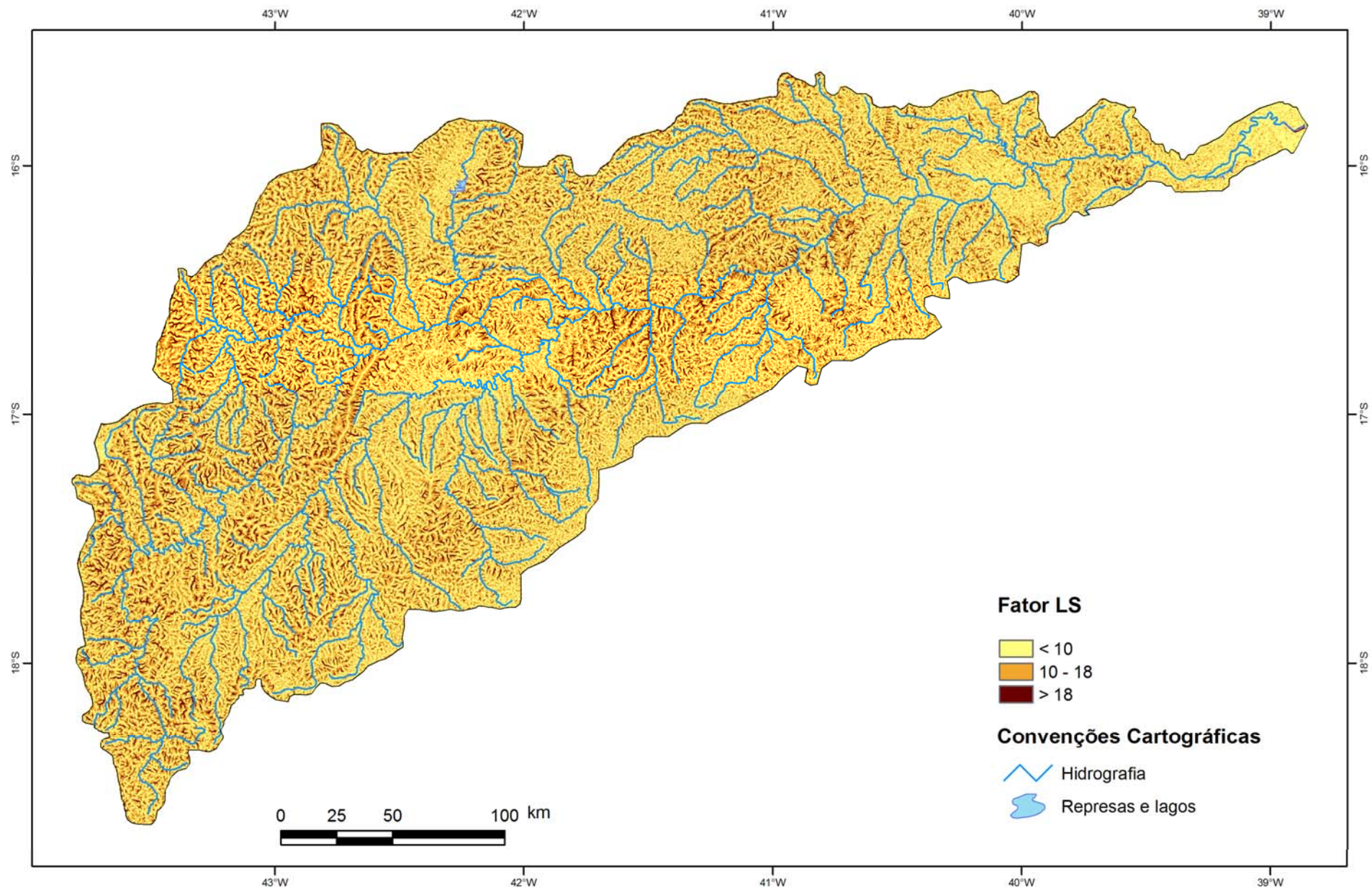


Figura 11 - Mapa do Fator LS - Comprimento e Declividade da Vertente da BHRJ.

Os valores de CP atribuídos à cada uma destas classes de vegetação foram definidos de acordo com o tipo e o porte da classe de vegetação, utilizando os valores mais adequados dentre os propostos por Stein *et al.* (1987) e Wischmeier & Smith (1978).

Depois de atribuído os valores de CP para o atual uso da terra e para o cenário de cobertura vegetal original, em seus respectivos mapas, foram gerados mapas em formato *raster* com a utilização da extensão *Spatial Analyst*.

- **Fator CP – Atual**

Os valores de CP atribuídos aos tipos de uso da terra na BHRJ são apresentados na tabela 5 e caracterizam o atual uso e manejo do solo e as práticas conservacionistas dentro da área da bacia hidrográfica, de acordo com o mapa de uso da terra de 1999 (Fig. 13). Quanto maior o valor de CP, mais elevada é a suscetibilidade do solo à erosão. O gráfico apresentado na figura 12 mostra uma área de aproximadamente 90% da BHRJ com elevados valores de CP.

Tabela 5 – Classes de uso da terra e valores de CP, adaptado de Stein *et al.* (1987).

Classes de Usos	Fator CP
AP - Agropecuária	0,25
Atr - Agricultura Transição	0,25
EA - Extrativismo Animal + Extrativismo Vegetal	0,10
EV - Extrativismo Vegetal + Agropecuária	0,25
PE - Pecuária Extensiva	0,10
PS - Pecuária Semi-Intensiva	0,10
R - Reflorestamento	0,0001

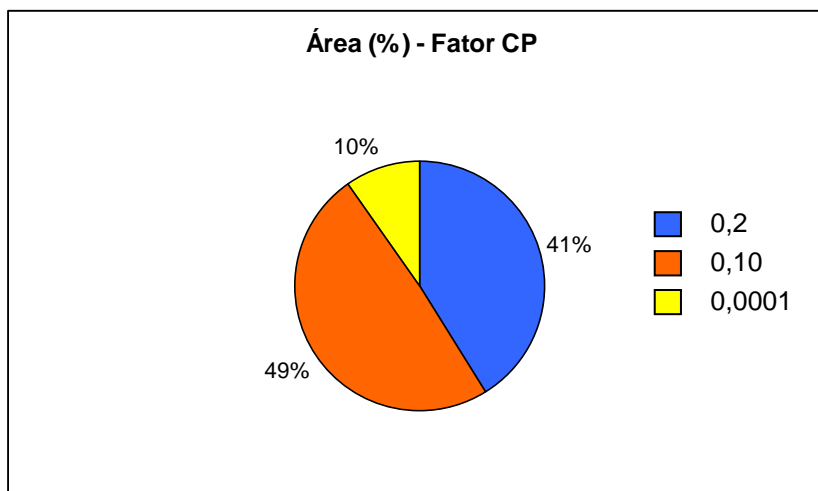


Figura 12: Área ocupada pelos valores do fator CP para a BHRJ.

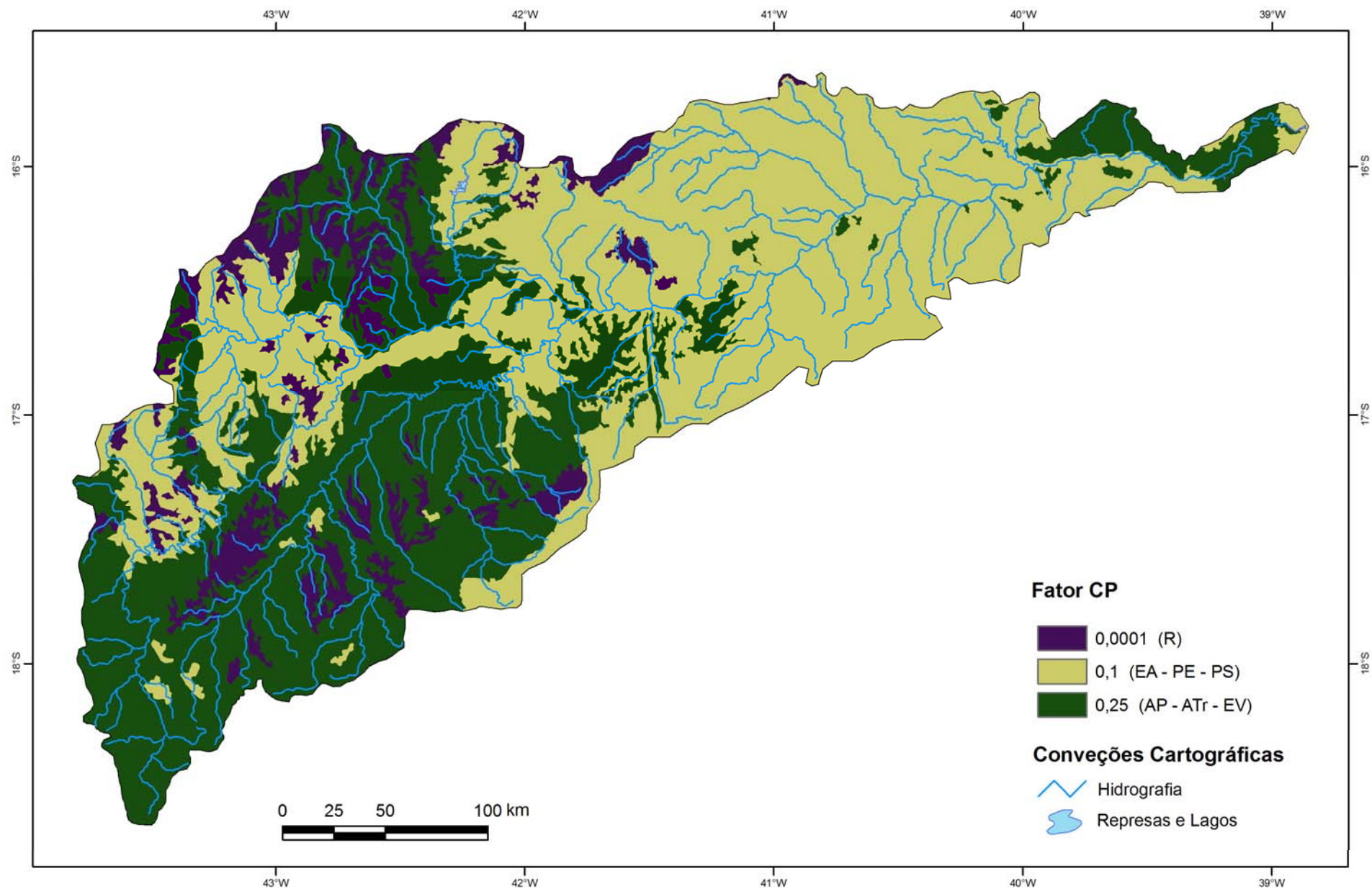


Figura 13 - Mapa do Fator CP - Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas na BHRJ. Categorias de ocupação: R - Reflorestamento, EA - Extrativismo Animal + Extrativismo Vegetal, PE - Pecuária Extensiva, PS - Pecuária Semi-Intensiva, AP - Agropecuária, Atr - Agricultura Transição e EV - Extrativismo Vegetal + Agropecuária.

- **Fator CP – Cenário de Cobertura Vegetal Original**

Os valores do fator CP – Cenário original, foram atribuídos às classes de vegetação do IBGE (2004), buscando simular um cenário de cobertura vegetal original. Estes valores estão apresentados na tabela 6 e na figura 14.

Tabela 6 - Classes de vegetação e os respectivos valores de CP, adaptado de Stein *et al.* (1987) e Wischmeier & Smith (1978).

<b>Classes de Vegetação</b>	<b>Fator CP</b>
A - Floresta Ombrófila Aberta (Floresta de Transição)	0,002
C - Floresta Estacional Decidual (Mata Caducifólia)	0,006
D - Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica)	0,0001
E - Savana Estépica (Caatinga)	0,01
EN - Áreas de Tensão Ecológica (Savana Estépica - Floresta Estacional)	0,008
F - Floresta Estacional Semidecidual (Mata Semicaducifólia)	0,004
Pm - Área das Formações Pioneiras	0,01
Rm - Refúgio Ecológico (Campos de Altitude)	0,01
S - Savana (Cerrado)	0,009
SN - Áreas de Tensão Ecológica (Savana - Floresta Estacional)	0,0065
SO - Áreas de Tensão Ecológica (Savana - Floresta Ombrófila)	0,0055

### 5.1.5 Cálculo da EUPS - Produção de Sedimento Atual

A perda de solos na BHRJ, fator responsável pela produção de sedimentos nesta bacia, foi calculada a partir da multiplicação dos fatores integrantes da EUPS (Fig. 15). A produção total de sedimentos para a BHRJ foi de 439.329.747,5 t/ano considerando uma área de 7.359.700 hectares ou 73.597 km<sup>2</sup>. Na tabela 7 são apresentadas as quatro classes de perda de solo e a sua correspondência em percentagem e em hectares. Segundo a classificação de Riquier (1984) apud Carvalho (1994), a erosão hídrica na BHRJ varia predominantemente de moderada a forte.

Tabela 7 – Classes de perda de solos em toneladas proporcional à área da bacia.

Classes	Toneladas	Erosão Hídrica	Hectares	Porcentagem
1	<10	nula a pequena	747.010	10,15%
2	10-50	moderada	3.063.107	41,62%
3	50-200	forte	3.013.061	40,94%
4	>200	muito forte	536.522	7,29%
			7.359.700	100%



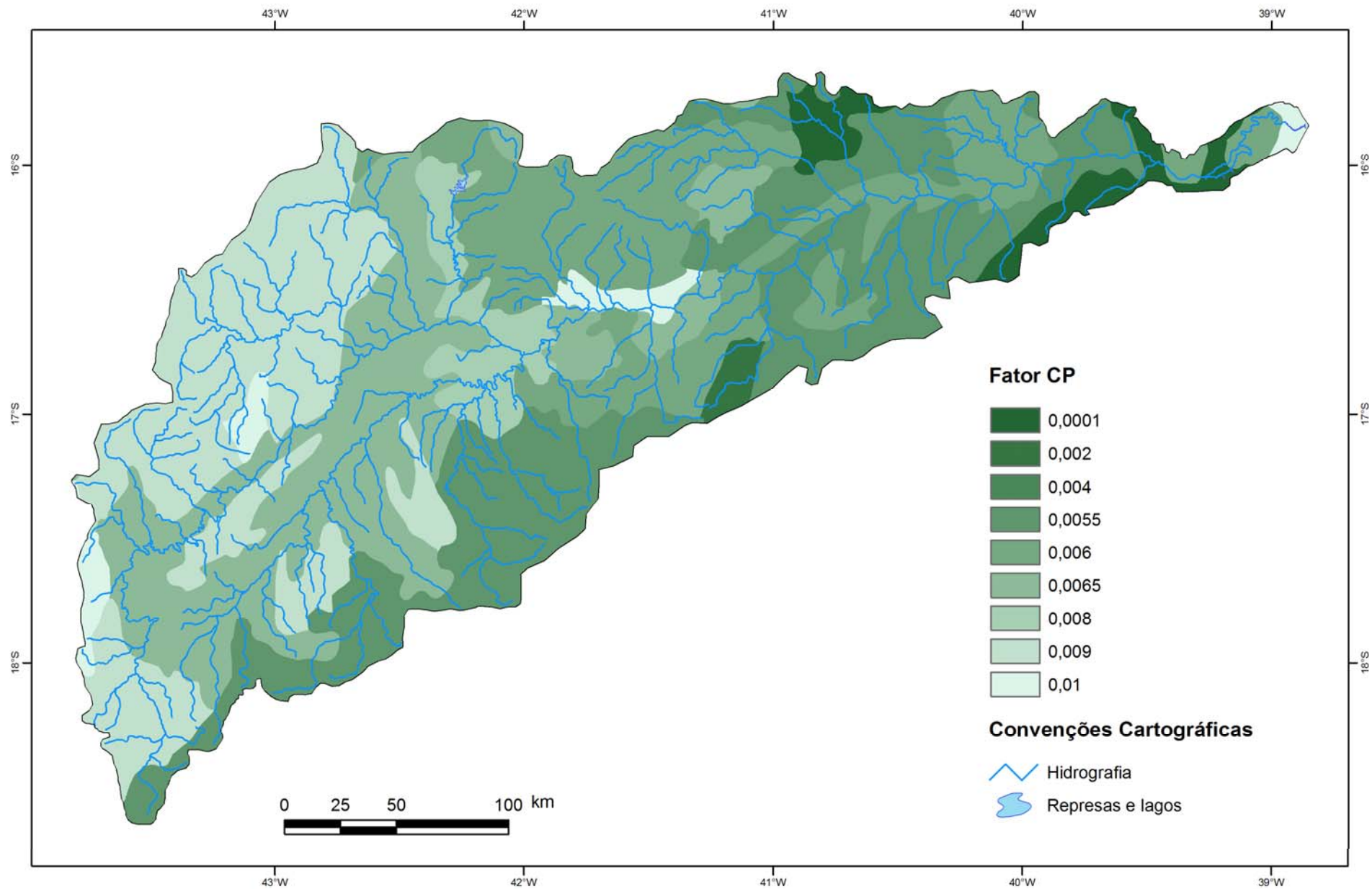


Figura 14 - Mapa do Fator CP - Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas para o Cenário de Cobertura Vegetal Original da BHRJ.



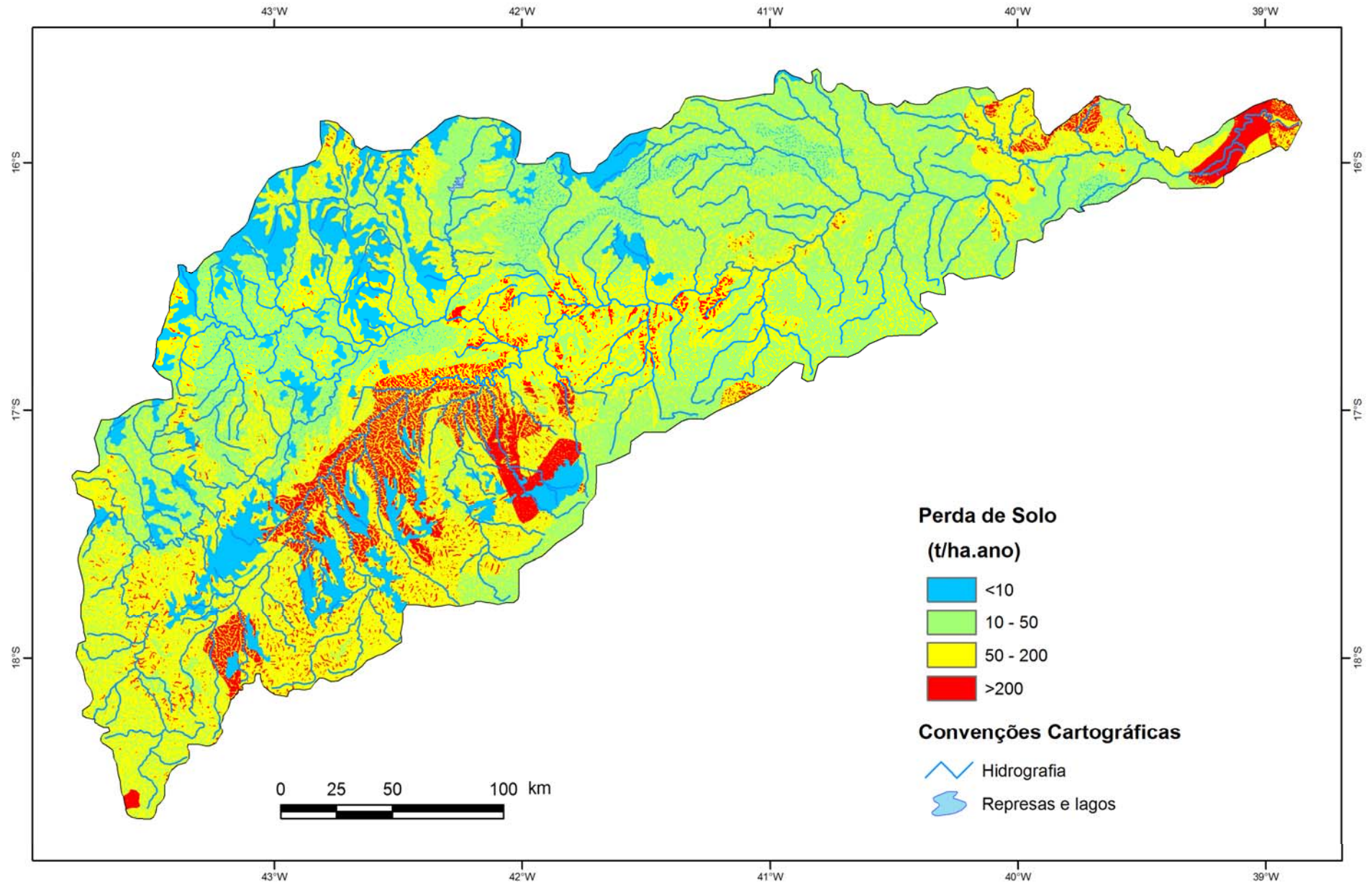


Figura 15 - Mapa da Produção de Sedimento atual da BHRJ.

### 5.1.6 Cálculo da EUPS para o Cenário de Cobertura Vegetal Original

A BHRJ foi caracterizada dentro de um cenário de cobertura vegetal preservada, sem interferência humana, para compor um novo cálculo da EUPS substituindo o plano de informação do Fator CP atual pelo fator CP – cenário de vegetação original. O resultado demonstra a simulação da perda de solo na BHRJ sob uma cobertura vegetal original, a fim de investigar qual era a produção de sedimentos da BHRJ no passado.

O valor da produção de sedimento calculado para este cenário foi de 16.530.889,66 t/ano, para toda a área da bacia (Fig. 16). Na tabela 8 são apresentadas quatro classes de perda de solo e sua correspondência em porcentagem, área e intensidade de erosão. Observa-se em 97,06% da área da BHRJ que a erosão hídrica foi classificada como nula a pequena (Riquier 1984 apud Carvalho 1994). Ao compararmos com a perda de solo atual verifica-se uma diminuição de 27,5 vezes, constituindo cerca de 3,6 % da produção de sedimento atual.

Tabela 8 - Classes de perda de solos em toneladas proporcional à área da bacia.

Classes	Toneladas	Erosão Hídrica	Hectares	Porcentagem
1	<5	nula a pequena	6.333.791	86,06%
2	5-10	nula a pequena	809.748	11,00%
3	10-15	pequena a moderada	153.752	2,09%
4	>15	pequena a moderada	62.409	0,85%
			7.359.700	100%

### 5.2 Descarga Sólida Total para a Estação Jacinto

A descarga sólida total foi calculada para cento e vinte registros de material particulado em suspensão compreendidos entre os anos de 1971 e 2007, o menor valor de descarga sólida calculada foi de 14 toneladas e a maior de 147 x 10<sup>3</sup> toneladas associadas a vazões de 32,5 m<sup>3</sup>/s e 1035 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

Os resultados das correlações entre a descarga sólida total e sua vazão líquida correspondente, são apresentados na tabela 9 mostrando a divisão da série analisada em quatro períodos de tempo com suas respectivas equações (1 a 4) e valores de R-quadrado superiores a última equação (5) a qual compreende todo período.

Considerando a maior acurácia nos resultados, foram utilizadas as equações número 1, 2, 3 e 4 para vazões de até 1035 m<sup>3</sup>/s e a equação número 5 para estimar a descarga sólida total para as vazões entre 1035 m<sup>3</sup>/s e

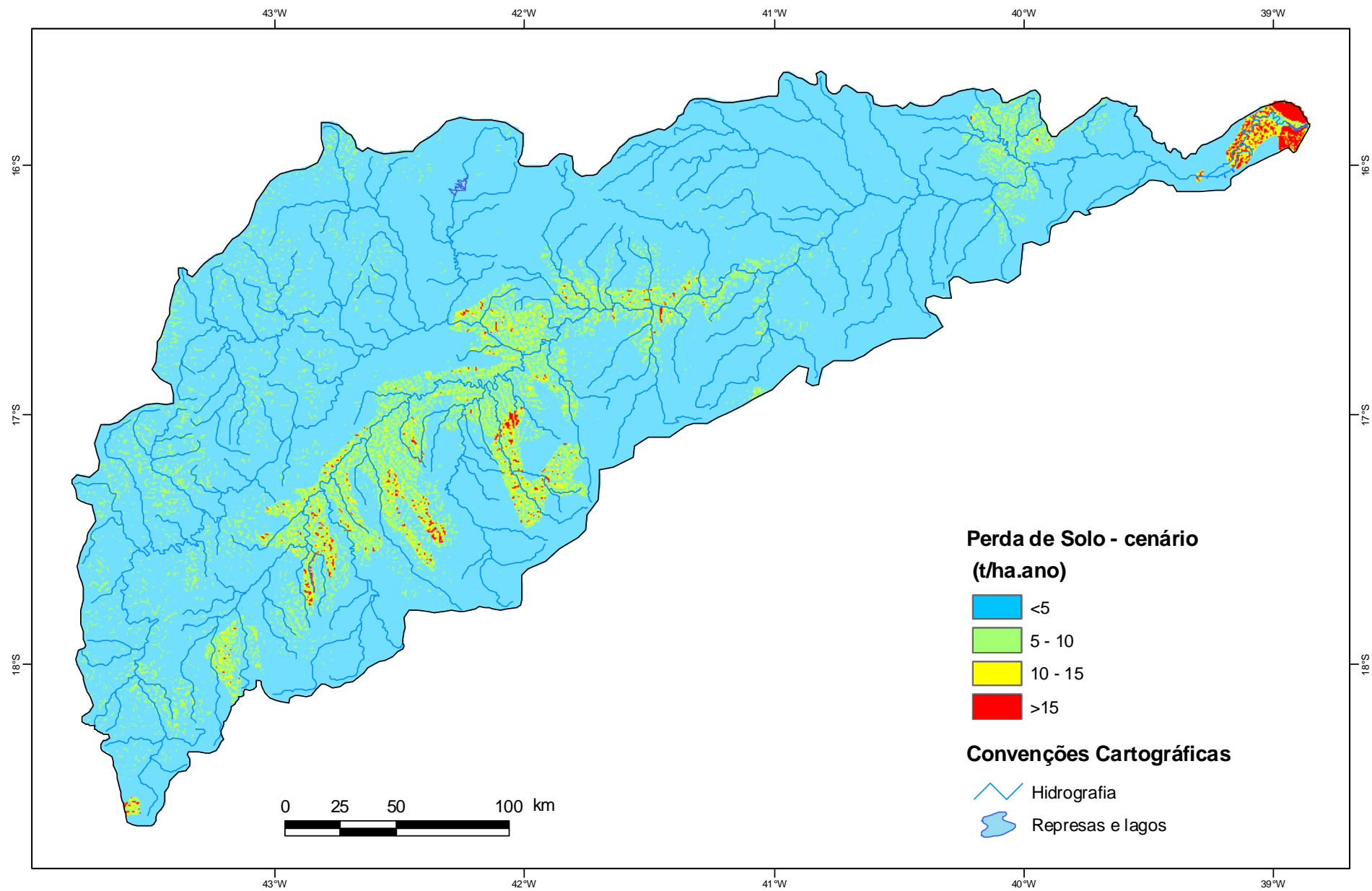


Figura 16 - Mapa da Produção de Sedimentos para o Cenário de Cobertura Vegetal Original da BHRJ.

11.451 m<sup>3</sup>/s. Os gráficos mostrando as curvas de tendência das correlações e suas respectivas equações são apresentados no anexo 2.

A descarga sólida total da estação Jacinto considerando a série histórica de 1972-2007 é de 847 x 10<sup>6</sup> toneladas de sedimentos, representando uma média anual de 23 x 10<sup>6</sup> toneladas (Tabela 10). A figura 17 mostra a curva da descarga sólida anual para todos os anos do período analisado.

Tabela 9 – Equações aplicadas a cada período de dados para o cálculo da descarga sólida total de sedimentos.

Período	Equação para vazões de até 1035 m <sup>3</sup> /s	Vazão líquida máxima (m <sup>3</sup> /s)	Descarga sólida total (t/dia)
13/10/1971 a 13/12/1979	$y = 0,0049x^{2,5047}$ $R^2 = 0,9003$ (1)	1035	147 x 10 <sup>3</sup>
18/02/1980 a 20/08/1989	$y = 212,39e^{0,0068x}$ $R^2 = 0,9453$ (2)	948	140 x 10 <sup>3</sup>
28/08/1990 a 10/12/1999	$y = 0,1652x^2 - 63,67x + 4860,3$ $R^2 = 0,9723$ $y = 0,0143x^{2,2071}$ $R^2 = 0,9208$ (3)	867	78 x 10 <sup>3</sup>
07/04/2000 a 29/08/2007	$y = 0,0022x^{2,5194}$ $R^2 = 0,9694$ (4) $y = 0,1309x^2 - 25,702x + 1278,2$ $R^2 = 0,9997$	929	90 x 10 <sup>3</sup>
13/10/1971 a 29/08/2007	<b>Equação para vazões &gt; 1035 m<sup>3</sup>/s</b> $y = 0,0069x^{2,3775}$ $R^2 = 0,8872$ (5)	1035	147 x 10 <sup>3</sup>

Tabela 10 – Média anual e descarga sólida total calculada para o período de 1972 a 2007.

Ano	Total Anual (t)
1972	27.884.192
1973	16.829.170
1974	8.498.810
1975	5.807.916
1976	2.891.172
1977	18.250.010
1978	20.291.475
1979	241.848.112
1980	22.882.682
1981	27.107.263
1982	64.579.167
1983	11.332.743
1984	7.057.969
1985	30.883.637
1986	13.010.915
1987	1.499.887
1988	3.348.691
1989	3.144.680
1990	73.753.644
1991	4.560.568
1992	98.922.175
1993	23.792.917
1994	7.580.333
1995	1.481.839
1996	4.433.519
1997	11.198.013
1998	8.258.470
1999	8.808.364
2000	8.661.350
2001	5.601.766
2002	22.571.385
2003	3.443.106
2004	15.357.967
2005	4.970.836
2006	5.753.677
2007	10.616.459
<b>Média</b>	<b>23.525.413</b>
<b>Total</b>	<b>846.914.878</b>

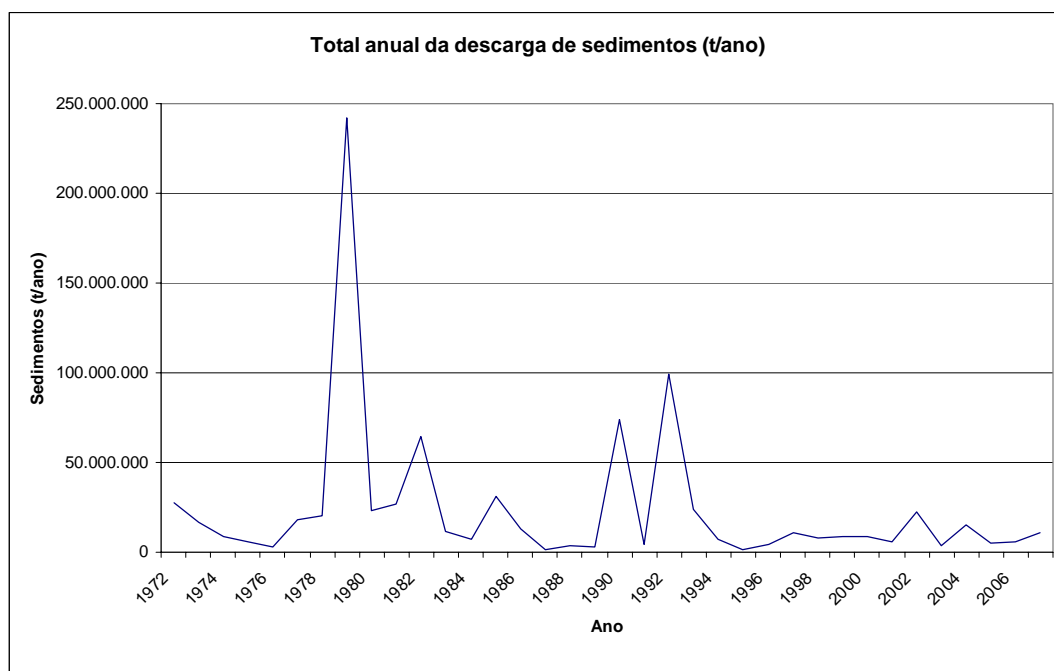


Figura 17 – Descarga anual de sedimentos para o período de 1972 a 2007.

### 5.3 Contribuição dos Aportes Fluviais do Rio Jequitinhonha para a Construção da Planície Costeira

A planície costeira do rio Jequitinhonha abrange as desembocaduras tanto do rio Pardo quanto do rio Jequitinhonha. Pelo fato desta pesquisa estar focada apenas no aporte sedimentar do rio Jequitinhonha, a área da planície costeira foi dimensionada com a finalidade de contabilizar somente a contribuição relativa dos aportes de sedimentos do rio Jequitinhonha.

Ao descrever a evolução paleogeográfica da planície, Dominguez (1983) reconheceu três conjuntos de cordões litorâneos associados à três desembocaduras do rio Jequitinhonha, sendo o terceiro conjunto de cordões (Sistema III), associados à desembocadura atual desse rio. Ainda segundo o mesmo autor, o Sistema III teria sido construído a partir de 2.570 anos A.P., segundo amostra coletada e datada.

Para avaliar a contribuição do aporte de sedimentos fluviais do rio Jequitinhonha na construção da planície costeira associada à sua foz foi preciso confrontar o volume de sedimentos estocados na planície nos últimos 2.500 anos e a produção de sedimentos fluviais. Desta forma, utilizou-se a área delimitada pelo Sistema III de cordões litorâneos, cujas condições eram próximas às atuais, com um abaixamento máximo do nível do mar da ordem de 1-2 m. Para fins de cálculo do volume de sedimentos associados ao Sistema III foi utilizada a linha de costa de 2008, extraída de uma imagem CBERS-2B CCD para aquele ano.

Para o período de construção do Sistema III de cordões litorâneos foram ainda estimadas as posições das linhas de costa dos anos de 1700, 1800 e 1900 obtidas no trabalho de Dominguez *et al.* (2004) e a linha de costa do ano de 1960 segundo Dominguez (2008). As linhas de costas dos anos de 1700, 1800 e 1900 foram identificadas por Dominguez *et al.* (2004) apenas para a porção sul da planície, tendo sido necessário estimar a posição dessas linhas de costa, também para a porção norte da planície, e para tal, decidiu-se por um traçado aproximado simétrico com a linha de costa a sul, respeitando-se porém a orientação geral dos cordões litorâneos (Fig. 18).

Cinco polígonos foram traçados representando as áreas de progradação delimitados pelas linhas de costa aqui consideradas (Fig. 18), são elas: (i) progradação entre os anos de 2500 AP. e o ano de 1700; (ii) progradação entre os anos de 1700 e 1800; (iii) progradação entre os anos de 1800 e 1900; (iv) progradação entre os anos de 1900 e 1960 e (v) progradação entre os anos de 1960 e 2008. Estas áreas multiplicadas pela espessura média de 7 m dos depósitos arenosos resultaram em volumes de sedimentos depositados na planície, os quais foram confrontados com as estimativas de volume de sedimentos trazidos pelo rio para os mesmos intervalos de tempo.

Até o presente não existe nenhuma quantificação dos aportes de sedimentos do rio Jequitinhonha, nem da sua contribuição para a planície costeira associada a sua foz. Um importante trabalho foi realizado por Dominguez (1983) o qual identificou e descreveu os estágios evolutivos dessa planície. Esse autor considerou como agente principal na progradação da planície, os sedimentos expostos pelo abaixamento do nível relativo do mar nos últimos 5.000 anos, desempenhando o rio, um papel secundário, de exercer a função de molhe hidráulico interrompendo o trânsito dos sedimentos, transportados pela deriva litorânea retendo-os a barlamar da desembocadura.

### 5.3.1 Aporte de Sedimentos Fluviais

A taxa de transferência de sedimentos (*SDR*) corresponde a porcentagem do sedimento produzida na bacia, que efetivamente chega à sua desembocadura. No cálculo desta taxa foi utilizada a descarga média de sedimentos, calculada para a estação Jacinto entre os anos de 1972 e 2007 (23.525.413 t/ano), e a modelagem da perda de solos atual, apenas para a área de abrangência da estação Jacinto (376.781.791,4 t/ano). A taxa de *SDR* resultante foi de 6,2%.

$$SDR = 100 * 23.525.413 \text{ t/ano} / 376.781.791,4 \text{ t/ano} = 6,2 \%$$

- **Cenário Atual**

O *SDR* aplicado a toda área da bacia utilizando a EUPS para o uso atual da terra (439.329.747,5 t/ano), resultou num aporte médio da descarga sólida de 27.238.444,35 t/ano.

$$\text{Aporte} = 6,2\% * 439.329.747,5 \text{ t/ano} / 100 \longrightarrow \text{Aporte} = 27.238.444,35 \text{ t/ano}$$

- **Cenário de Cobertura Vegetal Original**

Da mesma forma aplicando-se o *SDR* ao resultado da produção de sedimento da EUPS para o cenário de cobertura vegetal original (16.530.889,66 t/ano) em toda a área da BHRJ, foi possível obter um aporte médio da descarga sólida de 1.024.915,16 t/ano.

$$\text{Aporte} = 6,2\% * 16.530.889,66 \text{ t/ano} / 100 \longrightarrow \text{Aporte} = 1.024.915,16 \text{ t/ano}$$

Pode-se observar nestes resultados um significativo aumento da produção de sedimentos em decorrência das mudanças na cobertura vegetal sugerindo que para a BHRJ, o fator cobertura vegetal, controla significativamente a produção de sedimento, influência já observada por Douglas (1967), Milliman *et al.* (1987) e Cencini (1998).

A modelagem através da EUPS demonstrou ser uma ferramenta muito útil, principalmente para estimar e comparar a perda de solos em diferentes cenários de cobertura vegetal, assim como, diferentes cenários de cultivos, já notado por Thieler *et al.* (2000). A EUPS é bastante utilizada e também muito eficiente no planejamento conservacionista e análises qualitativas (Farinasso *et al.* 2006).

Dentre as limitações que a EUPS apresenta, estão a de não representar diretamente os processos hidrológicos e erosivos, por exemplo, o escoamento superficial e a estimativa da deposição dos sedimentos. Entretanto, quanto mais complexo o modelo, mais dados necessitaria, e justamente pela sua relativa simplicidade, em comparação com outros modelos, a EUPS é amplamente utilizada (Silva *et al.* 2004).

Neste trabalho, buscou-se minimizar as limitações da EUPS, em relação à veracidade quantitativa dos valores de perda de solos, bem como, sobre a deposição dos sedimentos carregados, utilizando-se os dados da estação sedimentométrica de Jacinto e a aplicação do *SDR*.

### **5.3.2 Volume de Sedimentos Arenosos dos Últimos 2500 anos, 308 anos e 48 anos**

A área dos depósitos holocênicos com idade inferior a 2500 anos AP. foi calculada multiplicando-se a área do polígono desse depósito ( $143,81 \times 10^6 \text{ m}^2$ ) pela espessura do pacote de sedimentos arenosos identificada através dos perfis dos furos de sondagem (7 m), obtendo-se desta forma, um volume de sedimentos de  $1 \times 10^9 \text{ m}^3$  (Fig. 18). Este volume foi comparado com o volume de sedimentos aportados pelo rio Jequitinhonha nos últimos 2500 anos.



Para contabilizar o volume de sedimentos fluviais depositados na planície durante os últimos 2500 anos, foram considerados somente os sedimentos da carga de leito. No caso da BHRJ, o valor médio da carga de leito corresponde a 26% da descarga sólida total, valor obtido pelo percentual da descarga sólida não medida, calculada pela solução de Prodanoff (1996). A seguir, foram ajustadas as unidades de medida transformando os valores de toneladas para volume, utilizando-se os seguintes parâmetros: densidade do quartzo ( $2,65\text{g/cm}^3$ ), porosidade para areias litorâneas (40%) e espessura das areias (7 m).

O resultado da descarga sólida convertido para volume foi de  $3,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  para o uso da terra atual e  $140 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$  para o cenário de cobertura vegetal original. É notável a diferença entre a taxa dos aportes de sedimentos comparando-se os dois cenários. Verifica-se um aumento de três ordens de grandeza entre a estimativa do volume de descarga sólida do cenário de vegetação original, e o volume de descarga sólida, para o uso da terra atual.

Considerou-se neste estudo que a existência do cenário de cobertura vegetal original para a BHRJ, foi modificada pelo início dos processos exploratórios da colonização, passando a sofrer após o ano de 1500, gradativo desflorestamento. A investigação sobre o início das intervenções humanas, a ponto de modificar significativamente a cobertura vegetal e influenciar na produção de sedimento, é tarefa difícil e imprecisa. Devido à nossa história recente e as poucas informações disponíveis sobre este assunto, os dados existentes são muito mais qualitativos do que quantitativos.

Martins (2008) a partir de registros históricos de viajantes dos séculos XIX e XX, considerou que a degradação ambiental no Médio Jequitinhonha se intensificou a partir do ano de 1800, aproximadamente. De certo, a transição entre a cobertura vegetal original da BHRJ e sua atual configuração, caracterizada por intenso desmatamento e diversos usos e ocupação da terra, se deu de forma gradativa através dos anos.

Através de registros históricos e da literatura foi possível obter algumas informações relacionadas à progradação da planície costeira ocorrida desde o ano de 1700, data de origem do povoado da “Vila de Belmonte”, atualmente, cidade de Belmonte. Foi em visita a este povoado (Belmonte) que o viajante Robert Ave-Lallemant, no ano de 1859, descreveu logo ao chegar, “que a Vila de Belmonte se distanciava a algumas braças do mar e que uma duna separaria o povoado do oceano” (Ave-Lallemant 1961 – pag 111).

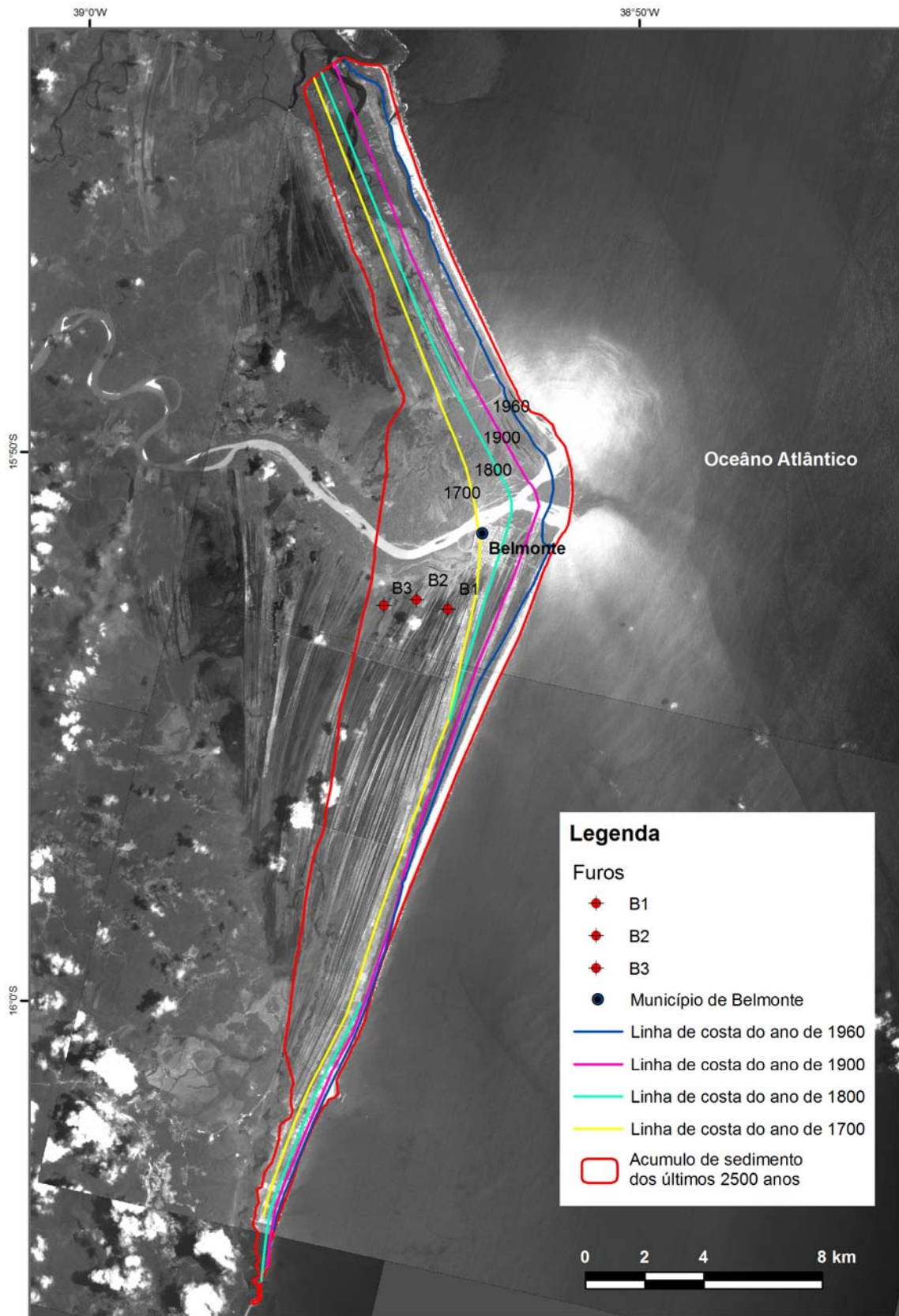


Figura 18: Localização dos furos de sondagem da CERB, área dos sedimentos acumulados nos últimos 2500 anos, linhas de costa para os anos de 1700, 1800, 1900 e 1906 (modificado de Dominguez et al. 2004, Dominguez 2008) na planície costeira do rio Jequitinhonha. Imagens de satélite - Cbers-2B HRC, 2008.

Outra evidência de progradação foi observada entre os anos de 1906 e 2008. Em 1906, o farol de Belmonte estava posicionado próximo a linha de costa, e foi transferido para uma posição mais interna, devido aos riscos ocasionados naquela época por eventos erosivos que ali estavam ocorrendo. Alguns anos mais tarde observou-se uma progradação de aproximadamente 800 m entre a posição do farol em 1906 e a linha de costa do ano de 2000, segundo trabalho de Dominguez *et al.* (2000).

A partir das linhas de costa dos anos de 1700, 1800, 1900, 1960, segundo Dominguez *et al.* (2004) e Dominguez (2008), e da linha de costa do ano de 2008 traçada a partir da imagem do sensor CBERS-2B HRC (Fig 18), foram calculados os volumes de sedimentos depositados para cada área progradada entre esses anos, e o volume de sedimentos fluviais calculados para todo o período correspondente (Fig. 19).

No cálculo do volume de sedimentos fluviais depositados entre os anos de 2500 AP. e 1700 utilizou-se o valor da descarga sólida calculado para o cenário de cobertura vegetal original, ou seja, 2192 anos multiplicado por  $140 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$ . A partir do ano de 1700 considerou-se a descarga sólida fluvial calculada para o uso da terra atual. O volume estimado do aporte fluvial entre os anos de 2500 AP. e 1700 foi de  $308,6 \times 10^6 \text{ m}^3$  de sedimentos e entre os anos de 1700 e 2008 foi de  $1,15 \times 10^9 \text{ m}^3$ .

Observando-se a área de progradação da planície entre os anos de 2500 AP. e 1700 e de 1700 e 2008 verifica-se um significativo aumento na taxa de progradação anual quando compara aos dois diferentes cenários de cobertura vegetal (Tabela 11).

Tabela 11 - Taxa de progradação entre os anos de 2500AP. e 1700 e de 1700 e 2008.

<b>Intervalo de tempo (anos)</b>	<b>Área de progradação (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Taxa anual de progradação (m<sup>2</sup>/ano)</b>
2500 AP. a 1700 (2192)	75.504.644	34.446
1700 a 2008 (308)	68.307.459	221.777

Presume-se então que, a evolução da planície nos últimos 2500 experimentou um primeiro período sob condições de vegetação preservada, sem intervenções humanas, com menor produção de sedimento e menor taxa de progradação, contudo, num maior período de tempo, aproximadamente 2192 anos AP. Um segundo período, já sob as condições do uso da terra atual, foi responsável por uma taxa de progradação mais acelerada, confirmada por altos valores de descarga sólida de sedimento num menor período de tempo, aproximadamente 308 anos AP.

Altas taxas de progradação na zona costeira em decorrência de mudanças na cobertura vegetal de bacias hidrográficas, diretamente associadas ao desmatamento, foram observadas nos Deltas do Pó, do Ebro

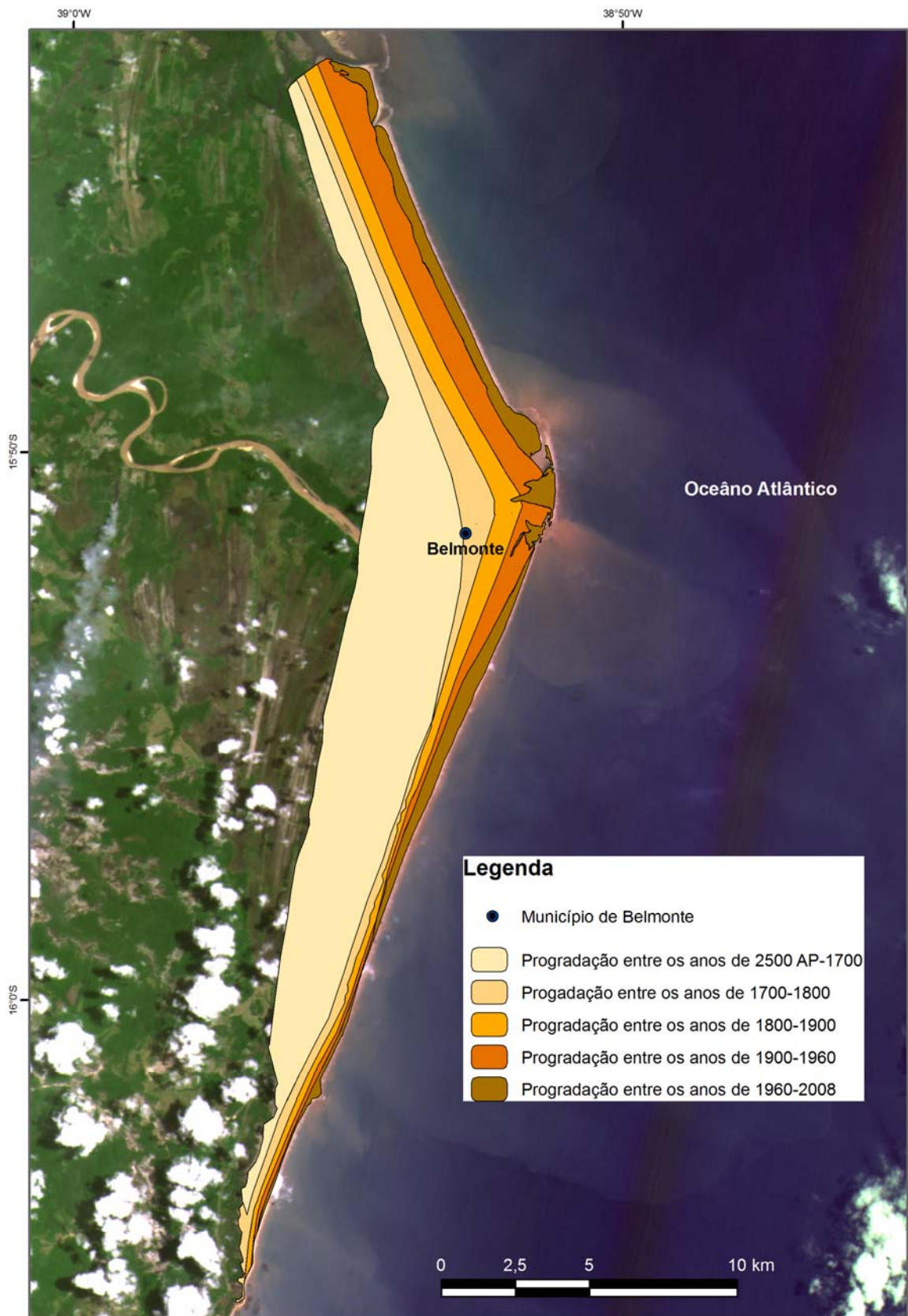


Figura 19: Área de progradação na planície costeira do rio Jequitinhonha entre os anos de 2500AP. a 1700; 1700 a 1800; 1800 a 1900; 1900 a 1960 e 1960 a 2008.



e Ródano. Esses deltas apresentaram um grande aumento no aporte de sedimentos a partir da metade do século XX e uma acentuada progradação na área de desembocadura (Cencini 1998, Guillén & Palanques 1997, Touzani & Giresse, 2002). Este fato, verificado em muitas regiões deltaicas, é responsável pela vulnerabilidade destas áreas diante da ocorrência de alterações no suprimento de sedimentos, observadas por estes mesmos autores, em decorrência da retenção de sedimentos por barragens.

Ao comparar as progradações entre as linhas de costa de 2500 AP., 1700, 1800, 1900 e 1960 e 2008 com os volumes de sedimentos depositados pelo rio na planície, verifica-se que as mudanças na cobertura vegetal determinaram as altas taxas de descarga sólida fluvial, sendo este fator responsável pela acelerada progradação da linha de costa nesta planície nos últimos 308 anos (Tab. 12 e Fig. 20).

Tabela 12 – Volumes de sedimentos depositados na planície e os volumes dos aportes fluviais correspondentes em cinco intervalos de tempo durante os últimos 2500.

Volume depositado na planície (m <sup>3</sup> )	Volume de sedimentos fluviais (m <sup>3</sup> )	Intervalo de tempo
528.532.511	308.591.512	2500AP-1700 (2192 anos)
112.978.713	374.143.160	1700-1800 (100 anos)
119.377.307	374.143.160	1800-1900 (100 anos)
140.656.113	224.485.896	1900-1960 (60 anos)
91.501.330	179.588.717	1960-2008 (48 anos)

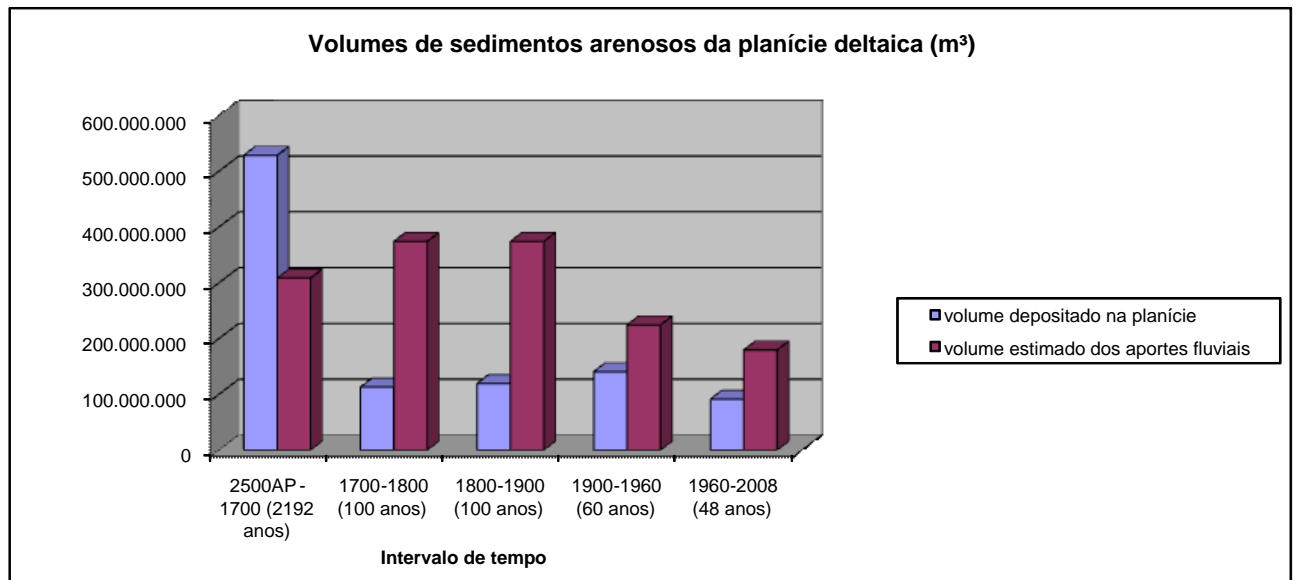


Figura 20 – Gráfico comparativo entre os volumes de sedimentos acumulados na planície e os volumes dos aportes fluviais.

No período entre os anos de 2500 AP. e 1700 o volume de sedimento estimado para os aportes fluviais foi menor do que o volume depositado na planície. Este resultado sugere que, tanto a modelagem pode ter sido subestimada, em consequência de suas limitações, como outros fatores podem ter influenciado neste processo, tais como, o transporte de sedimentos pela deriva litorânea e as variações climáticas, os quais não foram considerados neste estudo.

Já para os anos que sucedem a 1700 observou-se um excedente de sedimentos fluviais. Considerando que nem todos os sedimentos foram depositados na porção sul da planície, é provável que a deriva litorânea de sentido predominante sul-norte, como indicado por Bittencourt *et al.* (2000) e Nascimento *et al.* (2007), tenha transportado e remobilizado para norte os sedimentos excedentes do rio Jequitinhonha, juntamente com os sedimentos provenientes do rio Pardo, contribuindo desta forma, para a construção e alimentação das ilhas oceânicas arenosas presentes na porção norte da planície.

Importante ressaltar que neste estudo, o modelo de perda de solos supõe que os fatores, com exceção do CP, se mantiveram uniformes durante todo o período de análise, o que não acontece naturalmente. Possíveis alterações climáticas podem ter ocasionado mudanças hidrodinâmicas, evidenciadas pelos truncamentos dos cordões litorâneos já identificados por Dominguez (1983) e Dominguez *et al.* (2004). Apesar destas limitações, observou-se que a aplicação do modelo permitiu estimar a contribuição fluvial no processo evolutivo da planície.

Acredita-se, desta forma, que o rio Jequitinhonha desempenhou o papel principal na progradação da planície, contribuindo com quantidade suficiente de sedimentos para a construção do seu delta nos últimos 2500 anos. Outros fatores como o abaixamento do nível do mar e a ação da deriva litorânea foram importantes agentes, que influenciaram neste processo, contudo, não primordialmente, como se pensava anteriormente.

## 6. CONCLUSÕES

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e o delta associado ao seu rio apresentaram-se como importantes objetos de estudo, oferecendo um amplo campo de análise e permitindo a geração de novas informações. A experiência de realizar um trabalho integrado, incluindo os elementos: bacia hidrográfica, impactos humanos, sedimentos e zona costeira permitiram avaliar quão vulnerável está esta zona costeira às influências continentais de longo e curto prazo. Da mesma forma, observou-se que a atividade humana realizada na área da bacia, em um pequeno período de tempo, afetou e modificou fortemente a cobertura vegetal e a dinâmica hidrossedimentológica da bacia hidrográfica.

O efetivo aumento na produção de sedimentos durante os dois últimos séculos, decorrente principalmente do desmatamento na BHRJ, exerceu uma influência direta na elevação da taxa de progradação observada na planície costeira. Desta forma, a aplicação do modelo empírico foi fundamental para demonstrar que as repercussões das intervenções humanas no interior da bacia hidrográfica refletem diretamente sobre a sua zona costeira.

Este trabalho concluiu que, ao contrário do que foi observado nos primeiros estudos sobre a evolução paleogeográfica desta planície, os sedimentos de origem fluvial deste rio contribuíram primordialmente para a construção da planície deltaica nos últimos 2500 anos, desta forma, o termo “delta do rio Jequitinhonha”, pode ser coerentemente utilizado para designar esta feição.

Considerando que tanto o delta do rio Jequitinhonha como também as praias arenosas da porção norte da planície costeira são alimentadas essencialmente pelos sedimentos provenientes do rio Jequitinhonha, uma diminuição no aporte de sedimentos, decorrente, por exemplo, da retenção pelas barragens, causará provavelmente um desequilíbrio no balanço sedimentar para esta zona costeira.

Importantes contribuições podem ser produzidas com outros estudos que contemplem investigações a respeito dos prováveis impactos das barragens nas descargas sólidas do rio Jequitinhonha. Finalmente, este estudo representa uma contribuição para melhor entender a própria evolução quaternária do delta, quando associada a análise estratigráfica e datações, permitindo uma melhor reconstrução das etapas construtivas deste delta durante o Holoceno.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida A.B. 2004. **Modelagem da produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Jequiriçá – implicações na zona costeira**. Monografia de graduação. Curso de graduação em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 58 p.

ANA – Agência Nacional das Águas. Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul – Trecho Leste. Bahia, BH7 – bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha. **Série: Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. CD nº 4. Disponível em: [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br). Acessado em junho, 2006.

Aquino R.F., Carvalho N.O., Dominguez, J.M.L. 2003. Carga de sedimentos em suspensão produzida pela bacia do rio Itapicuru. IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. **Boletim de Resumos**.

Avé-Lallemant R. 1961. **Viagem pelo Norte do Brasil: no ano de 1859**. Ministério da Educação e Cultura. Instituto Nacional do Livro. Coleção de Obras Raras VII, 1º volume. Rio de Janeiro. 359 p.

Bertoni J. & Lombardi Neto F. 1999. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone. 4ª edição. 355 p.

Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L., Martin L., Ferreira Y.A. 1982. Dados preliminares sobre a evolução do delta do rio São Francisco (SE/AL) durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. **Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil**, 49-68.

Bittencourt A.C.S.P., Dominguez J.M.L., Martin L., Silva I.R. 2000. Patterns of sediment dispersion coastwise the State of Bahia – Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 72: 271-287.

Brasil. 1981. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto **RADAMBRASIL** Folha SD.24 Salvador; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, vol. 24, 624 p.

Brasil. 1982. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto **RADAMBRASIL** Folha SD.23 Brasília; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, vol. 29, 660 p.

Brommer M.B. & Bochev-van der Burgh L.M. 2009. Sustainable coastal zone management: A concept for forecasting long-term and large-scale coastal evolution. **Journal of Coastal Research**, 25:181-188.



Carvalho N.O. 1994. **Hidrossedimentologia Prática**. Companhia de pesquisa e recursos minerais - CPRM, Rio de Janeiro, 372 pp.

Carvalho, N.O. & Cunha, S.B. 1998. Estimativa da carga sólida do Rio Amazonas e seus tributários para a foz e oceano: uma retrospectiva, **A Água em Revista** – Revista Técnica Informativa da CPRM, 10: 44-58.

CBDB – Comitê Brasileiro de Barragens. 2009. **Cadastro de Barragens**. Disponível em: <http://www.cbdb.org.br>. Acessado em: 2008.

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais. 2009. **Usina de Hidrelétrica de Irapé**. Disponível em: <http://www.irape.com.br>. Acessado em: 2008.

CERB – Companhia de Engenharia Rural da Bahia. 1975, 1981. **Cadastro de poços tubulares do Estado da Bahia**. Vol., I, II e X. Salvador. Departamento de Geologia e Perfuração.

Cencini C. 1998. Physical Processes and Human Activities in the Evolution of the Po Delta, Italy, **Journal of Coastal Research** 14(3): 774–793.

Chaves M.L.S.C. & Chambel L. 2004. Diamantes do médio rio Jequitinhonha, Minas Gerais: qualificação gemológica e análise granulométrica. **Revista da Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 57, n. 4. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672004000400009&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672004000400009&script=sci_arttext). Acessado em: outubro, 2005.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais: Serviço Geológico do Brasil. 2008. **Poços**. SIAGAS – Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. 2008. Disponível em: <http://siagas.cprm.gov.br/wellshow/indice.asp>. Acessado em: novembro de 2008.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais: Serviço Geológico do Brasil. 2004. **GIS do Brasil – Sistema de Informações Geográficas. Programa Geologia do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo**. Folhas: SD 23, SE 23, SD 24 e SE 24, 1: 1.000.000. Secretaria de Minas e Metalurgia. Ministério de Minas e Energia.

Denardin, J.E. 1990. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Tese de Doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 81 p.

Dominguez J.M.L. 1983. **Evolução Quaternária da planície costeira associada à foz do rio Jequitinhonha (BA): influência das variações do nível relativo do mar e da deriva litorânea de sedimentos**. Salvador Bahia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, 79 p.

Dominguez J.M.L. 2000. Processos e riscos geológicos da planície quaternária e plataforma continental. In: Dominguez J.M.L. (Ed.). **Projeto Costa do Descobrimento: avaliação da potencialidade mineral e subsídios ambientais para o desenvolvimento sustentável dos município de Belmonte, Santa Cruz Cabrália, Porto Seguro e Prado**. Salvador. CBPM – Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, 152 p.

Dominguez J.M.L. 2008. Linha de costa – 1960. Fotografia aérea vertical. **Comunicação pessoal**.

Dominguez J.M.L. & Bittencourt A.C.S.P. 1996. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 68: 355-371.

Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P., Martin L. 1981. Esquema evolutivo da sedimentação quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Rev. Bras. Geoc.**, 11: 227-237.

Dominguez J.M.L., Martin L, Bittencourt A.C.S.P. 1982. Evolução paleogeográfica do delta do rio Jequitinhonha durante o Quaternário: influência das variações do nível do mar. **Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil**, 69-92.

Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P., Martin L. 1983. O papel da deriva litorânea de sedimentos arenosos na construção das planícies costeiras associadas às desembocaduras dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). **Rev Bras. Geoc.**, 13: 98-105.

Dominguez J.M.L., Martin L., Bittencourt A.C.S.P. 1987. Sea-level history and Quaternary evolution of river mouth – associated beach-ridge plains along the east-southeast brazilian coast: a summary. In: Nummedal D., Pilkey D.H., Howard J.D. (Eds.). Sea level fluctuations and coastal evolution. **SEPM. Spec. Publ.**, 41: 227-237.

Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P., Martin L. 1992. Controls on Quaternary coastal evolution of the east-northeastern coast of Brazil: roles of sea-level history, trade winds and climate. **Sedimentary Geology**, 80: 213-232.

Dominguez J.M.L., Martin L., Bittencourt A.C.S.P. 2004. Climate change and episodes of severe erosion at the Jequitinhonha strandplain – SE Bahia, Brazil. **Journal of Costal Research**, 39: 1-4.

Douglas I. 1967. Man, vegetation and the sediment yields of rivers. **Nature**, 215: 925-928.

Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 1997. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisas de Solos, 4ª edição. Rio de Janeiro, 169p.

Farinasso M., Carvalho Júnior O.A., Guimarães R.F., Gomes R.A.T. Ramos V.M. 2006. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba – PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 7(2): 73-85.

Geotécnica S.A./DHV. 1994. Plano diretor de recursos hídricos para os vales do Jequitinhonha e Pardo. MMA, SRH, **relatório 7**, volume 1, síntese.

Grupo Neoenergia. 2009. **Usina Hidrelétrica de Itapebi**. Disponível em: <http://www.itapebi.com.br>. Acessado em: 2008.

Guillén J. & Palanques A. 1997. A Historical Perspective of the Morphological Evolution in the Lower Ebro River, **Environmental Geology** 30(3/4): 174–180.

Hidroweb – Sistema de Informações Hidrológicas. **Dados Hidrológicos**. Agência Nacional das Águas – ANA. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acessado em: 2006 e 2008.

Holeman J.N. 1968. The sediment of major rivers of the world. **Water Resources Research**, 4: 737-747.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1987. Folha SE.24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, editado pelo Projeto **RADAMBRASIL**, vol. 34, 548 P.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1997. **Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jequitinhonha: diretrizes gerais para a ordenação territorial**. Departamento de Recursos Naturais. Disponível em:

<ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursosnaturais/diagnosticos/jequitinhonha.pdf>. Acessado em: outubro, 2005.

IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. **Mapa de Vegetação do Brasil**. Escala 1:5.000.000 - 3ª edição. Coordenação de recursos naturais e estudos ambientais, Diretoria de

Geociências. Departamento de Recursos. Naturais. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: outubro, 2005.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de imagens**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acessado em: junho, 2008.

Lombardi Neto F. & Moldenhauer W.C. 1992. Erosividade da Chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em campinas (SP). **Bragantia**, 51: 189-196.

Martin L., Suguio K., Flexor J.M. 1993. As flutuações de nível do mar durante o Quaternário Superior e a evolução geológica de "deltas" brasileiros. **Boletim IG-USP: Publicação Especial**, 15: 1-186.

Martin L., Suguio K., Flexor J.M., Dominguez J.M.L., Bittencourt A.C.S.P. 1996. Quaternary sea-level history and variation in dynamics along the Central Brazilian coast: consequences on coastal plain construction. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 68: 303-325.

Martins M.L. 2008. O Jequitinhonha dos viajantes, séculos XIX e XX: olhares diversos sobre as relações sociedade – natureza no nordeste mineiro. **Varia Historia**, 40:707-728.

Medeiros P.R.P., Knoppers B.A., Santos Junior R.C., Souza W.F.L. 2007. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, 21: 212-231.

Milliman J.D. & Meade R.H. 1983. World-wide delivery of river sediment to the oceans. **The Journal of Geology**, 91: 1-21.

Milliman J.D., Yun-Shan Q., Mei-E R., Saito Y. 1987. Man's influence on the erosion and transport of sediment by Asian rivers: the Yellow river (Huanghe) example. **The Journal of Geology**, 95: 751-762.

Moore L.D. & Wilson J.P. 1992. Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. **Journal of Soil and Water Conservation**. 47: 423-428.

Nascimento D.M.C. 2007. **Dinâmica de ocupação dos processos naturais da planície costeira de Belmonte e Canavieiras (Bahia) e suas implicações para a elaboração de um zoneamento ambiental: uma contribuição à gestão da zona costeira**. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. 329 p.

Nascimento L., Bittencourt A.C.S.P., Santos A.N., Dominguez J.M.L. 2007. Deriva Litorânea ao Longo da Costa do Cacau, Bahia: Repercussões na Geomorfologia Costeira. **Revistas Pesquisas em Geociências**. 34(2):45-56.

Oliveira M.Q.C. 1999. **Impacto de mudanças no uso do solo nas características hidrossedimentológicas da bacia hidrográfica do rio Joanes e sua repercussão na zona costeira**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Bahia, 94 p.

Oliveira M.Q.C., Medeiros Y.D.P., Dominguez J.M.L. 2004. Hydrologic modeling of Jequitinhonha river basin (Brazil). **Resumos**. Simposio Internazionale di Ingegneria Ambientale Taormina SIDISA. 23-26 Giugno.

Prodanoff J.H.A. 1996. **Método Simplificado de Colby**. Versão 0.2. Furnas Centrais Elétricas.

Queiroz I.G. 2003. **Produção de sedimentos e alterações no regime hidrossedimentológico da bacia hidrográfica do rio Mucuri – repercussão na zona costeira**. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em Geologia, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, 109 p.

Saito Y., Yang Z., Hori K. 2001. The Huanghe (Yellow River) and Changjiang (Yangtze River) deltas: a review on their characteristics, evolution and sediment discharge during the Holocene. **Geomorphology** 41: 219–231.

Santos M. 2004. **Expedição Jequitinhonha: relatório**. Núcleo de Estudos e Pesquisas da Escola do Legislativo. Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.almg.gov.br/bancoconhecimento/Monografias/Relatorio%20Jequitinhonha.pdf>. Acessado em: outubro, 2005.

Schmidt F. 2002. **Extension ArcView Topocrop**. Disponível em: <http://www.fs-privat.de/diss.htm> ou <http://arcscripsts.esri.com/details.asp?dbid=12527>. Acessado em: outubro de 2007.

Silva A.M.; Schulz H.E.; Camargo P.B. 2007. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos: Rima. 2ª edição. 158 p.

Sokolonski H.H., Gonçalves R.N., Marques N.G. 1999. Uso da terra na bacia do rio Jequitinhonha. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27. Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, **Resumos**.

Souza W.F.L. & Knoppers B. 2003. Fluxos de água e sedimentos a costa leste do Brasil: Relações entre a tipologia e as pressões antrópicas. **Geochimica Brasiliensis**, 17: 57-74.

Stein D.P.; Donzelli P.L.; Gimenez A.F.; Ponçano W.L.; Lombardi Neto F. 1987. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na Bacia do Peixe – Paranapanema . 4ª Simpósio Nacional de Controle de Erosão. 15 a 19 de fevereiro. Marília – São Paulo. **Anais**.

SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. 1977. **Mapa de Vegetação e Solos**. Folha SD 24-Z-C IV. Escala 1:100.000. Digitalizado pela SEI - SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia 2003.

Suguio K., Martin L., Dominguez J.M.L. 1982. Evolução da planície costeira do rio Doce (ES) durante o Quaternário: influência das flutuações do nível do mar. **Atas do IV Simpósio do Quaternário no Brasil**, 93-116.

Suguio K., Martin L., Bittencourt A.C.S.P, Dominguez J.M.L., Flexor J.M, Azevedo A.E.G. 1985. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário Superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. **Rev Bras. Geoc.**, 15: 273-286.

Syvitski J.P.M. 2003. Supply and flux of sediment along hydrological pathways: research for the 21st century. **Global and Planetary Change**, 39: 1-11.

Tanabe S., Saito Y., Vu Q.L., Hanebuth T.J.J., Ngo Q.L., Kitamura A. 2006. Holocene evolution of the Song Hong (Red River) delta system, northern Vietnam. **Sedimentary Geology**, 187: 29-61.

Thieler E.R., Pilkey O.H., Young R.S., Bush D.M., Chai F. 2000. The use of mathematical models to predict beach behavior for U.S. Coastal Engineering: a critical review. **Journal of Coastal Research** 16(1): 48-70.

Touzani A. & Giresse P. 2002. The Rhône River Prodelta: Short-Term ( $10^0$ - $10^3$  Year) Sedimentation Patterns and Human Impact, **Journal of Coastal Research** 18(1): 102 -117.

Transportes. 2009. Ministério dos Transportes. **Informações sobre as principais barragens do Brasil**. Disponível em: <http://www.transportes.gov.br/bit/barragens/barragens.htm>. Acessado em: 2008.

USGS – United States Geological Survey. 1992. **Map of Soil and Vegetation**. Escala 1:5000.000. Disponível em: <http://na.unep.net/datasets/datalist.php>. Acessado em: outubro de 2005.

USGS - United States Geological Survey. 2007. **The National Map Seamless Server**. Disponível em: <http://seamless.usgs.gov/>. Acessado em: outubro de 2005.

Walling D.E. 1983. The sediment delivery problem. **Journal of Hydrology**, 65: 209-287.

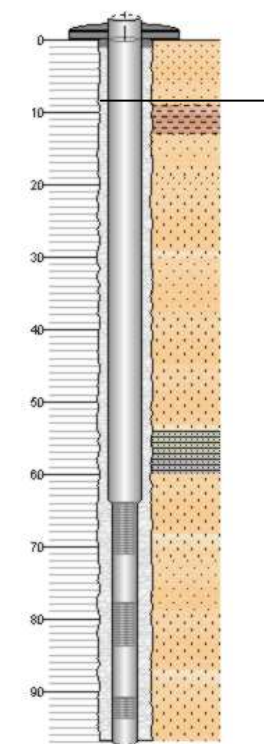
Wischmeier W.H. & Smith D.D. 1978. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook N° 537. Washington, 57 p.

Yang S.L., Zhao Q.Y., Belkin I.M. 2002. Temporal variation in the sediment load of the Yangtze river and the influences of human activities. **Journal of Hydrology**, 263: 56-71.

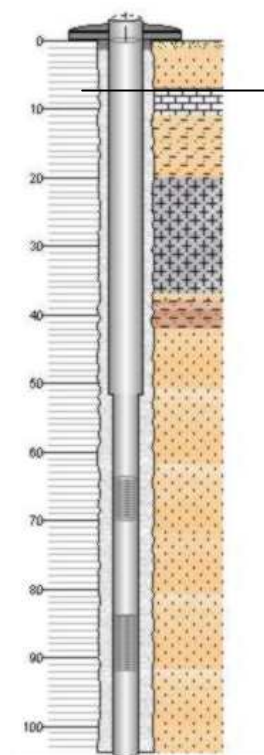
*ANEXOS*



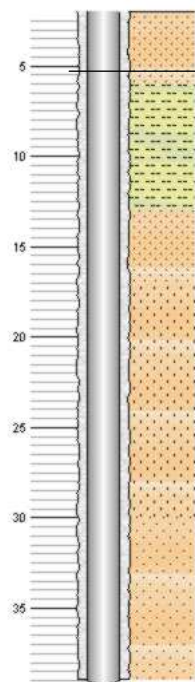
## ANEXO 1



Lito01	0-6 Areia fina, cinza amarelada.
Lito02	6-9 Areia média, cinza amarelada.
Lito03	9-13 Argila escura.
Lito04	13-17 Areia média, cinza esbranquiçada.
Lito05	17-19 Areia grossa, amarela.
Lito06	19-21 Areia fina, cinza clara.
Lito07	21-30 Areia grossa, argilosa.
Lito08	30-38 Areia média, pouco argilosa.
Lito09	38-45 Areia grossa, argilosa.
Lito10	45-54 Areia grossa, cinza esbranquiçada.
Lito11	54-60 Folhelho arenoso, cinza esverdeado.
Lito12	60-72 Areia grossa, cinza clara, friável.
Lito13	72-79 Areia média, cinza clara, friável.
Lito14	79-97 Areia grossa a média, mal selec., cinza esbranquiçada, friável.
Nome	B1
Ponto	2900001830
UF	BA
Município	Belmonte
Local	SEDE I
Latitude	15° 52' 52" S
Longitude	38° 53' 29" W
Profundidade	97m

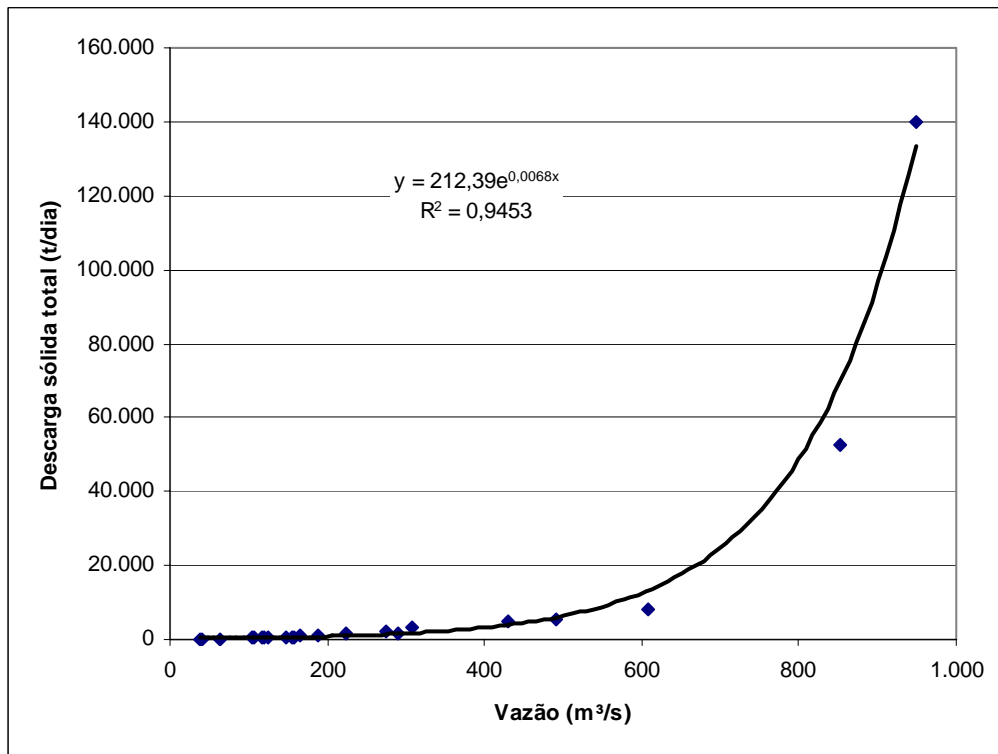
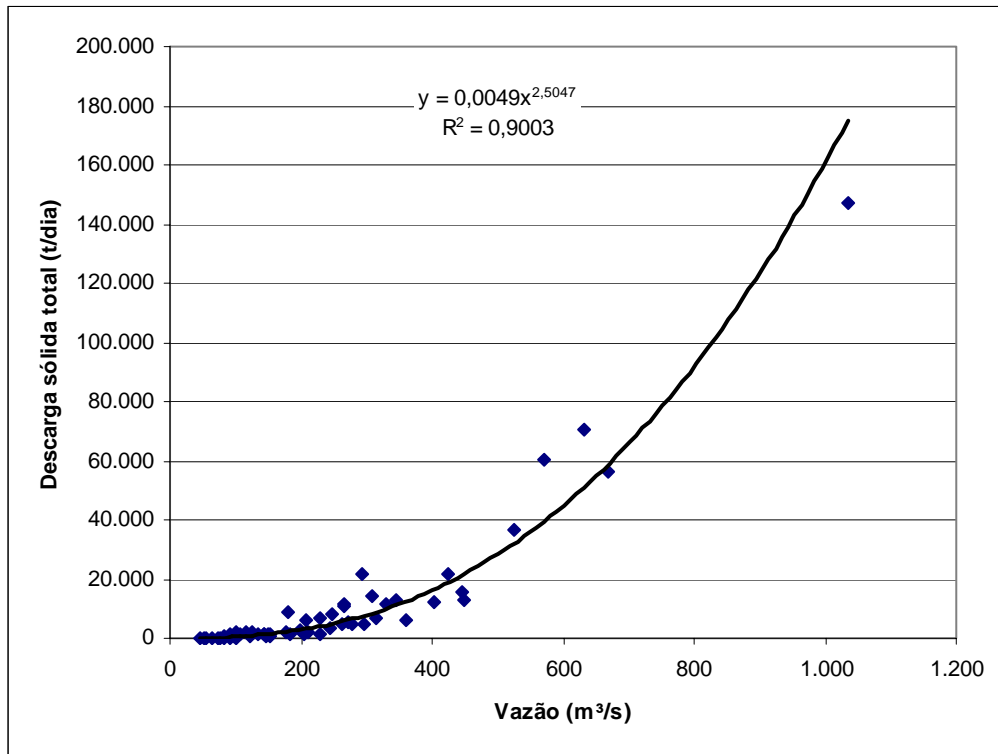


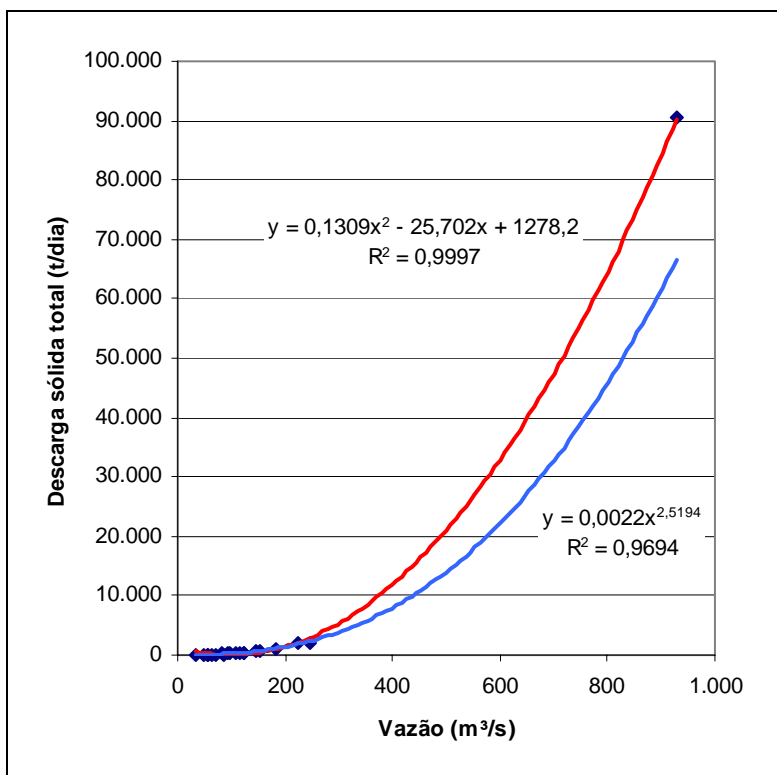
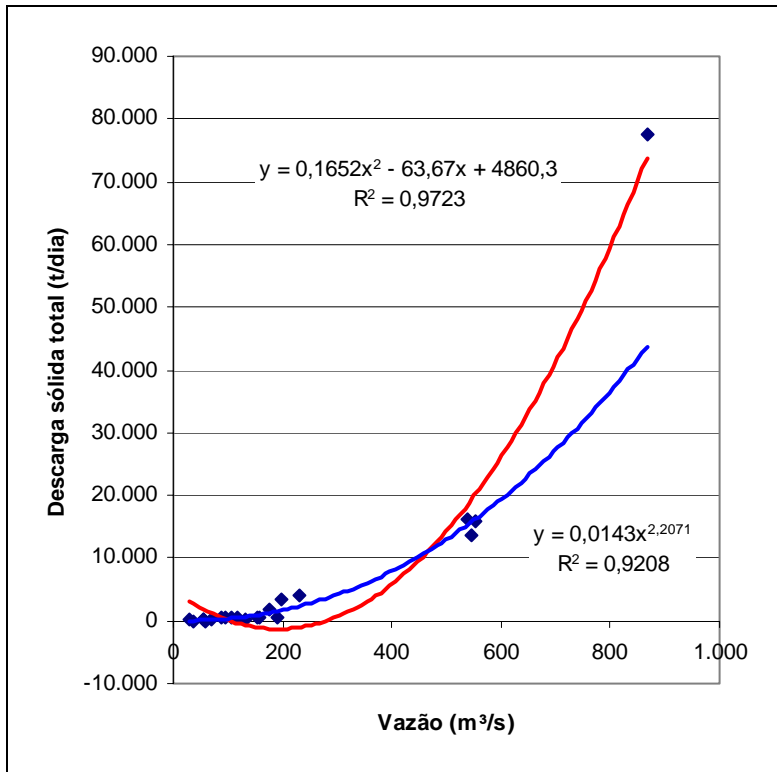
Lito01	0-1 Solo
Lito02	1-2 Areia média a grossa, cinza amarelada.
Lito03	2-7 Areia grossa, cinza amarelada.
Lito04	7-11 Rocha calcífera, arenosa.
Lito05	11-15 Areia argilosa, grossa.
Lito06	15-20 Areia grosseira, matriz argilosa.
Lito07	20-37 Rocha arenosa, c/ seixos de quartzo.
Lito08	37-38 Areia grosseira, amarelada.
Lito09	38-42 Argila arenosa.
Lito10	42-72 Areia grosseira, cinza esbranquiçada, c/finas intercalações de argila.
Lito11	72-100 Areia grosseira, cinza esbranquiçada.
Lito12	100-104 Areia grossa, cinza esbranquiçada.
Nome	B2
Ponto	2900001856
UF	BA
Município	Belmonte
Local	SEDE II
Latitude	15° 52' 4" S
Longitude	38° 54' 3" W
Profundidade	104m

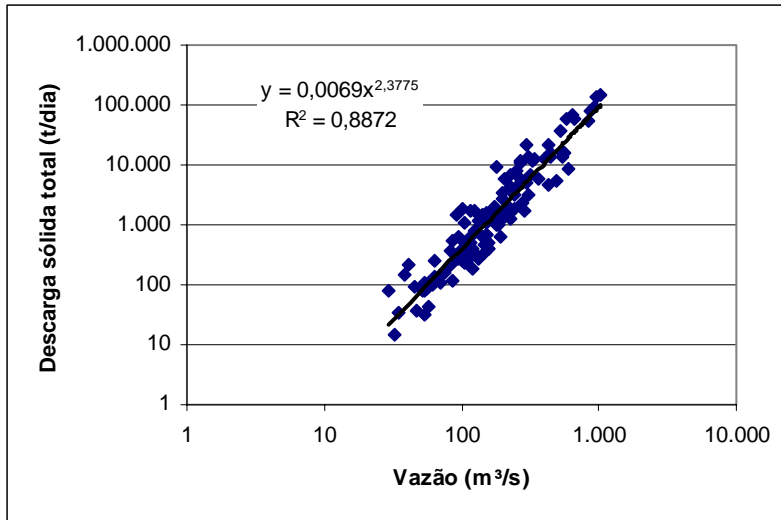


Lito01	0-6 Areia fina, cinza amarelada.
Lito02	6-13 Silte argiloso, cor cinza.
Lito03	13-17 Areia fina, cor cinza.
Lito04	17-30 Areia grossa, cinza.
Lito05	30-40 Areia média, esbranquiçada.
Lito06	40-45 Folhelho arenoso, cinza esverdeado.
Lito07	45-51 Areia média, matriz siltosa, cor cinza.
Lito08	51-57 Folhelho arenoso, cinza esverdeado.
Lito09	57-97 Areia média, com níveis grosseiros de arenito recristalizado, cor cinza.
Nome	B3
Ponto	2900000138
UF	BA
Município	Belmonte
Local	SEDE III
Latitude	15° 52' 48" S
Longitude	38° 54' 39" W
Profundidade	97m

## ANEXO 2







# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)