

**ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DO LAGO GUAÍBA**  
**CONTRATO Nº 22/2018**

**PRODUTO 05 - RELATÓRIO DE CENÁRIOS FUTUROS DE MUDANÇAS  
CLIMÁTICAS E ALTERAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO A PARTIR DA  
MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO  
LAGO GUAÍBA**

**REALIZAÇÃO:**



**GOVERNO DO ESTADO**  
**RIO GRANDE DO SUL**  
SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE  
E INFRAESTRUTURA

**EXECUÇÃO:**



**RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTAIS**  
ENGENHARIA

**CURITIBA - PR**  
**NOVEMBRO/2019**

**ESTUDO HIDROSEDIMENTOLÓGICO DO LAGO GUAÍBA**

**CONTRATO Nº 22/2018**

**Emissão Inicial**

Rev.	Data	Elaborado por	Verificado por	Autorizado por	CREA Responsável Técnico	CE
3	18/11/2019	HOF; RBR; KK; TM; JG	AP	CSG	67059-D	AF
2	29/10/2019	HOF; RBR; KK; TM; JG	AP	CSG	67059-D	AE
1	27/08/2019	HOF; RBR; KK	AP; LMC	CSG	67059-D	AE
0	24/06/2019	HOF; RBR; KK	AP; LMC	CSG	67059-D	VS

**CE – Códigos de emissão**

**AE** Aprovado para emissão    **AF** Aprovação final    **VS** Versão preliminar    **CD** Cancelado

**GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL  
SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (SEMA/RS)**

Av. Borges de Medeiros, nº 261, 14º andar  
Centro Histórico, Porto Alegre – RS – Brasil

**Secretário de Estado do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**  
Artur Lemos Júnior

**Fiscal titular de acompanhamento e execução do contrato**  
Amanda Wajnberg Fadel

**Fiscal suplente de acompanhamento e execução do contrato**  
Fernando Comerlato Scottá

## **RHA ENGENHARIA E CONSULTORIA SS LTDA**

Rua Voluntários da Pátria, 400 – 14º andar  
CEP 80020-000 - Centro - Curitiba - PR - Brasil  
Tel./Fax +55 41 3232 0732 - [www.rhaengenharia.com.br](http://www.rhaengenharia.com.br)

### **REPRESENTANTE LEGAL**

#### **Candice Schauffert Garcia**

Engenheira Civil  
Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental  
[csgarcia@rhaengenharia.com.br](mailto:csgarcia@rhaengenharia.com.br)

### **EQUIPE PERMANENTE**

#### **Coordenadora Geral, Técnico e Administrativo**

Eng.<sup>a</sup> Civil, M.Sc., Candice Schauffert Garcia

#### **Engenheiro de Recursos Hídricos 1**

Eng.<sup>o</sup> Civil, M.Sc., Laertes Munhoz da Cunha

#### **Engenheiro de Recursos Hídricos 2**

Eng.<sup>a</sup> Civil, M.Sc., Márian da Costa Rohn

#### **Coordenadora Executiva**

Eng.<sup>a</sup> Ambiental, Esp., Andréia Pedroso

#### **Técnica em Sistemas de Informações Geográficas**

Geógrafa Karine Krunn

#### **Auxiliar Administrativo**

Veridiana Dias da Cruz

### **EQUIPE COMPLEMENTAR**

Físico, Dr., José Eduardo Gonçalves

Oceanógrafa, M.Sc., Tábata Fernanda Vilas Boas de Miranda

Engenheiro Ambiental, M.Sc., Hugo de Oliveira Fagundes

Engenheira Ambiental, Renata Barão Rossoni

Estagiária em Geografia Thais Regina Paes

## DADOS CONTRATUAIS

Contrato nº 22/2018 de 17 de setembro de 2018.

Número do processo administrativo eletrônico: 18/0500-0000570-8.

Ordem de Início dos Serviços nº CT-0290 de 13/11/2017.

Partes: Estado do Rio Grande do Sul, por intermédio da Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, e RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda.

Objeto: Contratação de serviços de empresa especializada para prestação de serviços de Estudo Hidrossedimentológico do Lago Guaíba.

Vigência: 06 meses a partir da data definida na Ordem de Início dos Serviços (com aditamento de prazo de 06 meses).

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MODELAGEM DO CENÁRIO DE USO DO SOLO .....	12
FIGURA 2: VARIÁVEIS ESTÁTICAS CONSIDERADAS NA MODELAGEM .....	13
FIGURA 3. COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS DE RESPOSTA HIDROLÓGICA POR CLASSE. 23	
FIGURA 4. LOCALIZAÇÃO DOS CONTORNOS DO MODELO DO BAIXO JACUÍ.....	32
FIGURA 5. LOCALIZAÇÃO DOS CONTORNOS DO MODELO DO LAGO GUAÍBA .....	33
FIGURA 6. LOCALIZAÇÃO ÁREAS DE MINERAÇÃO MODELO HIDRODINÂMICO BAIXO JACUÍ .....	35
FIGURA 7. LOCALIZAÇÃO ÁREAS DE MINERAÇÃO MODELO HIDRODINÂMICO DO LAGO GUAÍBA .....	35
FIGURA 8. LOCALIZAÇÃO PONTOS DE OBSERVAÇÃO – CENÁRIOS MÓDULO II.....	37
FIGURA 9. LOCALIZAÇÃO PONTOS DE OBSERVAÇÃO – CENÁRIOS MÓDULO III.....	37
FIGURA 10. HIDROGRAMA REPRESENTANDO OS CENÁRIOS DE VAZÃO SIMULADOS PELO MODELO MGB PARA O DELTA DO JACUÍ .....	40
FIGURA 11. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E USOS DO SOLO PARA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO.....	42
FIGURA 12. CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EXTREMO SUPERIOR PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL, VARIANDO OS CENÁRIOS DE USO DO SOLO, NO BAIXO JACUÍ .....	44
FIGURA 13. CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS MAIS PROVÁVEL PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL, VARIANDO OS CENÁRIOS DE USO DO SOLO, NO BAIXO-JACUÍ.....	45
FIGURA 14. CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EXTREMO INFERIOR PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL, VARIANDO OS CENÁRIOS DE USOS DO SOLO .....	46
FIGURA 15. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E USOS DO SOLO PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL.....	47
FIGURA 16. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO HISTÓRICO - COM MINERAÇÃO DESCARGA LÍQUIDA = 12288,44 m <sup>3</sup> /s .....	50
FIGURA 17. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUI – CENÁRIO HISTÓRICO – COM MINERAÇÃO .....	51
FIGURA 18. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO – CJ_SG.....	52
FIGURA 19. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO – CJ_SG .....	53
FIGURA 20. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO HISTÓRICO - SEM MINERAÇÃO DESCARGA LÍQUIDA = 13720,97 m <sup>3</sup> /s .....	54
FIGURA 21. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO HISTÓRICO – SEM MINERAÇÃO .....	54
FIGURA 22. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO – SJ_SG .....	55
FIGURA 23. MAPA DE EROÇÃO / SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO – SJ_SG.....	56
FIGURA 24. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUI – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO – SEM MINERAÇÃO – DESCARGA LIQUIDA = 14115,84 m <sup>3</sup> /s.....	58
FIGURA 25. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUI – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO – SEM MINERAÇÃO .....	59
FIGURA 26, MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAIBA – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO – SJ_CG DESCARGA LÍQUIDA = 26673,00 m <sup>3</sup> /s.....	60
FIGURA 27. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO – SJ_CG .....	61
FIGURA 28. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO – DESCARGA LÍQUIDA = 13552 m <sup>3</sup> /s.....	64

FIGURA 29. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO .....	64
FIGURA 30. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ_SG – DESCARGA LÍQUIDA = 23698,2 m <sup>3</sup> /s.....	65
FIGURA 31. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ_SG .....	66
FIGURA 32. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO – DESCARGA LÍQUIDA = 13552 m <sup>3</sup> /s.....	67
FIGURA 33. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO .....	67
FIGURA 34. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ_CG – DESCARGA LÍQUIDA = 23698,2 m <sup>3</sup> /s .....	68
FIGURA 35. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ_CG.....	69
FIGURA 36. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – SEM MINERAÇÃO – DESCARGA LÍQUIDA = 13552 m <sup>3</sup> /s.....	70
FIGURA 37. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – SEM MINERAÇÃO .....	70
FIGURA 38. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – SJ_CG – DESCARGA LÍQUIDA = .....	71
FIGURA 39. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – SJ_CG .....	72
FIGURA 40. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO A_MINERAÇÃO – CENÁRIOS HISTÓRICOS.....	73
FIGURA 41. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO A_MINERAÇÃO – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO .....	74
FIGURA 42. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO A_MINERAÇÃO – CENÁRIOS TENDENCIAIS.....	74
FIGURA 43. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO JUSANTE – CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	75
FIGURA 44. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO JUSANTE – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO.....	75
FIGURA 45. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO JUSANTE – CENÁRIOS TENDENCIAIS.....	76
FIGURA 46. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO MONTANTE – CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	76
FIGURA 47. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO MONTANTE – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO.....	77
FIGURA 48. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO MONTANTE – CENÁRIOS TENDENCIAIS.....	77
FIGURA 49. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA_G_3 – CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	78
FIGURA 50. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA_G_3 – CENÁRIOS TENDENCIAIS E DESFLORESTAMENTO .....	78
FIGURA 51. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA_G – CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	79
FIGURA 52. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA_G – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO.....	79
FIGURA 53. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA_G – CENÁRIOS TENDENCIAIS.....	80
FIGURA 54. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO DEPOSIÇÃO – CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	80

FIGURA 55. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO DEPOSIÇÃO – CENÁRIOS TENDENCIAIS E DESFLORESTAMENTO .....	81
FIGURA 56. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO EROÇÃO – CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	81
FIGURA 57. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO EROÇÃO – CENÁRIOS TENDENCIAIS E DESFLORESTAMENTO .....	82
FIGURA 58. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO LAMA_3 – CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	82
FIGURA 59. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO LAMA_3 – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO .....	83
FIGURA 60. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO LAMA_3 – CENÁRIOS TENDENCIAIS .....	83

### LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CLASSES DE USO DO SOLO ENCONTRADAS NO RECORTE ESPACIAL DE ESTUDO .....	14
TABELA 2. TRANSIÇÕES CONSIDERADAS NA MODELAGEM DO CENÁRIO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	14
TABELA 3. RESULTADO DO TESTE SIMILARIDADE .....	18
TABELA 4. RECLASSIFICAÇÃO DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	19
TABELA 5. AGRUPAMENTO DAS CLASSES DE SOLOS .....	20
TABELA 6. COMPARAÇÃO DE ÁREAS ENTRE OS CENÁRIOS DE RESPOSTA HIDROLÓGICA POR CLASSE .....	22
TABELA 7. COMPARAÇÃO DE ÁREAS ENTRE OS CENÁRIOS DE RESPOSTA HIDROLÓGICA POR SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	24
TABELA 8. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO DO MGB .....	30
TABELA 9. RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS COM O DELFT3D.....	31
TABELA 10. CARACTERÍSTICAS ÁREAS DE DRAGAGEM MODELO BAIXO JACUÍ.....	36
TABELA 11. CARACTERÍSTICAS ÁREAS DE DRAGAGEM MODELO LAGO GUAÍBA .....	36
TABELA 12. ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA AS SÉRIES DE DESCARGAS LÍQUIDAS SIMULADAS NO CENÁRIO ATUAL (1975-2015) E NOS CENÁRIOS FUTUROS (2016-2030) DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONJUNTO COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS DE SOLO PARA O CONTORNO DO BAIXO JACUÍ.....	38
TABELA 13. ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA AS SÉRIES DE DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NO CENÁRIO ATUAL (1975-2015) E NOS CENÁRIOS FUTUROS (2016-2030) DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONJUNTO COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS DE SOLO PARA O DELTA DO RIO JACUÍ.....	41
TABELA 14. ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA AS SÉRIES DE DESCARGA SÓLIDA TOTAL NO CENÁRIO ATUAL (1975-2015) E NOS CENÁRIOS FUTUROS (2016-2030) DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONJUNTO COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS DE SOLO PARA O CONTORNO DO BAIXO JACUÍ.....	43
TABELA 15. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA LÍQUIDA – MÓDULO II – CENÁRIO HISTÓRICO .....	49
TABELA 16. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA SÓLIDA – MÓDULO II – CENÁRIO HISTÓRICO .....	49
TABELA 17. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III - CENÁRIO HIST_CJ_SG_NHist.....	49



TABELA 18. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III – CENÁRIO HIST_SJ_SG_NHist.....	49
TABELA 19. VALORES MÁXIMO, MÉDIO E MÍNIMO DA SÉRIE TEMPORAL DE NÍVEL – CONTORNO LAGUNA DOS PATOS – MÓDULO III - CENÁRIO HISTÓRICO .....	49
TABELA 20. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA LÍQUIDA – MÓDULO II – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO.....	57
TABELA 21. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA SÓLIDA – MÓDULO II – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO.....	57
TABELA 22. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO .....	57
TABELA 23. VALORES MÁXIMO, MÉDIO E MÍNIMO DA SÉRIE TEMPORAL DE NÍVEL – CONTORNO LAGUNA DOS PATOS – MÓDULO III – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO.....	57
TABELA 24. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA LÍQUIDA – MÓDULO II – CENÁRIO TENDENCIAL.....	62
TABELA 25. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA SÓLIDA – MÓDULO II - CENÁRIO TENDENCIAL .....	62
TABELA 26. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III - CENÁRIO MP COM MINERAÇÃO NO BAIXO JACUÍ.....	62
TABELA 27. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III - CENÁRIO MP SEM MINERAÇÃO NO BAIXO JACUÍ.....	63
TABELA 28. VALORES MÁXIMO, MÉDIO E MÍNIMO DA SÉRIE TEMPORAL DE NÍVEL – CONTORNO LAGUNA DOS PATOS – MÓDULO III - CENÁRIO MP_At_CJ_SG_NHist.....	63
TABELA 29. TAXAS DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO AO ANO CENÁRIOS – MÓDULO II.....	84
TABELA 30. TAXAS DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO AO ANO CENÁRIOS – MÓDULO III.....	84

**SUMÁRIO**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>11</b>
2.1	USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	11
2.1.1	Definição das variáveis	12
2.1.2	Calibração	14
2.1.3	Validação	17
2.1.4	Cenário de uso e ocupação solo mais provável	18
2.1.5	Cenário de uso e ocupação do solo para máximo de desflorestamento	20
2.1.6	Cenário de uso e ocupação do solo para máximo de florestamento	21
2.1.7	Quantificação dos resultados	21
2.2	MUDANÇAS CLIMÁTICAS	29
2.3	CENÁRIOS FUTUROS – MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA	30
2.4	CENÁRIOS FUTUROS – MODELAGEM HIDRODINÂMICA	31
2.4.1	Cenários	31
2.4.2	Condições de Contorno	32
2.4.3	Mineração	33
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>38</b>
3.1	USOS DO SOLO	38
3.2	MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA	38
3.2.1	Descarga Líquida	38
3.2.2	Descarga Sólida em Suspensão	40
3.2.3	Descarga Sólida Total	42
3.3	MODELAGEM HIDRODINÂMICA	48
3.3.1	Cenários Históricos	48
3.3.2	Cenário Desflorestamento	56
3.3.3	Cenários Tendenciais	61
3.3.4	Taxas de erosão/sedimentação	72
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>85</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>87</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>89</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, as atividades antrópicas têm gerado impactos diversos de ordem econômica, social e ambiental. Dentre as alterações mais significativas, destacam-se as mudanças de uso e ocupação do solo e as mudanças climáticas.

As alterações de uso e ocupação do solo provocam a mudança do quadro cênico natural, mas também resultam em impactos diretos na produção de água e de sedimentos nas bacias hidrográficas. Desde a remoção da vegetação até o revolvimento mecânico do solo para plantios e extração de matéria prima existe o aumento do potencial de carreamento dos sedimentos para os cursos de água. A impermeabilização do solo faz com que a infiltração seja diminuída, aumentando o escoamento superficial que também implica diretamente no carreamento de sólidos para os cursos de água.

As mudanças climáticas têm sido estudadas por décadas por cientistas ao redor do mundo, sendo um assunto complexo e muitas vezes sem consenso sobre as condições futuras de temperatura e precipitações. Apesar disso, o Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC - *International Panel on Climate Change*), a partir de informações geradas relativas ao clima e suas alterações, tem reportado e destacado a importância de se considerar as mudanças climáticas em âmbito mundial. Essas considerações são muito importantes do ponto de vista da gestão dos recursos hídricos e de bacia hidrográfica. O estudo de Schuster (2019), que analisou os impactos das mudanças climáticas na Região Hidrográfica do Lago Guaíba, simulou cenários nos quais foi apontada uma tendência ao aumento de vazões nessa região.

Dessa forma, buscou-se no presente relatório estudar diferentes cenários futuros que combinem tanto as mudanças climáticas quanto as mudanças no uso e ocupação do solo, a fim de subsidiar a tomada de decisões na Região Hidrográfica do Lago Guaíba. Os estudos foram realizados a partir de simulações hidrossedimentológicas de toda a região hidrográfica e de simulações hidrodinâmicas do Baixo Jacuí e do Lago Guaíba. Os cenários futuros avaliados incluíram tanto cenários tendenciais quanto cenários que implicariam na maior (aumento das precipitações e redução da cobertura vegetal) e menor (diminuição das precipitações e aumento da cobertura vegetal) produção de sedimentos para o período de 2016 a 2030.

Os cenários futuros diferem daqueles propostos inicialmente no Termo de Referência (TR) da contratação deste estudo, pois após discussões entre as equipes técnicas (RHA e SEMA), entendeu-se que se faziam necessárias modificações a fim de cumprir de forma mais efetiva os objetivos propostos no projeto. Com isso, estabeleceu-se cenários que almejavam representar condições tendenciais e extremas (para mais e para menos) de mudanças climáticas e de uso e cobertura do solo. Além disso,

considerando as diversas incertezas dos métodos e dos dados, a disponibilidade de dados e informações para entrada nos modelos e a viabilidade de execução do projeto, optou-se por realizar simulações que representassem o horizonte de tempo do presente (2015-2020) e do futuro próximo (2020-2030) ao invés de abarcar todo o período proposto no TR (2010-2050). Menciona-se ainda que, devido à indisponibilidade de dados previstos de serem fornecidos pela Contratante (segundo estabelecido no TR), realizou-se uma modelagem para representar as condições futuras de uso e cobertura do solo.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A fase de elaboração dos cenários de uso e ocupação do solo objetivou a construção de três simulações para o ano de 2030, considerando: i. cenário mais provável (tendencial); ii. cenário para o máximo desflorestamento; iii. cenário para o máximo florestamento. O cenário mais provável ou tendencial refere-se à alteração de uso do solo observada nas paisagens atuais, cujas taxas de alteração são contíguas até 2030. No cenário para o máximo desflorestamento, considera-se um cenário pessimista para o ritmo de perdas florestais na Região Hidrográfica do Lago Guaíba, reduzindo-se 30% de florestas do cenário mais provável. O cenário de máximo florestamento, por sua vez, compreende a reversão dos cenários anteriores, com a suposição de manutenção e/ou florestamento das áreas de preservação permanente (APP) na região hidrográfica.

Para elaboração dos cenários i e ii, utilizou-se o *software* DINAMICA EGO (Environment for Geoprocessing Objects), que consiste em uma plataforma de modelagem da dinâmica da paisagem, com tipologia estocástica que faz uso do método bayesiano de pesos de evidência para o cálculo das potenciais mudanças de paisagem. Adicionalmente, esse método emprega probabilidades condicionais para determinação das mudanças/transições ocorridas entre classes de uso do solo, conforme a presença/ausência de uma variável (LIMA et al., 2013). Já o cenário iii não foi elaborado por vias da modelagem ambiental, mas por processamento em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG).

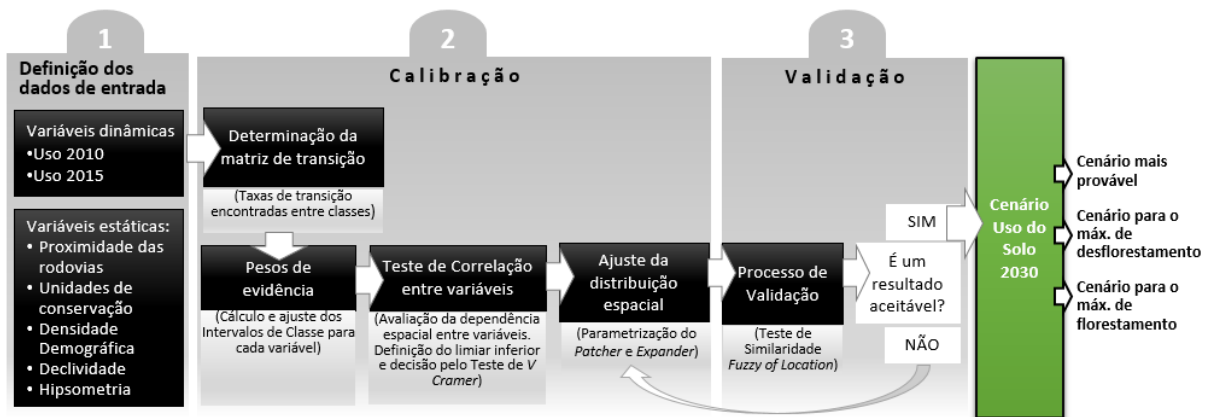
A modelagem das mudanças do uso e ocupação do solo é um instrumento significativo para a análise da paisagem e planejamento, uma vez que permite a compreensão da dinâmica das atividades humanas e os efeitos a ela associadas, por meio de projeções definidas por modelagem matemática (GOMES, 2013). Assim, a plataforma DINAMICA EGO apresenta-se como modelador dinâmico adotado para a simulação dos cenários do uso e ocupação do solo na área de estudo.

O modelo espacial é baseado na probabilidade de transição dos pixels (SOARES-FILHO et al., 2009), considerando as relações entre os determinantes de mudança do uso do solo nos pixels que

tiveram transições. Para tanto, utiliza-se do método dos autômatos celulares para efetuar a alocação das alterações, conforme a distribuição das probabilidades lognormais.

Pode-se dizer, didaticamente, que para a construção do modelo de simulação do cenário de uso do solo para o ano de 2030 (cenário mais provável), é necessária a execução de três etapas, sendo elas: i. definição das variáveis, ii. Calibração e iii. validação, conforme ilustra a FIGURA 1. Os itens a seguir apresentam com mais detalhes as etapas deste processo.

FIGURA 1: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE MODELAGEM DO CENÁRIO DE USO DO SOLO

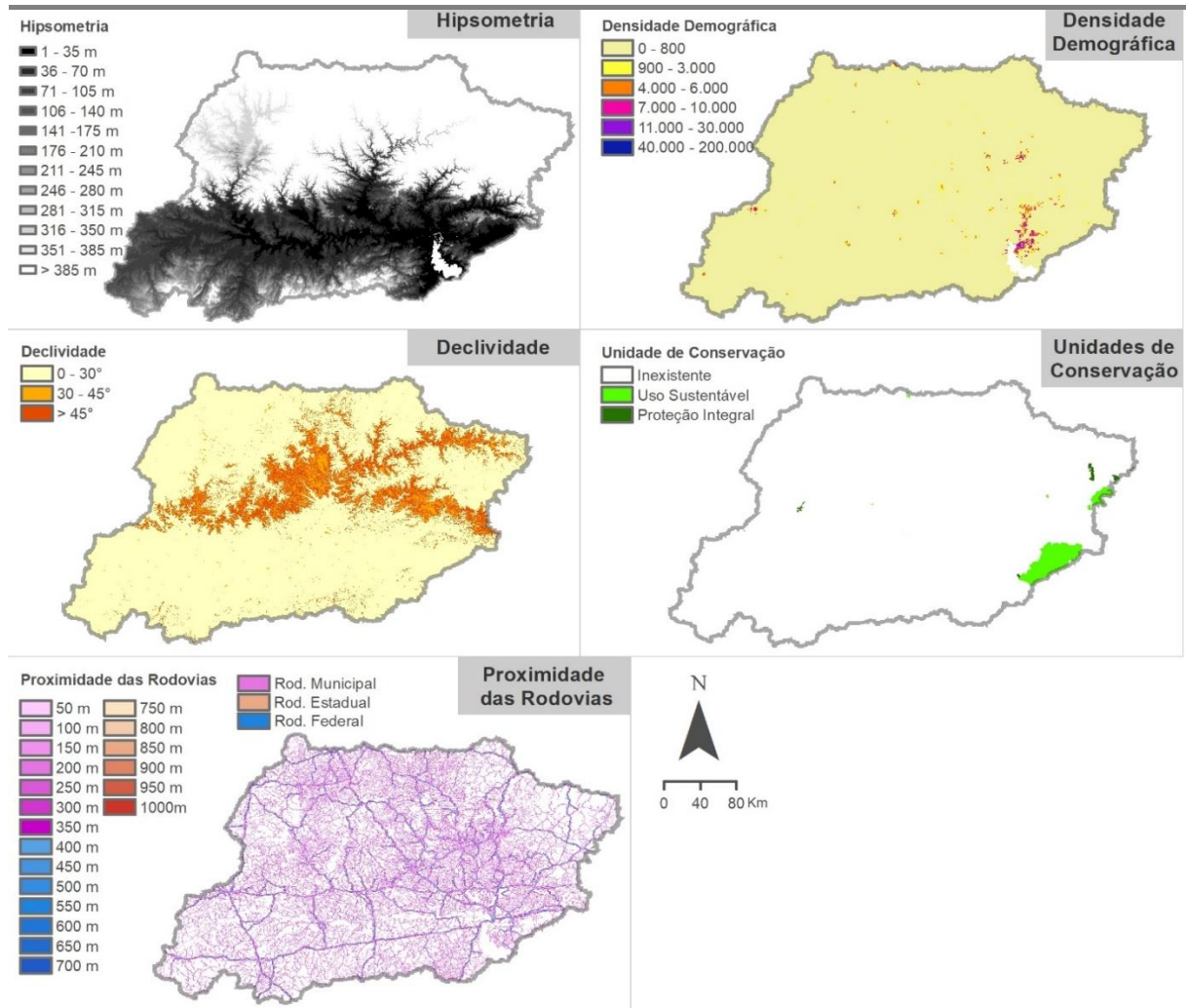


### 2.1.1 Definição das variáveis

Em termos gerais, o desenvolvimento da modelagem perpassa inicialmente em ambiente externo, especialmente em SIG, com o processamento dos dados de entrada, tanto das variáveis dinâmicas, referentes à paisagem inicial e final (paisagem de calibração), quanto das variáveis estáticas, referentes às variáveis/fatores relacionados a transições na paisagem.

Neste estudo, foram consideradas variáveis estáticas e dinâmicas, representadas espacialmente por meio de uma estrutura matricial em formato *raster*. As variáveis estáticas são aquelas consideradas relevantes para a alteração ou não da cobertura/uso. No presente estudo, como variável estática, considerou-se: declividade, altimetria, densidade demográfica, rodovias, unidades de conservação. Para leitura dessas variáveis, o DINAMICA EGO requer que estes arquivos *rasters* sejam compactados para dentro de uma estrutura de arquivo, chamado “*cubo raster*”. A FIGURA 2 apresenta as variáveis estáticas consideradas na modelagem.

FIGURA 2: VARIÁVEIS ESTÁTICAS CONSIDERADAS NA MODELAGEM



As variáveis dinâmicas são os dados espaciais que possuem variação espaço/temporal que se almeja investigar. Para o objetivo atual, as variáveis dinâmicas referem-se à Coleção 3 de mapeamentos de uso e cobertura do solo desenvolvido pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MAPBIOMAS), para os anos de 2010 e 2015. O ano de 2010 foi considerado como cenário inicial e o ano de 2015 como cenário final e base para a calibração e parametrização do modelo. Ressalta-se que entre as 33 classes adotadas pelo MAPBIOMAS, apenas 12 são encontradas na Região Hidrográfica do Lago Guaíba, sendo estas apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1. CLASSES DE USO DO SOLO ENCONTRADAS NO RECORTE ESPACIAL DE ESTUDO

Código (MapBiomas)	Classe de cobertura e uso do solo
3	Formação Florestal
9	Floresta Plantada
11	Área Úmida Natural não Florestal
12	Formação Campestre
15	Pastagem
19	Cultura Anual e Perene
21	Mosaico de Agricultura e Pastagem
24	Infraestrutura Urbana
25	Outra Área não Vegetada
27	Não Observado
29	Afloramento Rochoso
30	Mineração
33	Rio, Lago e Oceano

## 2.1.2 Calibração

A calibração refere-se a toda parametrização da modelagem para geração do cenário mais provável, a qual compreende a determinação da matriz de transição, dos pesos de evidência, avaliação da correlação espacial e ajuste da distribuição espacial dos resultados (*patcher* e *expander*).

### 2.1.2.1 Determinação da matriz de transição

A determinação da matriz de transição requer que sejam definidas as relações entre as classes de uso do solo que terão suas transições avaliadas. No contexto do projeto, definiu estas relações pressupondo-se que a maior possibilidade transição ocorre do meio natural para o meio antrópico. A TABELA 2 apresenta as transições consideradas no estudo.

TABELA 2. TRANSIÇÕES CONSIDERADAS NA MODELAGEM DO CENÁRIO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Classes de uso e ocupação do solo		De												
		Formação florestal	Formação campestre	Área úmida natural	Rio, lago e oceano	Floresta plantada	Cultura anual e perene	Mosaico de agricultura e pastagem	Infraestrutura urbana	Afloramento rochoso	Outra área não vegetada	Não observado	Mineração	Pastagem
Para	Formação florestal						X	X	X		X	X		X
	Formação campestre						X	X	X		X	X		X
	Área úmida Natural						X	X	X		X	X		X
	Rio, lago e oceano													
	Floresta plantada	X	X	X			X	X	X		X	X		X
	Cultura anual e perene	X	X	X			X	X			X	X		X
	Mosaico de agricultura e pastagem	X	X	X			X		X		X	X		X
	Infraestrutura urbana													
	Afloramento rochoso													
	Outra Área não vegetada													
	Não observado													
	Mineração													
Pastagem	X	X	X			X	X	X		X	X			

Após a determinação das classes de uso do solo participantes das análises de transição, o *software* faz o cálculo automático dos percentuais de mudanças entre as classes e permite que este resultado possa ser exportado como uma planilha “.xls”.

### 2.1.2.2 Cálculo dos pesos de evidência

Na sequência, foram calculados os pesos de evidência. Este método baseia-se no teorema de *Bayes* (probabilidade condicional), que envolve a determinação dos intervalos de classe de cada variável, definidos automaticamente (variáveis categóricas) ou pré-definidos (variáveis contínuas).

Nesse processamento, verifica-se a magnitude (peso/coeficiente) da influência dos intervalos de classe de uma variável para a presença ou ausência da alteração. Em si, um peso negativo ( $W^-$ ) indica inibição da transição, um peso positivo ( $W^+$ ) indica favorecimento da transição e o peso nulo ( $W_0$ ) aponta nenhuma influência na transição (SOARES-FILHO et al., 2009). Também se verificou a “significância”, positiva ou negativa, das variáveis em cada transição, referente ao grau de influência de um intervalo de classe em relação aos outros.

Nesse contexto, os ajustes destas funções se referem às adequações estatísticas dos intervalos com relação ao incremento, delta mínimo, máximo e tolerância. O incremento possui unidade de medida igual à da variável, define os intervalos pelos valores de células, com 1,0 como valor mínimo. O delta mínimo e máximo são os limiares do número de células transacionadas por influência de uma variável, enquanto a tolerância é o limiar definidor de um novo intervalo de classe, sendo que quando o número de células transacionadas do intervalo de incremento for superior a este delta máximo, há um novo intervalo.

### 2.1.2.3 Análise da correlação espacial

Após os ajustes dos pesos de evidências, verificou-se a correlação espacial existente entre as variáveis utilizadas. Esta análise é realizada para verificar o grau de associação/dependência espacial entre as variáveis. Neste sentido, um grau de dependência elevada denota uma possível sobreposição temática, ou seja, variáveis comparadas pode estar representando um mesmo fenômeno.

Para realização da análise quantitativa da associação espacial existente entre as variáveis, o *software* DINAMICA EGO fornece o teste estatístico *Cramer (V)*. O teste é uma medida estatística que transforma o qui-quadrado<sup>1</sup> (para uma tabela de contingência maior que duas linhas  $\times$  duas colunas) para um intervalo de 0 a 1, em que um valor unitário indica concordância completa entre as duas variáveis nominais (LIEBETRAU, 1983). Segundo ALMEIDA et. al. (2003), citado pelo manual do

<sup>1</sup> O teste qui-quadrado serve para avaliar quantitativamente a relação entre o resultado de um experimento e a distribuição esperada para o fenômeno. Isto é, ele nos diz com quanta certeza os valores observados podem ser aceitos como regidos pela teoria em questão.



DINAMICA EGO (LIMA et al., 2013; SOARES-FILHO et al., 2009), valores superiores a 0,50 são de alta correlação (alta dependência), entre os pares de mapas analisados e a variável estática que contém a maior quantidade de valores não significativos deverá ser excluída. Assim, de modo a condizer com a bibliografia de referência, este estudo adotou para o índice de *V Cramer* o valor de 0,5 como limiar para a exclusão de variáveis.

A exemplo desta circunstância, em simulação preliminar deste mesmo estudo, definiu-se como participantes as variáveis “densidade demográfica” e “área edificada”. A partir da avaliação de dependência espacial, verificou-se um alto índice de *V Cramer* (maior que 0,5) para estas variáveis. O resultado desta sobreposição temática fazia com que o resultado do modelo simulado (2015) tivesse um acréscimo muito elevado de *pixels* da classe “infraestrutura urbana”, o que não correspondia com a realidade (observando o uso do solo, ano 2015, do MAPBIOMAS). Assim, manteve-se nas simulações posteriores apenas a variável “densidade demográfica”, que obteve resultados mais pertinentes. Adicionalmente, a variável “unidade de conservação”, nas transições “formação campestre para mineração” e “cultura anual e perene para mineração”, foi removida por apresentar alto valor de correlação espacial.

#### 2.1.2.4 Ajuste dos parâmetros do *Patcher* e *Expander*

Após os ajustes realizados, descritos nas etapas citadas acima, executou-se o processamento do modelo, tendo como resultado um mapa de preliminar de uso e ocupação do solo para o ano de 2015. Observou-se no mapa obtido que o resultado espacial era bastante distoante no mapa de referência (uso do solo, ano 2015, do MAPBIOMAS), embora quantitativamente as áreas tivessem boa correspondência.

Para o ajuste espacial do resultado da simulação, o DINAMICA EGO fornece em sua plataforma dois algoritmos denominados *Expander* e *Patcher*. Conceitualmente, o *Patcher* avalia a formação de novas manchas de uma dada classe e o *Expander* comporta o processo de contração e expansão das manchas pré-existentes para a classe (LIMA et al., 2013; SOARES-FILHO et al., 2009).

Os parâmetros atribuídos no *Patcher* e *Expander* correspondem a: *Percent of transitions by expansion*, *Mean Patch Size*, *Patch Variance* e *Patch Isometry*. *Percent of transitions by expansion* refere-se à porcentagem do total de transições desenvolvidas pelas manchas existentes para a transição. *A Mean Patch Size* refere-se ao tamanho médio das manchas da transição. *Patch Variance* é relativa aos diferentes tamanhos da mancha para a transição. *Patch Isometry* refere-se à forma das manchas, sua compactação ou dispersão (grau de fragmentação).

Para a calibração das funções *Patcher* e *Expander* adotou-se a técnica de “tentativa e erro”. Iniciou-se com os valores de “default”, isto é, zero para o percentual de expansão das manchas, 0,81

(valor de uma célula em hectares) para a média do tamanho das manchas, zero para a variância e valor 1,0 para a isometria. Esses valores foram progressivamente modificados até desenvolver-se o produto com melhor similaridade. Os produtos foram mapas de probabilidade de mudanças e os cenários de uso do solo para o ano 2030.

### **2.1.3 Validação**

Esta etapa consiste em certificar a similaridade mínima entre o mapa simulado e o mapa de referência. Assim, primeiramente, de posse do cenário simulado e do cenário real (dado de entrada, uso do solo, ano 2015), fez-se uma comparação visual em ambiente SIG, buscando-se averiguar a correspondência espacial dos resultados.

Após esta etapa, realizou-se a verificação percentual da semelhança pelo método *Fuzzy of Location*<sup>2</sup> fornecido pelo *software* DINAMICA EGO. O processo de validação dos resultados obtidos é realizado por meio da espacialização do percentual de correspondência entre as matrizes. Esta análise aponta para o grau de similaridade entre cenário simulado e o cenário real (dado de uso do solo 2015, usado como entrada de dado).

Para a lógica *Fuzzy of Location*, a representação de uma célula é influenciada por ela mesma e, em menor grau, pelas células vizinhas. Este método associa cada célula a um vetor *crisp* (número exato) que contém as classes de uso, associando-se o valor 1,0 para a classe correspondente e zero para as classes diferentes de si. Quando na comparação das matrizes (real vs. simulado) as células tiverem correspondência, atribui-se o valor 1; quando forem não correspondentes, zero.

Em seu cálculo, o método também considera a pertinência da classe em uma vizinhança de células e a pertinência da classe para a célula vizinha. A pertinência é dada pela distância da célula vizinha, utilizando uma função de decaimento exponencial (RODRIGUES et al., 2007; LIMA et al., 2013; FERRARI, 2008). No método de decaimento exponencial, se um pixel de mudança simulado não é alocado exatamente no mesmo local do pixel de mudança real, é considerado correto se for encontrado os limites da vizinhança da janela de amostragem respectiva, no entanto, tem seu resultado correspondente à distância da célula vizinha (SOARES-FILHO et al., 2009).

A validação dos resultados da simulação se utiliza de janelas de amostragem para realizar a comparação quantitativa de cenários. Esta análise se utiliza de janelas de amostragem com múltiplos tamanhos, geralmente entre um e onze pixels, as quais são limitantes para a extensão em pixels da

---

<sup>2</sup> Os valores Fuzzy são obtidos a partir da distância da célula central até a célula que contém a classe, em questão, na janela de comparação, fazendo uso de uma função e decaimento constante ou exponencial.” (ANDRADE et al, 2016).

vizinhança avaliada na convolução sobre os cenários. Assim, são quantificados os valores mínimos e máximos de similaridade, ou seja, o grau de semelhança, obtidos na comparação entre os cenários, conforme o tamanho da janela de amostragem. Quanto mais próximo a 1 (100%), maior a semelhança entre o cenário simulado e o observado/real.

Segundo estudos semelhantes, como os de ALMEIDA et al. (2003) e MACEDO et al. (2013), os resultados de similaridade *Fuzzy*, com percentuais superiores a 0,45 ou 0,50, podem ser considerados como aceitáveis.

Como resultado de todo o processo de modelagem utilizado, obteve-se para o cenário para 2015 em uma janela de 11x11, um mínimo de similaridade de 78% e máxima similaridade de 80%<sup>3</sup>. A TABELA 3 apresenta o resultado da similaridade para tamanho de janelas menores.

TABELA 3. RESULTADO DO TESTE SIMILARIADADE

Tamanho das janelas ( <i>pixel</i> )	Índice de similaridade <i>Fuzzy of Location</i>	
	Similaridade Mínima	Similaridade Máxima
5x5	47%	58%
7x7	61%	68%
9x9	72%	75%
11x11	79%	80%

Com base nesse percentual e análise espacial do cenário, considerou-se o cenário simulado resultante satisfatório para a validação do modelo, e, portanto, os parâmetros utilizados no mesmo são plausíveis de aplicação para a projeção do uso do solo em 2030.

O resultado espacialização das cenarizações realizadas, dos tipos de uso e cobertura do solo, podem ser visualizadas nos Mapas do APÊNDICE 1.

#### 2.1.4 Cenário de uso e ocupação solo mais provável

O cenário mais provável (tendencial) no ano 2030 visa a representação das possíveis alterações do uso do solo, considerando a maior possibilidade das reversões de classes. Para tanto, corresponde ao resultado da simulação considerando a melhor calibração obtida, conforme descrição realizada nos itens anteriores. No entanto, para que este dado estivesse compatível com o formato de entrada no modelo hidrodinâmico, realizou-se algumas adaptações, conforme apresentam os subitens a seguir.

<sup>3</sup> Perante uma malha amostral de 11 pixels, apresentou-se uma estimativa de acerto de 80%, conforme uma margem de erro máximo, e 78% de erro mínimo. Esse resultado indica que em uma área de 793.881 hectares, 78% a 80% das células do mapa simulado são idênticas ao do mapa de referência.

#### 2.1.4.1 Reclassificação das classes de uso do solo

Conforme já mencionado, as classes de uso do solo e ocupação do solo do cenário de simulação pertencem à Coleção 3 de mapeamentos do MAPBIOMAS. De posse do resultado da simulação, as classes de cobertura e uso do solo oriundas do MAPBIOMAS foram simplificadas, tendo suas classes agrupadas por semelhança hidrológica para a utilização no modelo hidrológico e realização das análises de influência da alteração do uso do solo. A TABELA 4 apresenta a transformação das classes adotadas neste processo<sup>4</sup>.

TABELA 4. RECLASSIFICAÇÃO DAS CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

Código	Classe (original do MapBiomias)	Código	Classe reclassificada
3	Formação Florestal	3	Floresta
9	Floresta Plantada	3	Floresta
11	Área Úmida Natural não Florestal	4	Várzeas e Florestas Inundáveis
12	Formação Campestre	2	Campo
15	Pastagem	1	Agricultura
19	Cultura Anual e Perene	1	Agricultura
21	Mosaico de Agricultura e Pastagem	1	Agricultura
24	Infraestrutura Urbana	5	Áreas Semi-impermeáveis
25	Outra Área não Vegetada	2	Campo
27	Não Observado	2	Campo
29	Afloramento Rochoso	5	Áreas Semi-impermeáveis
30	Mineração	2	Campo
33	Rio, Lago e Oceano	6	Água

#### 2.1.4.2 Reamostragem dos pixels

Após a generalização das classes de uso do solo, o mapa de cenário mais provável teve sua resolução espacial generalizada para 300 metros. Este procedimento foi necessário para preservar a coerência das escalas de análise entre o dado utilizado no Módulo I e o presente resultado.

#### 2.1.4.3 Cruzamento com o mapa de solos

Os cenários de uso e ocupação do solo resultantes, reclassificados e com resolução espacial de 300 metros, foram cruzados com o mapa de solos. Nesse processo, reduz-se a complexidade da bacia hidrográfica, pela elaboração das Unidades de Resposta Hidrológica (URH), as quais são regiões homogêneas, em que se intenta representar as variações de processos hidrológicos em unidades

<sup>4</sup> Vale mencionar, que observando imagens históricas da região, pressupõe-se que a classe “Floresta Plantada” tenha uma taxa de transição positiva. No entanto, no presente projeto esta classe foi agrupada como “Floresta”, que apresenta uma taxa negativa. Para que a taxa de transição positiva de “Floresta Plantada” não interferisse na modelagem final, retirou-se todas as transições que acresciam área a essa classe. Além, desses aspectos, também se considerou a pequena pertinência (10%) das áreas de “Floresta Plantada” no total de “Floresta”.

irregulares e independentes da região hidrográfica (FAN et al., 2015). O resultado dos Cenários de Unidades de Resposta Hidrológica é apresentado nos Mapas do APÊNDICE 2.

O mapa de solos utilizado possui escala 1:5.000.000, sendo obtido do portal de dados espaciais do Ministério do Meio Ambiente do Brasil (<http://mapas.mma.gov.br/>). Baseando-se nas características do potencial de geração de escoamento superficial (LEPSCH, 2010), as classes de solos originais foram agrupadas conforme a TABELA 5.

TABELA 5. AGRUPAMENTO DAS CLASSES DE SOLOS

Classe (Original do Mapa de Solos)	Classe reclassificada
Latossolos	Solos profundos
Nitossolos	
Chernossolos	
Argissolo	
Neossolos	Solos rasos
Cambissolos	
Luvissolo	
Planossolo	
Áreas urbanas	Áreas semi-impermeáveis
Água	Água

### 2.1.5 *Cenário de uso e ocupação do solo para máximo de desflorestamento*

Neste cenário, para compor a quantidade de desflorestamento pressupôs-se a desconsideração das Reservas Legais (RL), determinadas pelo Art. 12 do Código Florestal (Lei nº 12.651/2012). Para esta lei, percentual da propriedade que deve ser registrado como Reserva Legal varia de acordo com o bioma e a região. Na região de estudo, o Código Florestal determina que 20% na propriedade seja destinada como Reserva Legal, que deve ser mantida com vegetação nativa, sendo restrita a sua utilização.

A geração do cenário máximo de desflorestamento utilizou como base o modelo já calibrado (cenário mais provável), alterando-se as taxas de transição (no âmbito da matriz de transição), de modo que as áreas de “Floresta” fossem suprimidas pelos demais usos, conforme a transição de uso prevista pela modelagem, até corresponder a uma perda de “Floresta” em 20%.

O cenário mais provável, ano 2030, detinha uma perda de 7,6% das florestas na Região Hidrográfica do Lago Guaíba. Com a acentuação dessa tendência, pressupõe-se um decréscimo de aproximadamente 589 mil hectares de floresta (20,1%), correspondente a uma perda de 1,009% anual.

### **2.1.6 Cenário de uso e ocupação do solo para máximo de florestamento**

Para elaboração desse cenário, utilizou-se como base o mapa do cenário mais provável, adicionando-se a delimitação espacial das Áreas de Preservação Permanente (APP), consideradas, neste contexto, como classe “Floresta”.

Essa condição denotaria a não transgressão e/ou recuperação das APPs, definidas no âmbito do Art.4º da Lei Federal nº 12.651/2012, as quais encontrar-se-iam em estado preservado e/ou (re)florestado. Este subterfúgio foi utilizado como parâmetro por se tratar de um condicionante normativo já existente e, portanto, exequível<sup>5</sup>.

Para elaboração das APPs fez-se uso de *software* de geoprocessamento, o qual considerou um *buffer* de 30 metros dos rios e 50 metros para as nascentes. A hidrografia utilizada correspondeu à base cartográfica da SEMA-RS, em escala 1:50.000.

Ainda no *software* de geoprocessamento, o arquivo de APPs, originalmente elaborado em formato vetorial *shapefile*, foi convertido em formato *raster*, possibilitando a álgebra de mapa, sendo a seguir somado ao mapa de cenário mais provável.

Nesse contexto, ressalta-se que o cenário mais provável apontava a perda de 7,6% das florestas na Região Hidrográfica do Lago Guaíba. Entretanto, com a manutenção/recuperação das APPs desenvolveu-se um incremento de 30,3% do florestamento na Região Hidrográfica do Lago Guaíba, no ano de 2030, o que corresponde a aproximadamente 885 mil hectares de cobertura vegetal.

Por fim, o resultado dos cenários de máximo florestamento e de máximo desflorestamento foram igualmente generalizados para resolução espacial de 300 metros e cruzados com o mapa de solos.

### **2.1.7 Quantificação dos resultados**

Como síntese, além dos mapas já citados como apêndices, a TABELA 6 apresenta a quantificação das classes de URH elaborados e a FIGURA 3 apresenta graficamente a comparação entre os cenários de uso e ocupação do solo. Na TABELA 7 é encontrada a quantificação das classes das URH nos cenários de uso e ocupação do solo conforme as sub-bacias hidrográficas da Região Hidrográfica do Lago Guaíba.

---

<sup>5</sup> Pontua-se que os cenários de uso e ocupação do solo já consideram os efeitos retroativos das Unidades de Conservação (UC).

TABELA 6. COMPARAÇÃO DE ÁREAS ENTRE OS CENÁRIOS DE RESPOSTA HIDROLÓGICA POR CLASSE

Cód.	Classes	Uso e ocupação do solo	Cenários, ano 2030					
		Ano 2015 (original ) Área (há)	Mais Provável Área (ha) *	Diferença (%) *	Máximo Desflorestamento Área (ha) *	Diferença (%) *	Máximo Florestamento Área (ha) *	Diferença (%) *
1	Floresta em solo raso	1.665.250	1.421.167	-14,6	1.242.771	-25,3	1.670.523	0,3
2	Floresta em solo profundo	1.255.188	1.276.864	1,7	1.088.101	-13,3	2.134.917	70,0
3	Agricultura em solo raso	1.401.527	1.738.778	24,0	1.897.299	35,3	1.012.061	-27,7
4	Agricultura em solo profundo	2.294.271	2.274.122	-0,8	2.469.694	7,6	1.944.117	-15,2
5	Campo em solo raso	904.683	646.500	-28,54	687.818	-23,9	458.508	-49,3
6	Campo em solo profundo	619.190	431.855	-30,2	450.835	-27,1	273.703	-55,2
7	Várzea	24.579	17.019	-30,7	17.856	-27,3	36.209	47,3
8	ASI	115.233	480.904	317,3	427.229	270,7	223.516	93,9
9	Água	163.553	156.263	-4,4	161.870	-1,0	689.918	321,8
<b>Totais</b>		<b>8.443.473</b>	<b>8.443.473,00</b>	<b>0,0</b>	<b>8.443.473</b>	<b>0,0</b>	<b>8.443.473</b>	<b>0,0</b>

\*Diferença do Uso e Ocupação do solo - Ano 2015 (original ).

**FIGURA 3. COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS DE RESPOSTA HIDROLÓGICA POR CLASSE**

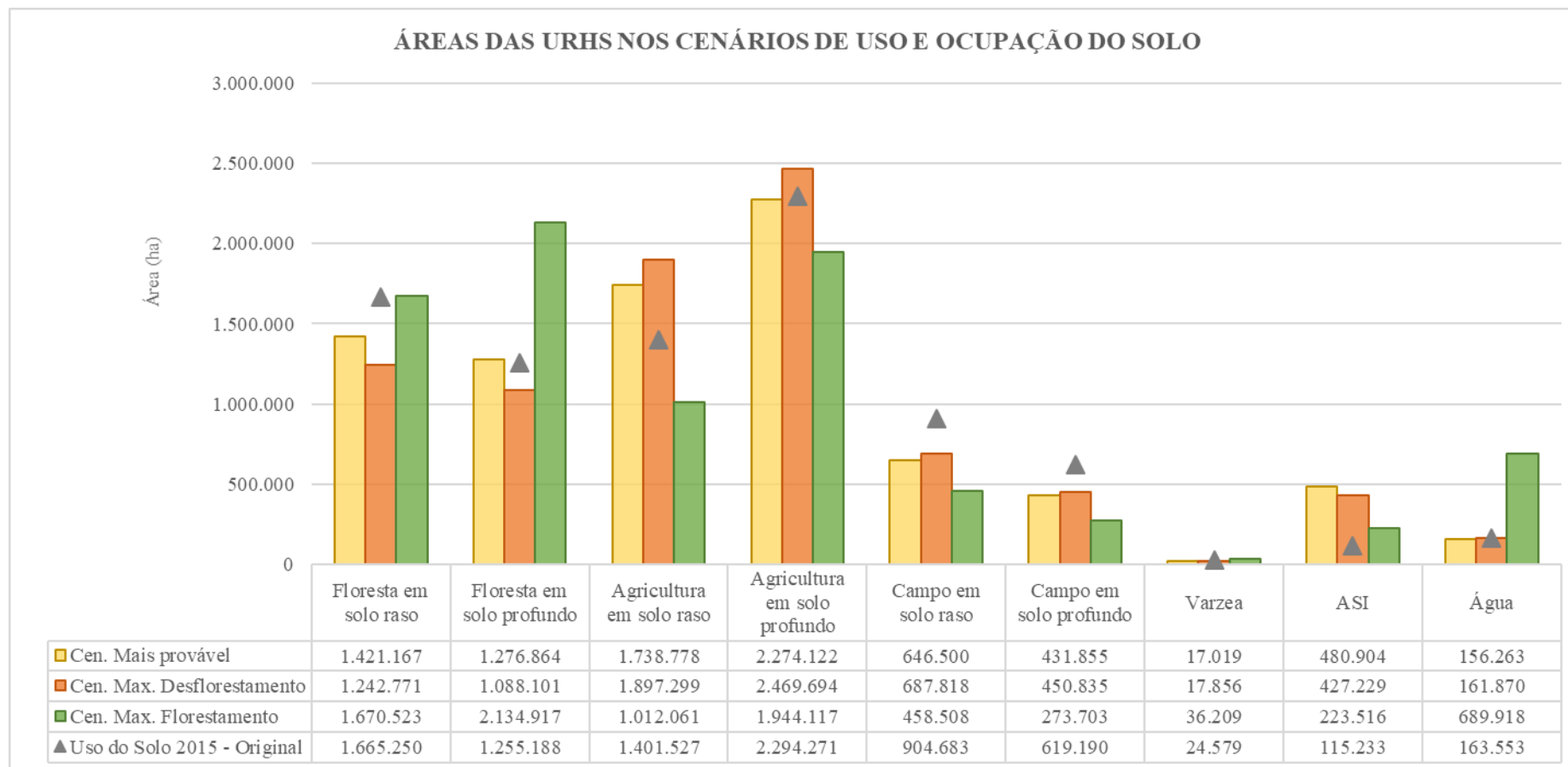




TABELA 7. COMPARAÇÃO DE ÁREAS ENTRE OS CENÁRIOS DE RESPOSTA HIDROLÓGICA POR SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

Sub-bacia	Cód.	Classes	Uso e ocupação do solo	Cenários, ano 2030					
			Ano 2015 (original) Área (ha)	Mais Provável Área (ha) *	Diferença (%) *	Máx. Desflorestamento Área (ha) *	Diferença (%) *	Máximo Florestamento Área (ha) *	Diferença (%) *
1	1	Floresta em solo raso	2.017	1.818	9,9	1.998	0,9	2.502	-24,1
	2	Floresta em solo profundo	34.843	36.485	-4,7	34.919	-0,2	46.325	-33,0
	3	Agricultura em solo raso	3.160	5.247	-66,0	5.445	-72,3	5.004	-58,4
	4	Agricultura em solo profundo	60.574	74.833	-23,5	82.519	-36,2	81.832	-35,1
	5	Campo em solo raso	5.177	1.413	72,7	1.404	72,9	2.601	49,8
	6	Campo em solo profundo	57.621	13.104	77,3	15.462	73,2	23.968	58,4
	7	Várzea	15.315	8.775	42,7	7.623	50,2	11.098	27,5
	8	ASI	19.204	56.897	-196,3	48.563	-152,9	25.642	-33,5
	9	Água	3.295	2.547	22,7	3.231	2,0	2.412	26,8
2	1	Floresta em solo raso	104.870	85.498	18,5	75.553	28,0	104.324	0,5
	2	Floresta em solo profundo	65.706	52.370	20,3	45.782	30,3	68.268	-3,9
	3	Agricultura em solo raso	16.125	22.940	-42,3	33.236	-106,1	16.849	-4,5
	4	Agricultura em solo profundo	32.349	26.468	18,2	35.936	-11,1	28.918	10,6
	5	Campo em solo raso	4.286	12.186	-184,3	12.654	-195,3	4.527	-5,6
	6	Campo em solo profundo	8.211	8.568	-4,3	9.009	-9,7	5.148	37,3
	8	ASI	3.403	26.882	-689,9	22.589	-563,8	6.957	-104,4
	9	Água	243	90	63,0	243	0,0	126	48,2
	3	1	Floresta em solo raso	6.626	6.255	5,6	6.372	3,8	7.038
2		Floresta em solo profundo	25.578	24.965	2,4	22.931	10,3	30.574	-19,5
3		Agricultura em solo raso	5.807	1.575	72,9	1.755	69,8	3.717	36,0
4		Agricultura em solo profundo	19.177	7.785	59,4	11.106	42,1	13.528	29,5
5		Campo em solo raso	1.945	999	48,6	639	67,1	1.530	21,3
6		Campo em solo profundo	7.716	4.239	45,1	4.464	42,1	4.986	35,4
7		Várzea	450	351	22,0	144	68,0	684	-52,0
8		ASI	11.965	33.128	-176,9	31.823	-166,0	17.254	-44,2
9		Água	180	117	35,0	180	0,0	108	40,0
4	1	Floresta em solo raso	5.843	5.337	8,7	4.761	18,5	6.372	-9,1
	2	Floresta em solo profundo	9.534	10.332	-8,4	9.540	-0,1	10.909	-14,4
	3	Agricultura em solo raso	11.443	8.577	25,0	9.720	15,1	11.134	2,7

Sub-bacia	Cód.	Classes	Uso e ocupação do solo	Cenários, ano 2030					
			Ano 2015 (original) Área (ha)	Mais Provável Área (ha) *	Diferença (%) *	Máx. Desflorestamento Área (ha) *	Diferença (%) *	Máximo Florestamento Área (ha) *	Diferença (%) *
4	4	Agricultura em solo profundo	8.148	2.394	70,6	2.988	63,3	5.823	28,5
	5	Campo em solo raso	4.349	1.584	63,6	1.503	65,4	3.096	28,8
	6	Campo em solo profundo	3.682	2.520	31,6	2.079	43,5	3.267	11,3
	7	Várzea	450	648	-43,9	423	6,0	981	-117,9
	8	ASI	9.651	21.906	-127,0	22.265	-130,7	11.746	-21,7
	9	Água	2.035	1.809	11,1	1.836	9,8	1.782	12,4
5	1	Floresta em solo raso	106.689	103.849	2,7	92.257	13,5	118.563	-11,1
	2	Floresta em solo profundo	19.555	20.853	-6,6	18.504	5,4	21.736	-11,2
	3	Agricultura em solo raso	29.035	32.246	-11,1	42.101	-45,0	24.931	14,1
	4	Agricultura em solo profundo	7.608	1.692	77,8	3.105	59,2	3.474	54,3
	5	Campo em solo raso	47.042	43.919	6,6	46.322	1,5	39.125	16,8
	6	Campo em solo profundo	513	2.754	-436,6	3.384	-559,4	999	-94,7
	8	ASI	5.114	10.431	-104,0	9.909	-93,8	6.840	-33,8
	9	Água	1.819	1.548	14,9	1.710	6,0	1.638	9,9
6	1	Floresta em solo raso	73.440	60.722	17,3	55.754	24,1	73.641	-0,3
	2	Floresta em solo profundo	86.566	76.111	12,1	70.225	18,9	85.819	0,9
	3	Agricultura em solo raso	20.383	12.618	38,1	18.405	9,7	15.661	23,2
	4	Agricultura em solo profundo	29.468	11.196	62,0	15.948	45,9	21.322	27,6
	5	Campo em solo raso	225	8.370	-3.618	8.955	-3.878	2.016	-795,7
	6	Campo em solo profundo	1.477	10.422	-605,8	10.989	-644,2	3.501	-137,1
	7	Várzea	0	18	0,0	0	0,0	18	0,0
	8	ASI	3.385	35.423	-946,4	34.586	-921,7	12.880	-280,5
	9	Água	135	117	13,4	135	0,0	153	-13,3
7	1	Floresta em solo raso	7.680	7.389	3,8	7.560	1,6	6.849	10,8
	2	Floresta em solo profundo	14.801	11.907	19,6	10.656	28,0	12.682	14,3
	3	Agricultura em solo raso	14.612	13.167	9,9	13.158	10,0	16.489	-12,8
	4	Agricultura em solo profundo	9.597	7.317	23,8	9.900	-3,1	13.285	-38,4
	5	Campo em solo raso	6.806	2.322	65,9	2.979	56,2	4.563	33,0
	6	Campo em solo profundo	7.068	2.628	62,8	2.700	61,8	3.744	47,0
	7	Várzea	873	1.107	-26,8	900	-3,1	1.494	-71,1
	8	ASI	1.837	17.487	-852,1	15.435	-740,4	4.095	-123,0

Sub-bacia	Cód.	Classes	Uso e ocupação do solo	Cenários, ano 2030					
			Ano 2015 (original) Área (ha)	Mais Provável Área (ha) *	Diferença (%) *	Máx. Desflorestamento Área (ha) *	Diferença (%) *	Máximo Florestamento Área (ha) *	Diferença (%) *
7	9	Água	1.981	1.908	3,7	1.944	1,9	2.034	-2,7
8	1	Floresta em solo raso	299.853	284.520	5,1	253.929	15,3	340.216	-13,5
	2	Floresta em solo profundo	14.162	14.778	-4,3	12.204	13,8	17.245	-21,8
	3	Agricultura em solo raso	51.301	91.015	-77,4	110.670	-115,7	54.057	-5,4
	4	Agricultura em solo profundo	14.891	12.384	16,8	16.317	-9,6	10.972	26,3
	5	Campo em solo raso	241.179	215.995	10,4	226.588	6,1	198.180	17,8
	6	Campo em solo profundo	7.599	8.919	-17,4	7.740	-1,9	8.163	-7,4
	8	ASI	567	2.223	-291,9	1.521	-168,2	927	-63,4
9	9	Água	1.702	864	49,2	1.719	-1,0	765	55,0
	1	Floresta em solo raso	74.736	78.748	-5,4	68.533	8,3	85.972	-15,0
	2	Floresta em solo profundo	159.331	177.710	-11,5	157.262	1,3	198.081	-24,3
	3	Agricultura em solo raso	32.556	22.805	29,9	30.896	5,1	22.366	31,3
	4	Agricultura em solo profundo	220.571	170.978	22,5	199.885	9,4	174.680	20,8
	5	Campo em solo raso	10.390	13.626	-31,1	15.804	-52,1	9.126	12,2
	6	Campo em solo profundo	59.836	83.428	-39,4	75.661	-26,4	63.903	-6,8
	8	ASI	7.617	17.901	-135,0	16.704	-119,3	10.891	-43,0
	9	Água	2.278	1.818	20,2	2.268	0,4	1.845	19,0
10	1	Floresta em solo raso	327.763	287.840	12,2	252.237	23,0	349.684	-6,7
	2	Floresta em solo profundo	269.485	309.818	-15,0	261.426	3,0	342.466	-27,1
	3	Agricultura em solo raso	174.402	145.086	16,8	185.441	-6,3	136.851	21,5
	4	Agricultura em solo profundo	349.587	272.505	22,0	317.836	9,1	266.718	23,7
	5	Campo em solo raso	2.494	34.604	-1.287	32.678	-1.210	9.009	-261,3
	6	Campo em solo profundo	20.167	41.660	-106,6	44.144	-118,9	24.337	-20,7
	8	ASI	15.468	68.038	-339,9	65.302	-322,2	30.295	-95,9
	9	Água	5.267	4.698	10,8	5.166	1,9	4.752	9,8
	11	1	Floresta em solo raso	68.146	59.786	12,3	53.972	20,8	79.591
2		Floresta em solo profundo	39.470	25.316	35,9	23.021	41,7	33.932	14,0
3		Agricultura em solo raso	104.312	91.393	12,4	98.044	6,0	94.414	9,5
4		Agricultura em solo profundo	17.376	22.256	-28,1	27.017	-55,5	25.237	-45,2
5		Campo em solo raso	19.762	13.842	30,0	16.416	16,9	12.898	34,7
6		Campo em solo profundo	6.257	4.275	31,7	4.464	28,7	2.961	52,7

Sub-bacia	Cód.	Classes	Uso e ocupação do solo	Cenários, ano 2030					
			Ano 2015 (original) Área (ha)	Mais Provável Área (ha) *	Diferença (%) *	Máx. Desflorestamento Área (ha) *	Diferença (%) *	Máximo Florestamento Área (ha) *	Diferença (%) *
11	7	Várzea	126	387	-207,0	972	-671,1	684	-442,7
	8	ASI	2.170	40.274	-1.756	33.713	-1.453	7.983	-267,9
	9	Água	7.572	7.560	0,2	7.470	1,3	7.407	2,2
12	1	Floresta em solo profundo	69.118	113.145	-63,7	88.306	-27,8	152.233	-120,3
	4	Agricultura em solo profundo	563.766	507.012	10,1	533.588	5,4	480.586	14,8
	6	Campo em solo profundo	17.475	24.290	-39,0	22.193	-27,0	15.751	9,9
	7	Várzea	9	18	-99,9	18	-99,9	18	-99,9
	8	ASI	5.564	12.465	-124,0	12.105	-117,6	7.785	-39,9
13	9	Água	29.855	28.979	2,9	29.699	0,5	28.846	3,4
	1	Floresta em solo raso	58.449	56.168	3,9	47.375	18,9	72.975	-24,9
	2	Floresta em solo profundo	104.897	165.677	-57,9	130.506	-24,4	200.394	-91,0
	3	Agricultura em solo raso	74.115	68.614	7,4	78.847	-6,4	57.180	22,8
	4	Agricultura em solo profundo	500.869	440.630	12,0	483.936	3,4	416.782	16,8
	5	Campo em solo raso	2.917	7.425	-154,5	6.705	-129,8	4.464	-53,0
	6	Campo em solo profundo	41.856	36.827	12,0	29.231	30,2	29.593	29,3
	7	Várzea	36	9	75,0	36	0,0	4.374	-12.046
	8	ASI	2.125	10.611	-399,4	8.784	-313,4	23.230	-993,3
14	9	Água	23.832	23.174	2,8	23.696	0,6	266.574	-1.018
	1	Floresta em solo raso	170.035	132.864	21,9	104.128	38,8	163.664	3,7
	2	Floresta em solo profundo	102.187	69.199	32,3	53.882	47,3	462.145	-352,3
	3	Agricultura em solo raso	434.416	597.928	-37,6	611.751	-40,8	261.525	39,8
	4	Agricultura em solo profundo	233.607	360.712	-54,4	360.297	-54,2	193.113	17,3
	5	Campo em solo raso	316.932	177.575	44,0	197.185	37,8	134.367	57,6
	6	Campo em solo profundo	225.099	118.518	47,3	136.446	39,4	99	100,0
	7	Várzea	261	117	55,2	522	-99,9	10.575	-3.950
	8	ASI	7.734	34.829	-350,4	27.206	-251,8	24.535	-217,2
15	9	Água	25.659	24.794	3,4	25.163	1,9	315.087	-1.128
	1	Floresta em solo raso	264.029	186.971	29,2	165.290	37,4	165.527	37,3
	2	Floresta em solo profundo	135.319	108.475	19,8	98.152	27,5	355.004	-162,3
	3	Agricultura em solo raso	340.476	459.278	-34,9	480.211	-41,0	157.678	53,7
	4	Agricultura em solo profundo	157.764	214.429	-35,9	220.243	-39,6	94.000	40,4

Sub-bacia	Cód.	Classes	Uso e ocupação do solo	Cenários, ano 2030					
			Ano 2015 (original) Área (ha)	Mais Provável Área (ha) *	Diferença (%) *	Máx. Desflorestamento Área (ha) *	Diferença (%) *	Máximo Florestamento Área (ha) *	Diferença (%) *
15	5	Campo em solo raso	163.580	93.751	42,7	95.749	41,5	0	0,0
	6	Campo em solo profundo	86.962	51.101	41,2	56.582	34,9	55.524	36,2
	7	Várzea	1.738	1.980	-13,9	3.852	-121,7	2.178	-25,3
	8	ASI	6.068	41.822	-589,2	36.593	-503,0	13.096	-115,8
	9	Água	19.861	17.928	9,7	19.062	4,0	17.857	10,1
16	1	Floresta em solo raso	70.928	50.093	29,4	40.940	42,3	69.420	2,1
	2	Floresta em solo profundo	53.812	28.061	47,9	23.858	55,7	47.882	11,0
	3	Agricultura em solo raso	47.276	99.331	-110,1	109.392	-131,4	78.745	-66,6
	4	Agricultura em solo profundo	32.574	77.497	-137,9	78.928	-142,3	59.502	-82,7
	5	Campo em solo raso	56.018	16.038	71,4	18.684	66,6	25.111	55,2
	6	Campo em solo profundo	38.840	11.970	69,2	17.136	55,9	16.795	56,8
	7	Várzea	2.170	1.971	9,2	1.215	44,0	2.133	1,7
	8	ASI	1.549	18.279	-1.080	13.140	-748,5	3.420	-120,9
	9	Água	19.177	19.143	0,2	19.080	0,5	19.504	-1,7
17	1	Floresta em solo raso	24.147	13.311	44,9	12.114	49,8	24.184	-0,2
	2	Floresta em solo profundo	50.823	31.661	37,7	26.927	47,0	49.223	3,1
	3	Agricultura em solo raso	42.108	66.958	-59,0	68.227	-62,0	55.461	-31,7
	4	Agricultura em solo profundo	36.346	64.034	-76,2	70.144	-93,0	54.345	-49,5
	5	Campo em solo raso	21.581	2.853	86,8	3.555	83,5	7.893	63,4
	6	Campo em solo profundo	28.810	6.633	77,0	9.153	68,2	10.963	61,9
	7	Várzea	3.151	1.638	48,0	2.151	31,7	1.971	37,4
	8	ASI	11.812	32.309	-173,5	26.990	-128,5	15.940	-34,9
	9	Água	18.664	19.170	-2,7	19.269	-3,2	19.027	-1,9
<b>Totais</b>			<b>8.443.473</b>	<b>8.443.473</b>	<b>0,0</b>	<b>8.443.473</b>	<b>0,0</b>	<b>8.443.473</b>	<b>0,0</b>

\* Diferença com relação ao Uso e ocupação do solo - Ano 2015 (original).

## 2.2 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

O principal órgão conhecido por estudos relacionados ao clima é o Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC - *International Panel on Climate Change*), que gera informações consolidadas a respeito de estudos relevantes de mudanças climáticas. Em 2014, o IPCC divulgou o último grande relatório, denominado AR5 (*Fifth Assessment Report*), que informou sobre a importância das descobertas científicas nas negociações e formulações de políticas. Os estudos de mudanças climáticas são realizados a partir da simulação de variáveis climatológicas, utilizando modelos climáticos, para definir as condições do clima no futuro. Existem diversos modelos climáticos globais com diferentes bases, conceitos e premissas. No AR5 foram avaliados cerca de 65 modelos climáticos globais. Os cenários futuros simulados por cada modelo climático consideram ainda quatro possibilidades de emissões de gases de efeito de estufa (GEE), que irão interferir diretamente nas variáveis climáticas: um cenário de mitigação rigorosa (RCP<sup>6</sup> 2.6), dois cenários intermediários (RCP 4.5 e RCP 6.0) e um cenário com altíssimas emissões de GEE (RCP 8.5).

No trabalho de Schuster (2019) foram selecionados 20 modelos climáticos, disponibilizados pelo Centro Climático Alemão (DKRZ - Deutsches Klimarechenzentrum), para os quais dois cenários extremos (RCP 2.6 e RCP 8.5) foram simulados, objetivando avaliar a variabilidade da área de drenagem da Laguna dos Patos, que engloba a Região Hidrográfica do Lago Guaíba, está sujeita. Assim, Schuster (2019) conseguiu avaliar a resposta do modelo hidrológico MGB a partir dos dados gerados pelos modelos climáticos e realizar análises estatísticas com todos os resultados.

Com base no trabalho de Schuster (2019), foram selecionados três modelos climáticos/ condições de emissões de GEE, descritos a seguir:

- Cenário de vazões máximas (extremo superior - ES): Utilizou-se o modelo HadGEM2-ES para a condição de emissões de GEE elevadas (RCP 8.5);
- Cenário de vazões medianas (mais provável - MP): Utilizou-se o modelo BNU-ESM para a condição de emissões de GEE restritas (RCP 2.6);
- Cenário de vazões mínimas (extremo inferior - EI): Utilizou-se o modelo GDEL-CM3 para a condição de emissões de GEE elevadas (RCP 8.5).

Esses modelos forneceram séries de dados para o período de 2016 a 2030 e de variáveis necessárias para aplicação do modelo MGB-SED: insolação, radiação, precipitação, pressão, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento. A partir dessas informações foram avaliados

---

<sup>6</sup> Caminhos de Concentração Representativos (RCPs – *Representative Concentration Pathways*)

os efeitos das mudanças climáticas nas vazões, descargas sólidas em suspensão (QSS) e descargas sólidas totais (QST) na Região Hidrográfica do Lago Guaíba.

### 2.3 CENÁRIOS FUTUROS – MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA

A partir dos cenários de uso e ocupação do solo, descritos no item 2.1, e dos cenários de mudanças climáticas, descritos no item 2.2, foram determinados nove cenários de simulação hidrossedimentológica com o modelo MGB-SED (BUARQUE, 2015). Essa combinação de cenários busca avaliar quais seriam as condições que resultariam nos maiores, menores e mais prováveis aportes de descarga sólida para o Lago Guaíba em um futuro próximo e também quantificar esses valores aportados. A TABELA 8 apresenta os nove cenários simulados com o modelo MGB-SED (Módulo I) para quantificar os aporte de sedimentos, que são descritos na sequência.

TABELA 8. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO DO MGB

Modelo/Use do Solo	Desflorestamento (Desm)	Tendencial (At)	Florestamento (Ref)
HadGEM2-ES (ES)	ES_Desm	ES_At	ES_Ref
BNU-ESM (MP)	MP_Desm	MP_At	MP_Ref
GDEL-CM3 (EI)	EI_Desm	EI_At	EI_Ref

- ES\_Desm: Cenário extremo superior de mudanças climáticas com cenário mais extremo de desflorestamento, considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- ES\_At: Cenário extremo superior de mudanças climáticas com cenário tendencial (mais provável), considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- ES\_Ref: Cenário extremo superior de mudanças climáticas com cenário mais extremo de florestamento, considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- MP\_Desm: Cenário mais provável de mudanças climáticas com cenário mais extremo de desflorestamento, considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- MP\_At: Cenário mais provável de mudanças climáticas com cenário tendencial (mais provável), considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- MP\_Ref: Cenário mais provável de mudanças climáticas com cenário mais extremo de florestamento, considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- EI\_Desm: Cenário extremo inferior de mudanças climáticas com cenário mais extremo de desflorestamento, considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- EI\_At: Cenário extremo inferior de mudanças climáticas com cenário tendencial (mais provável), considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;
- EI\_Ref: Cenário extremo inferior de mudanças climáticas com cenário mais extremo de florestamento, considerando as mudanças de uso e ocupação do solo;

Os nove cenários futuros foram simulados alterando-se as informações climatológicas, de precipitação e uso e cobertura do solo no modelo MGB-SED para gerar informações futuras de descarga líquida e sólida.

## 2.4 CENÁRIOS FUTUROS – MODELAGEM HIDRODINÂMICA

### 2.4.1 Cenários

Para as simulações hidrodinâmicas foram considerados três cenários principais: Histórico, abrangendo o período de 01/01/2006 a 31/12/2015; Cenário de Desflorestamento, considerando a condição de desflorestamento no período de 01/01/2016 a 31/12/2030, e o Cenário Tendencial, que apresenta as condições mais prováveis futuras (de 01/01/2016 a 31/12/2030). Além das condições iniciais também foi analisada a influência da atividade de mineração no Baixo Jacuí e no Lago Guaíba, o que resultou em seis cenários, apresentados na TABELA 9.

Os resultados gerados nas simulações do Módulo I, para os cenários Es\_Desm e MP\_At em conjunto com as simulações históricas, foram utilizados como entrada do Módulo II, para que então as saídas do Módulo II servissem de entrada para o Módulo III. As simulações foram realizadas com o intuito de analisar diferentes cenários com e sem mineração no trecho final do Baixo Jacuí e do Lago Guaíba.

TABELA 9. RESUMO DOS CENÁRIOS SIMULADOS COM O DELFT3D

Cenário	Módulo I	Módulo II	Módulo III	
<b>ES_Desm_SJ_CG_NA</b>	Desflorestamento	Sem mineração	Com mineração	Aumento do nível
<b>MP_At_CJ_SG_NHist</b>	Provável	Com mineração	Sem mineração	Nível histórico
<b>MP_At_CJ_CG_NHist</b>	Provável	Com mineração	Com mineração	Nível histórico
<b>MP_At_SJ_CG_NHist</b>	Provável	Sem mineração	Com mineração	Nível histórico
<b>Hist_CJ_SG_NHist</b>	Histórico	Com mineração	Sem mineração	Nível histórico
<b>Hist_SJ_SG_NHist</b>	Histórico	Sem mineração	Sem mineração	Nível histórico

- **ES\_Desm\_SJ\_CG\_NA**: Cenário com maior aporte de sedimentos, sem mineração no Jacuí, com mineração no Guaíba, com aumento no nível da Laguna dos Patos.
- **MP\_At\_CJ\_SG\_NHist**: Cenário mais provável de aporte de sedimentos, com mineração no Jacuí, sem mineração no Guaíba, com nível histórico na Laguna dos Patos.
- **MP\_At\_CJ\_CG\_NHist**: Cenário mais provável de aporte de sedimentos, com mineração no Jacuí, com mineração no Guaíba e com nível histórico na Laguna dos Patos.



- MP\_At\_SJ\_CG\_NHist: Cenário mais provável de aporte de sedimentos, sem mineração no Jacuí, com mineração no Guaíba e com nível histórico na Laguna dos Patos.
- Hist\_CJ\_SG\_NHist: Cenário com aporte histórico de sedimentos, com mineração no Jacuí, sem mineração no Guaíba e com nível histórico na Laguna dos Patos.
- Hist\_SJ\_SG\_NH: Cenário com aporte histórico de sedimentos, sem mineração no Jacuí, sem mineração no Guaíba e nível histórico na Laguna dos Patos.

#### 2.4.2 Condições de Contorno

Para a modelagem do Baixo Jacuí foram utilizadas cinco entradas de dados (Contorno Jacuí, Contorno Taquari-Antas, Contorno Caí, Contorno Sinos e Contorno Gravataí), consideradas condições de contorno do modelo, e um contorno aberto (Contorno Baixo Jacuí) que serviu como saída do Baixo Jacuí e entrada para o modelo hidrodinâmico do Lago Guaíba (Módulo III). A FIGURA 4 apresenta a localização dos contornos do modelo. Os dados de descarga líquida e descarga sólida inseridos nos contornos foram obtidos da modelagem hidrológica realizada com o modelo MGB-SED (Módulo I). Para respeitar as condições de conservação de massa, no Contorno Baixo Jacuí (contorno aberto) foi utilizada uma série temporal de nível de água com valor constante (nível de referência do modelo = 0 m).

FIGURA 4. LOCALIZAÇÃO DOS CONTORNOS DO MODELO DO BAIXO JACUÍ



A área modelada do Lago Guaíba possui dois contornos abertos denominados Contorno Baixo Jacuí e Contorno Laguna dos Patos, sendo a entrada e a saída de dados do modelo, respectivamente. A FIGURA 5 apresenta a localização dos contornos.

Os dados de descarga líquida e descarga sólida inseridos no contorno Baixo Jacuí foram obtidos da modelagem hidrodinâmica e de transporte de sedimentos do trecho final do Baixo Jacuí (Módulo II). Para o contorno de conexão com a Laguna dos Patos (Contorno Laguna dos Patos) foram inseridas duas forçantes: nível de água e características de ondas.

Foram utilizados dados de nível da estação da Agência Nacional de Águas (ANA) 87540000 – Arambaré, estação localizada no interior da Laguna dos Patos (-30,5424; -51,2934). Para a simulação do cenário de represamento de água no Lago Guaíba, devido ao aumento do nível do mar, foi adicionado a toda série temporal de nível da estação Arambaré o valor de 0,1 m, com base na previsão de aumento do nível médio do mar realizado pelo IPCC (Church et al., 2013) para o ano de 2030.

Os dados de altura, período e direção de onda foram obtidos com base no estudo realizado por Nicolodi (2013). Foram inseridos os valores de altura de onda de 0,55 m, período de 18 segundos e direção de 130°, todos de maneira constante.

FIGURA 5. LOCALIZAÇÃO DOS CONTORNOS DO MODELO DO LAGO GUAÍBA



### 2.4.3 Mineração

A simulação das atividades de mineração foram realizadas com auxílio da função Dredging and Dumping (Dragagem e Despejo) do modelo hidrodinâmico Delft3D. Esse recurso foi originalmente elaborado para análises de dragagens e despejo de sedimentos dentro da grade utilizada. Entretanto, ao criar a área de despejo fora do domínio do modelo a função também pode ser utilizada para a atividade

de mineração, simulando apenas o processo de retirada sem o despejo de sedimentos (DELTARES, 2012).

A atividade de dragagem é realizada de forma que, para cada área de dragagem, se o nível do leito exceder um nível limite, este é reduzido com base na opção de dragagem escolhida pelo operador e o volume de sedimento correspondente é removido. Se a capacidade de dragagem é menor que o volume a ser dragado, a sequência de dragagem (exemplo: superfície primeiro ou o fundo de maneira uniforme) determina em quais células da grade a dragagem será realizada no momento. O volume de material dragado é somado sobre todas as células inseridas em uma área de dragagem e distribuídos nas áreas de despejo. Por padrão, as células da grade são consideradas áreas de dragagem se o seu centro estiver dentro do polígono (DELTARES, 2012).

As áreas de mineração simuladas no modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos do Baixo Jacuí e do Lago Guaíba são apresentadas na FIGURA 6 e FIGURA 7, respectivamente. As áreas fora da grade dos modelos indicam, para o Delft3D, que apenas o processo retirada de areia (mineração) esta sendo considerado.

Os polígonos de mineração do modelo do Baixo Jacuí, foram inseridos com base nos shapex de áreas de concessão de mineração disponibilizadas pela SEMA/RS (2019). Os arquivos continham, além dos polígonos com as áreas, o volume total permitido para dragagem, profundidade máxima e empresa responsável pela atividade na região (TABELA 10).

Os polígonos de mineração, no modelo do Lago Guaíba, foram criados a partir do Relatório de Impacto Ambiental de Mineração no Lago Guaíba realizado pela Sociedade do Mineradores de Areia do Rio Jacuí Ltda (SMARJA) e Bourscheid Engenharia e Meio Ambiente S. A. (2011), com excessão da Área 5 (FIGURA 7), que foi adicionada com base no pacote sedimentar observado no Relatório do Levantamento Geofísico com Sísmica de Alta Resolução na Área do Lago Guaíba – RS (Nº01.HID.021/18-RE.001- R0), realizado por Belov (2019), contrato nº 18/2018.

Utilizando as informações dos estudos, foram inseridos no modelo a quantidade máxima de areia a ser retirada durante a simulação, profundidade máxima que poderia ser atingida e o local de deposição dos sedimentos (TABELA 11). Para que fosse possível a retirada de sedimentos do fundo, foi inserido nos modelos um pacote sedimentar de 15 m.

FIGURA 6. LOCALIZAÇÃO ÁREAS DE MINERAÇÃO MODELO HIDRODINÂMICO BAIXO JACUÍ

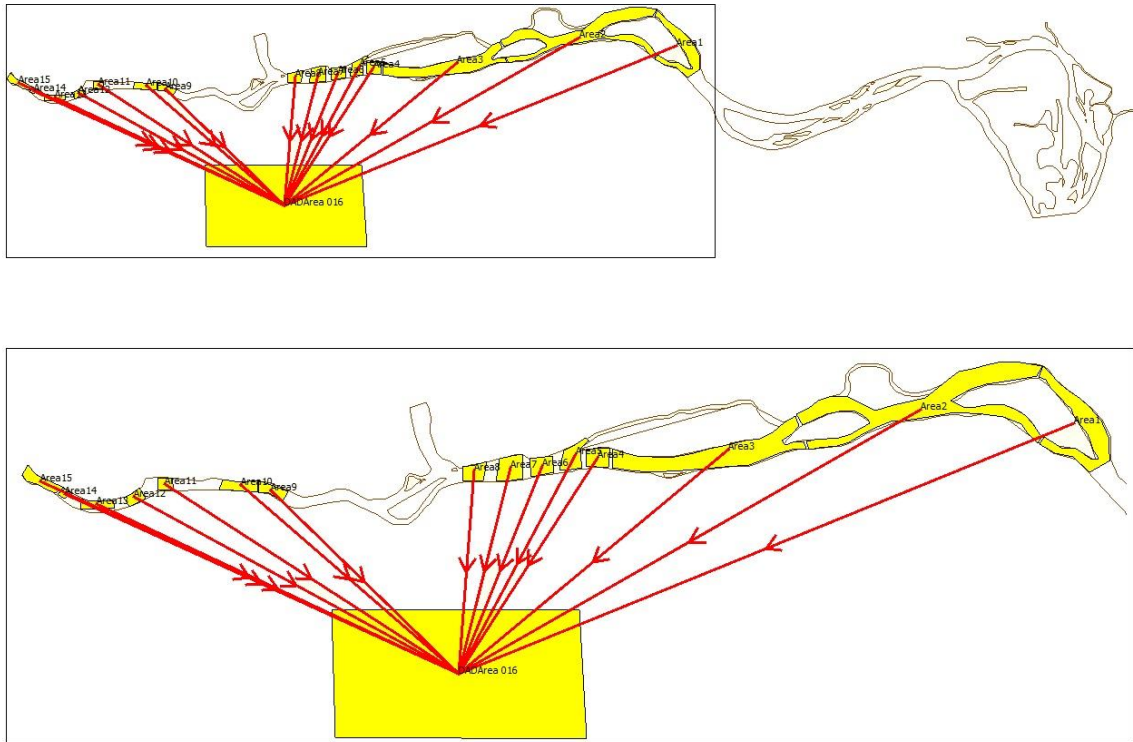


FIGURA 7. LOCALIZAÇÃO ÁREAS DE MINERAÇÃO MODELO HIDRODINÂMICO DO LAGO GUAIÁBA

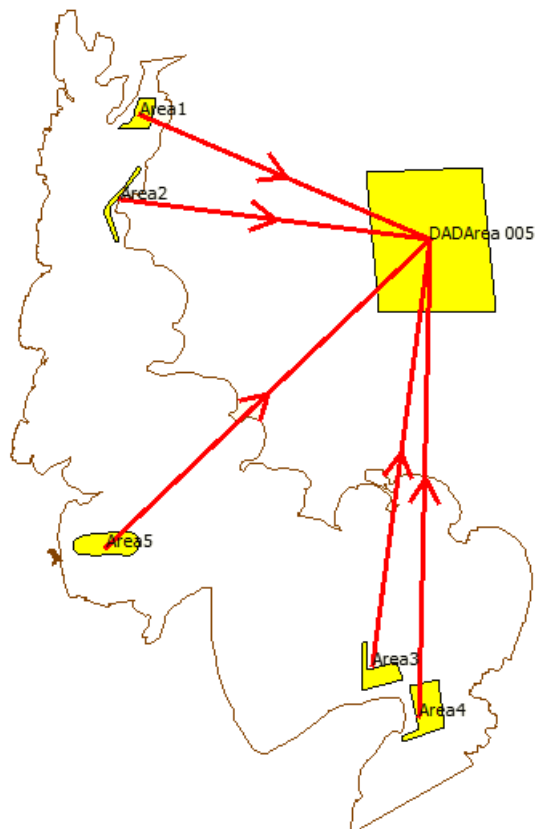


TABELA 10. CARACTERÍSTICAS ÁREAS DE DRAGAGEM MODELO BAIXO JACUÍ

Área	Profundidade máxima (m)	Volume máximo (m <sup>3</sup> )	Área de despejo	Mineradora responsável
Área 1	11,0	307.200	DADArea 016	SOMAR
Área 2	11,0	748.800	DADArea 016	SOMAR
Área 3	11,0	864.000	DADArea 016	SOMAR
Área 4	10,5	180.000	DADArea 016	SMARJA
Área 5	9,5	180.000	DADArea 016	SMARJA
Área 6	14,1	72.000	DADArea 016	SMARJA
Área 7	9,0	144.000	DADArea 016	SMARJA
Área 8	9,0	144.000	DADArea 016	SMARJA
Área 9	9,0	144.000	DADArea 016	SMARJA
Área 10	9,0	144.000	DADArea 016	SMARJA
Área 11	13,1	10.000	DADArea 016	SMARJA
Área 12	6,3	19.200	DADArea 016	ARO
Área 13	8,6	19.200	DADArea 016	ARO
Área 14	5,6	19.200	DADArea 016	ARO
Área 15	9,0	144.000	DADArea 016	SMARJA

TABELA 11. CARACTERÍSTICAS ÁREAS DE DRAGAGEM MODELO LAGO GUAÍBA

Área	Profundidade máxima (m)	Volume máximo (m <sup>3</sup> )	Área de despejo
Área 1	4,0	360.000	DADArea 005
Área 2	4,0	96.000	DADArea 005
Área 3	4,0	96.000	DADArea 005
Área 4	7,0	96.000	DADArea 005
Área 5	7,0	96.000	DADArea 005

Para a análise das taxas de sedimentação e erosão no Baixo Jacuí e no Lago Guaíba, foram inseridos pontos de controle nos dois modelos. A FIGURA 8 apresenta os pontos de observação do Módulo II. O ponto A\_Mineração foi inserido entre duas áreas de mineração (Área 3 e Área 4), o ponto Montante está inserido dentro da área de mineração Área 4 e o ponto Jusante localiza-se fora das áreas mineradas.

Os pontos de observação do Módulo III (FIGURA 9) Areia\_G, Lama\_3 e Deposição representam áreas de deposição, ponto Erosão representa uma área de erosão e o ponto Areia\_G\_3 localiza-se na área de mineração Área 4.

FIGURA 8. LOCALIZAÇÃO PONTOS DE OBSERVAÇÃO – CENÁRIOS MÓDULO II

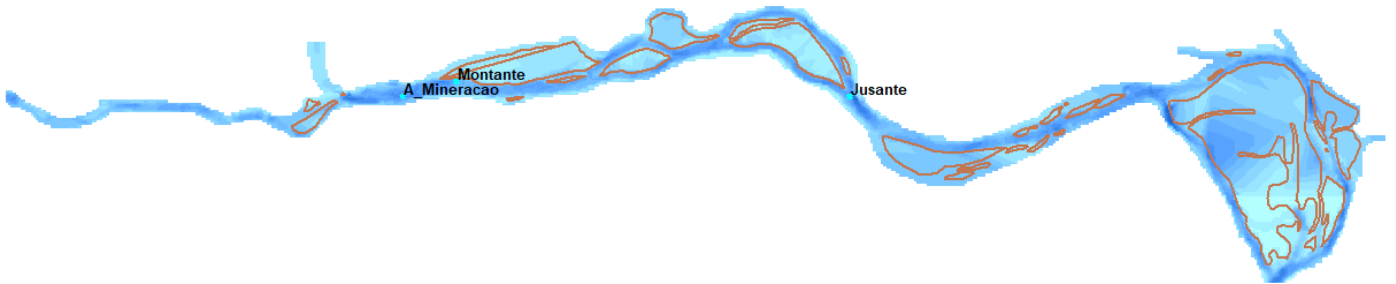
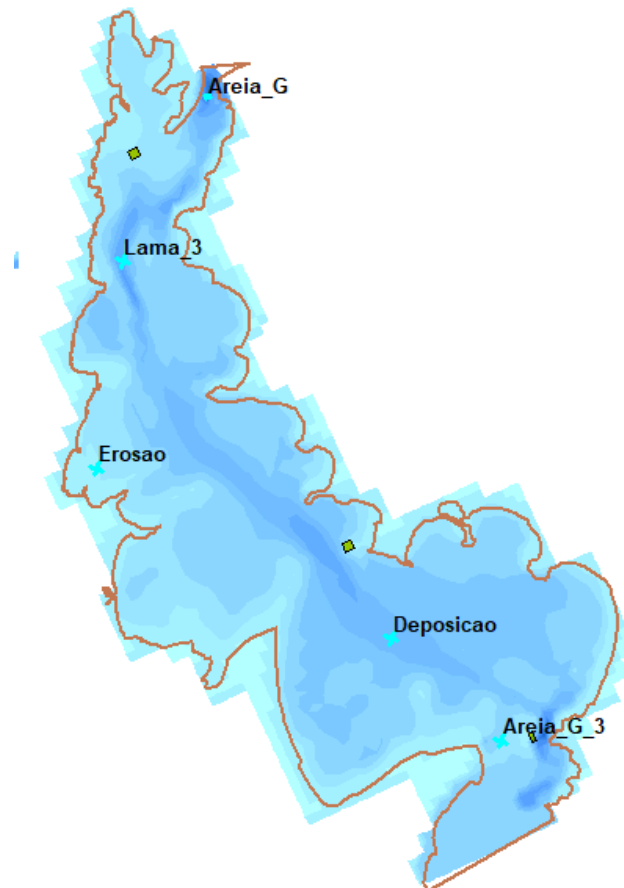


FIGURA 9. LOCALIZAÇÃO PONTOS DE OBSERVAÇÃO – CENÁRIOS MÓDULO III



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 USOS DO SOLO

#### 3.2 MODELAGEM HIDROSEDIMENTOLÓGICA

A seguir, são apresentados os resultados encontrados para os cenários propostos para simulação hidrossedimentológica com o MGB-SED, para a descarga líquida, descarga sólida em suspensão e descarga sólida total.

##### 3.2.1 Descarga Líquida

Na TABELA 12 e FIGURA 10 são apresentados os resultados de descarga líquida para os cenários de vazão simulados pelo modelo MGB-SED. Os hidrogramas e métricas apresentados são para o delta do Jacuí, região que engloba todos os rios simulados com o modelo MGB-SED.

**TABELA 12. ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA AS SÉRIES DE DESCARGAS LÍQUIDAS SIMULADAS NO CENÁRIO ATUAL (1975-2015) E NOS CENÁRIOS FUTUROS (2016-2030) DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONJUNTO COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS DE SOLO PARA O CONTORNO DO BAIXO JACUÍ**

Cenários	Média (m <sup>3</sup> /s)	Desvio padrão (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>50%</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Máxima (m <sup>3</sup> /s)	Mínima (m <sup>3</sup> /s)
<b>Atual (1975-2015)</b>	2115	2143	1420	27061	265
<b>ES_Desm</b>	2236	2245	1508	26607	242
<b>ES_At</b>	2158	2181	1447	25900	233
<b>ES_Ref</b>	1957	2023	1312	24648	211
<b>MP_Desm</b>	1904	1965	1274	24192	211
<b>MP_At</b>	1839	1909	1223	23698	204
<b>MP_Ref</b>	1663	1763	1103	22584	186
<b>EI_Desm</b>	1504	1402	1065	15382	171
<b>EI_At</b>	1446	1353	1022	15083	165
<b>EI_Ref</b>	1291	1220	910	14181	149

De forma geral, as médias ficaram entre 1.291 m<sup>3</sup>/s e 2.236 m<sup>3</sup>/s, para os cenários extremo inferior com florestamento e extremo superior com desflorestamento, respectivamente. Podemos perceber, assim, que essas variações apresentam as possibilidades extremas, dentro dos cenários de mudanças climáticas e usos do solo propostos neste trabalho. Ao compararmos essas médias com a média atual (2.115 m<sup>3</sup>/s), podemos perceber que há uma diminuição de 39% na vazão para o cenário extremo inferior com máximo florestamento e um aumento de aproximadamente 6% no cenário extremo superior com máximo desflorestamento. Esses valores diferem daqueles encontrados por Schuster (2019), que apesar de ter utilizado o modelo MGB, calibrou-o em um período distinto e também utilizou dados climáticos distintos, tornando uma comparação direta inviável.

Ainda, a média para o cenário de mudanças climáticas mais provável (modelo BNU-ESM) com uso do solo tendencial apresentou os valores intermediários entre todos os cenários analisados, com o valor de 1.839 m<sup>3</sup>/s. Esse cenário, contudo, apresentou uma diminuição de aproximadamente 13% da vazão média, em relação ao cenário atual, e 14% da mediana em relação ao cenário atual.

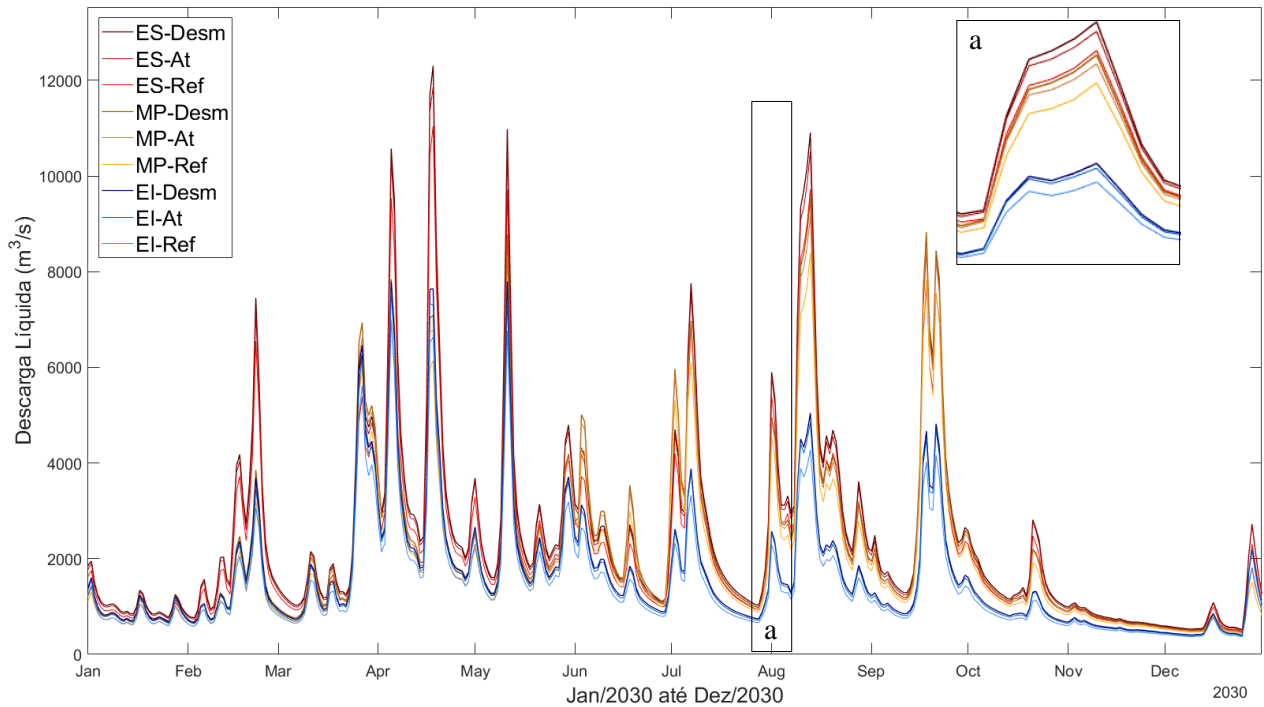
Apesar dessas variações, pode-se identificar uma tendência dos cenários em apresentar um espectro de variações que possam vir a ocorrer na Região Hidrográfica do Guaíba, devido às mudanças climáticas e mudanças de uso do solo. As métricas desvio padrão, Q<sub>50%</sub>, máxima e mínima apresentam o mesmo padrão de cenários que a média, sendo o cenário ES\_Desm que apresentou os maiores valores, o cenário MP\_At o que apresentou os valores medianos e o cenário EI\_Ref o que apresentou os menores valores. Esses resultados sugerem que os cenários ES\_Desm, MP\_At e EI\_Ref serão aqueles utilizados como condições de contorno para as simulações com o modelo Delft3D.

Para um cenário de mudanças climáticas com chuvas mais intensas e mudanças de uso do solo com intenso desflorestamento, a vazão tende a aumentar em média em 6%. Pode-se notar, pela FIGURA 10, que os modelos de mudanças climáticas Extremo Superior (ES) e Mais Provável (MP) são mais semelhantes entre si, sendo o modelo Extremo Inferior (EI) o que apresentou as vazões mais baixas. Além disso, em relação aos cenários de usos do solo, os cenários com desflorestamento máximo foram os que apresentaram os maiores aumentos de vazões em relação aos cenários de usos do solo tendencial ou com máximo florestamento. Ainda, as maiores variações de vazões são apresentadas para os picos de vazão, sendo as vazões baixas mais semelhantes em todos os cenários simulados.



**FIGURA 10. HIDROGRAMA REPRESENTANDO OS CENÁRIOS DE VAZÃO SIMULADOS PELO MODELO MGB PARA O DELTA DO JACUÍ**

**Localização:  
Baixo-Jacui**



### 3.2.2 Descarga Sólida em Suspensão

A TABELA 13 e a FIGURA 11 apresentam os resultados encontrados para a descarga sólida em suspensão (QSS) para o delta do rio Jacuí. Além disso, a TABELA 13 ainda apresenta as métricas do regime hidrológico atual, entre 1975 e 2015.

De forma geral, as médias para os cenários simulados variaram entre 5.603 t/d e 37.596 t/d, sendo as médias dos cenários extremo superior de mudanças climáticas com máximo desflorestamento e extremo inferior de mudanças climáticas com máximo florestamento, respectivamente. A média da descarga sólida em suspensão para o cenário atual foi de aproximadamente 9.366 t/d. Isso representa um aumento de 301% nas descargas sólidas em suspensão, em relação à média atual, para o cenário ES\_Desm, e uma diminuição de 40% nas descargas sólidas em suspensão para o cenário EI\_Ref. Para o cenário de mudanças climáticas mais provável e de usos do solo tendencial, a média é de aproximadamente 8.892 t/d, o que representa uma diminuição de 5% em relação à média atual.

**TABELA 13. ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA AS SÉRIES DE DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO NO CENÁRIO ATUAL (1975-2015) E NOS CENÁRIOS FUTUROS (2016-2030) DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONJUNTO COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS DE SOLO PARA O DELTA DO RIO JACUÍ**

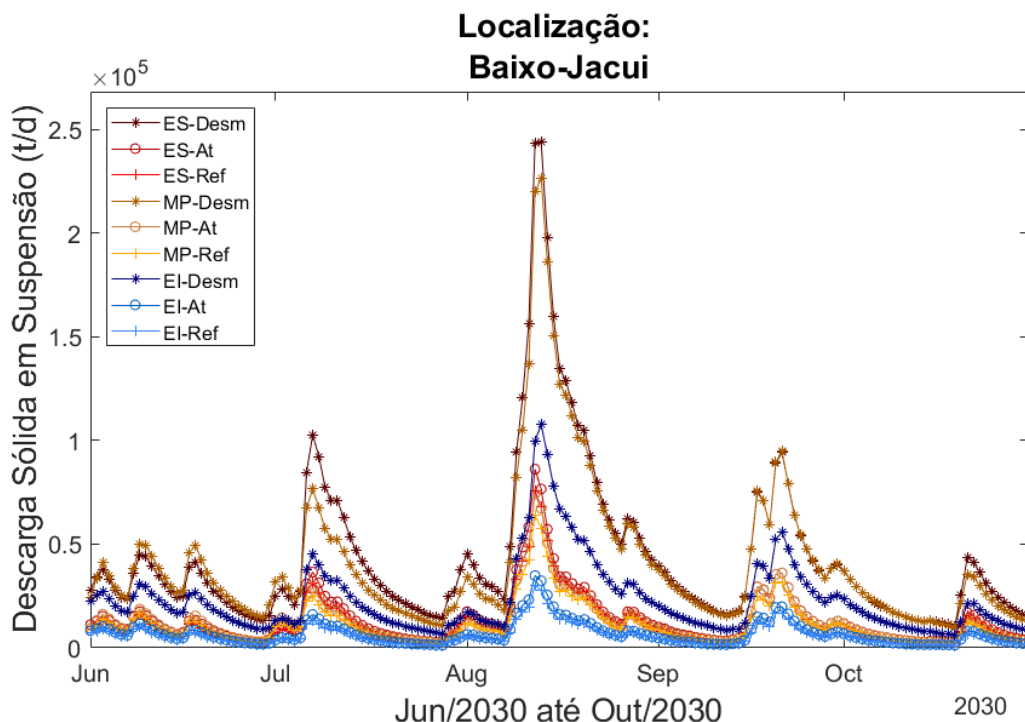
Cenários	Média (t/d)	Desvio padrão (t/d)	QSS <sub>50%</sub> (t/d)	Máxima (t/d)	Mínima (t/d)
<b>Atual (1975-2015)</b>	9366	12046	5486	170558	176
<b>ES_Desm</b>	37596	41947	25397	795115	974
<b>ES_At</b>	10849	13151	6727	190422	205
<b>ES_Ref</b>	9053	11015	5637	161677	166
<b>MP_Desm</b>	31571	38197	20854	976967	739
<b>MP_At</b>	8892	11009	5506	199165	173
<b>MP_Ref</b>	7307	9097	4531	158565	141
<b>EI_Desm</b>	25145	25801	17589	489499	519
<b>EI_At</b>	6925	7640	4485	91844	112
<b>EI_Ref</b>	5603	6153	3661	83957	92

A QSS<sub>50%</sub> foi, em média, para o cenário atual de 5.486,5 t/d. Nos cenários futuros, simulados com o modelo, as QSS<sub>50%</sub> variam entre 3.661 t/d e 25.397 t/d para os cenários de mudanças climáticas extremo inferior com usos do solo de florestamento e cenário extremo superior de mudanças climáticas com usos do solo de desflorestamento. Os cenários com máximo desflorestamento apresentam as maiores variações de descarga sólida em suspensão, em relação ao cenário atual. Num cenário de máximo desflorestamento, mesmo para modelos de mudanças climáticas que estimam vazões inferiores, há um aumento da QSS.

As QSS máximas variam entre 83.957 t/d a 795.115 t/d para os cenários de mudanças climáticas extremo inferior com usos do solo com florestamento e mudanças climáticas extremo superior com usos do solo com desflorestamento, respectivamente. Essas QSS simuladas para os cenários estão na faixa de variação, em relação a Qss simulada para o cenário atual (170.558 t/d). A máxima variação de QSS máxima foi para a simulação MP\_Desm, que apresentou um aumento de 473% aproximadamente, em relação à atualidade.

Como apresentado na FIGURA 11, os cenários de usos do solo tendencial e florestamento apresentam variações moderadas entre si, sendo o cenário tendencial com uma produção de sedimentos em suspensão maior do que o cenário com máximo florestamento. Entretanto, o cenário com máximo desflorestamento é o que apresentou as maiores variações de produção de sedimentos, sendo seus valores maiores, em média, 301% (ES\_Desm), 237% (MP\_At) e 168% (EI\_Desm) do que o cenário atual. Pode-se notar, assim, que para as estimativas de produção de sedimentos em suspensão, as mudanças de usos do solo podem ser mais determinantes do que os cenários de mudanças climáticas.

FIGURA 11. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E USOS DO SOLO PARA DESCARGA SÓLIDA EM SUSPENSÃO



### 3.2.3 Descarga Sólida Total

A TABELA 14 e as FIGURA 12 até FIGURA 15 apresentam os resultados obtidos para mudanças climáticas e mudanças de uso do solo na descarga sólida total (QST) para o delta do rio Jacuí. Inicialmente, são apresentados os hidrogramas de QST sólida para cada cenário de mudanças climáticas variando os cenários de uso do solo (FIGURA 12, FIGURA 13 e FIGURA 14). Na sequência, são apresentados os hidrogramas para todos os cenários simulados (FIGURA 15), avaliando as diferenças entre os cenários.

O cenário de mudanças climáticas extremo superior com máximo desflorestamento apresenta a maior descarga sólida total média também, de aproximadamente 39.133 t/d, o que representa um aumento de 285% em relação à média atual. Podemos verificar que para os diferentes cenários de mudanças climáticas, o cenário extremo superior apresenta a maior descarga sólida total, o cenário mais provável apresenta uma descarga sólida mediana, enquanto o cenário extremo inferior apresenta as menores médias de descarga sólida. A QST<sub>50%</sub> apresenta o mesmo comportamento, corroborando com os cenários ES\_Desm, MP\_At e EI\_Ref escolhidos como condições de contorno para as simulações com o modelo Delft3D.

**TABELA 14. ESTATÍSTICAS CALCULADAS PARA AS SÉRIES DE DESCARGA SÓLIDA TOTAL NO CENÁRIO ATUAL (1975-2015) E NOS CENÁRIOS FUTUROS (2016-2030) DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EM CONJUNTO COM CENÁRIOS DE MUDANÇAS DE SOLO PARA O CONTO RNO DO BAIXO JACUÍ**

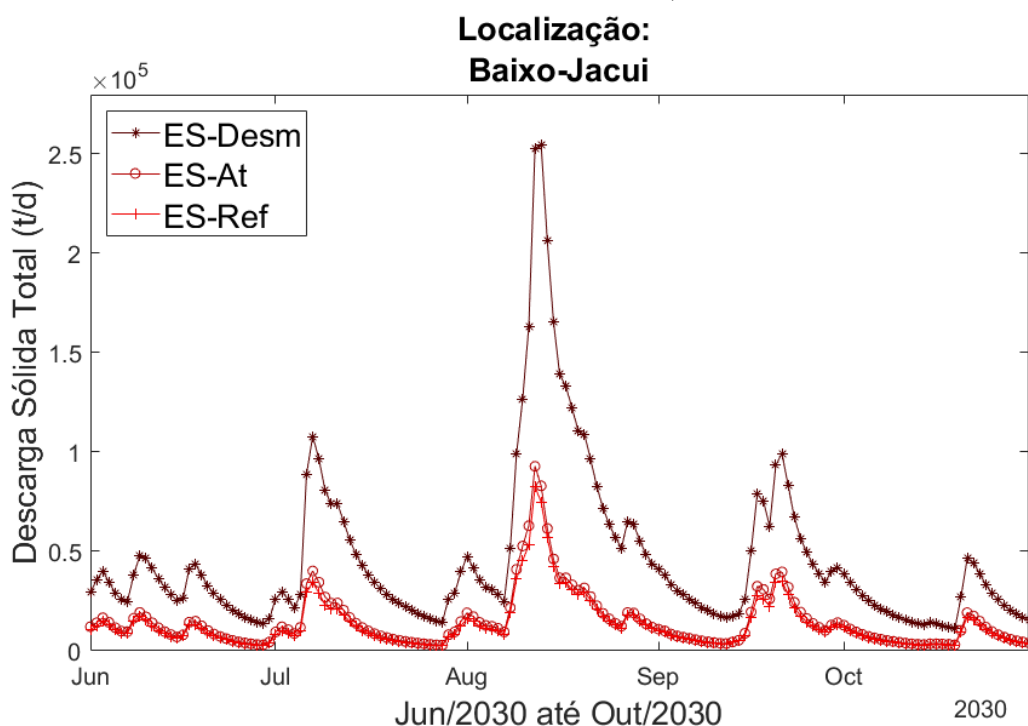
Cenários	Média (t/d)	Desvio padrão (t/d)	QST <sub>50%</sub> (t/d)	Máxima (t/d)	Mínima (t/d)
<b>Atual (1975-2015)</b>	10173	12887	6007	181124	241
<b>ES_Desm</b>	39133	43420	26419	811381	1075
<b>ES_At</b>	11891	14220	7407	205487	275
<b>ES_Ref</b>	9951	11957	6239	174404	235
<b>MP_Desm</b>	32877	39443	21735	996817	824
<b>MP_At</b>	9872	12080	6133	217721	234
<b>MP_Ref</b>	8087	9943	5041	175899	201
<b>EI_Desm</b>	26255	26775	18411	501282	603
<b>EI_At</b>	7761	8441	5049	102620	162
<b>EI_Ref</b>	6285	6818	4133	91205	144

Em média, há um aumento máximo de 285% em relação ao cenário atual, para a simulação ES\_Desm, e uma diminuição máxima de 38% para o cenário extremo inferior com máximo florestamento (EI\_Ref). Os cenários de mudanças climáticas se mantêm com o mesmo comportamento apresentado anteriormente, sendo os cenários de extremo superior o que apresenta a maior produção de sedimentos, o cenário mais provável apresenta uma produção mediana, enquanto o cenário extremo inferior apresenta a menor produção de sedimentos. Entre os cenários de mudanças de uso no solo, de forma geral, o cenário de desmatamento apresentou a maior produção de sedimentos, seguido pelo cenário tendencial e, por fim, o cenário máximo florestamento. O máximo desflorestamento foi o uso do solo que teve maior influência entre os cenários avaliados. Em média, houve um aumento de 285% (ES\_Desm), 223% (MP\_Desm) e 158% (EI\_Desm), apresentando um aumento bem superior ao verificado nos outros cenários. Para o cenário tendencial, houve um aumento de 17% (ES\_At), uma diminuição de 3% (MP\_At) e uma diminuição de 24% (EI\_At) em relação ao cenário atual.

Para o cenário extremo superior, a FIGURA 12 apresenta um trecho simulado entre junho de 2030 e outubro de 2030. Pode-se notar que os cenários tendencial e máximo florestamento de usos do solo representam variações bem próximas entre si, sendo o cenário tendencial maior do que o cenário de máximo florestamento. Esses cenários apresentam um aumento de 17% da descarga sólida total, em relação à descarga atual, e uma diminuição de 2% em relação ao cenário atual. O cenário de desflorestamento máximo, contudo, é o que apresentou a maior variação (aumento de 285%). Pode-se observar que essa variação ocorre principalmente nos picos de descarga sólida total.

A  $QST_{50\%}$  apresentou um aumento para todos os cenários de uso do solo em relação ao cenário atual, sendo o aumento de 340% para o cenário de máximo desflorestamento, 23% para o cenário tendencial e 4% para o cenário de máximo florestamento. Ou seja, para o cenário extremo superior de mudanças climáticas, para qualquer alteração do uso e ocupação do solo, a tendência é que ocorra um aumento da descarga sólida total. Para as vazões máximas, há um aumento de 348% (ES\_Desm), 14% (ES\_At) e uma diminuição de 4% (ES\_Ref). Em relação às vazões mínimas, a estimativa é de que haja um aumento de 345% (ES\_Desm), 14% (ES\_At) e uma diminuição de 3% (ES\_Ref).

FIGURA 12. CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EXTREMO SUPERIOR PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL, VARIANDO OS CENÁRIOS DE USO DO SOLO, NO BAIXO JACUÍ

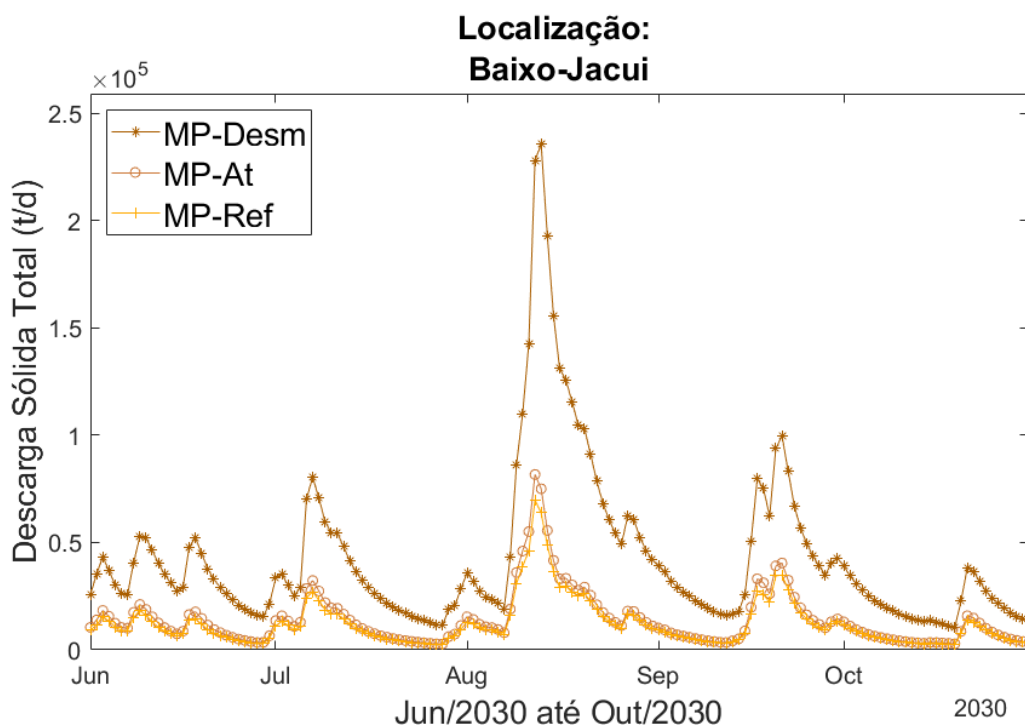


Em relação ao cenário de mudanças climáticas mais provável, apenas para o cenário de máximo desflorestamento a média aumentou 223% em relação ao cenário atual. Para o cenário tendencial, houve uma diminuição de 3%, em relação ao cenário atual e para o cenário de máximo florestamento, houve uma diminuição de 21% da descarga sólida total em relação ao cenário atual. Isso demonstra que as variações de usos do solo apresentam um impacto grande nas variações de descarga sólida.

A  $QST_{50\%}$  aumenta 262% em relação ao cenário atual, para o cenário de máximo desflorestamento. Há, também, um aumento de 2% para o cenário tendencial de usos de cobertura do solo. Para o cenário de máximo florestamento, há uma diminuição de 16% da descarga sólida total em relação ao cenário atual.

A descarga sólida total máxima para o cenário de máximo desflorestamento apresentou a maior variação entre os cenários, um aumento de 450%. Para o cenário tendencial, houve um aumento de 20% e para o cenário de máximo florestamento houve uma diminuição de 3%. As descargas sólidas totais mínimas também variaram, apresentando um aumento de 241% para o cenário de máximo desflorestamento. Os outros cenários apresentaram diminuições das descargas mínimas de 3% e 16% para o cenário tendencial e máximo florestamento, respectivamente.

**FIGURA 13. CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS MAIS PROVÁVEL PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL, VARIANDO OS CENÁRIOS DE USO DO SOLO, NO BAIXO-JACUÍ**

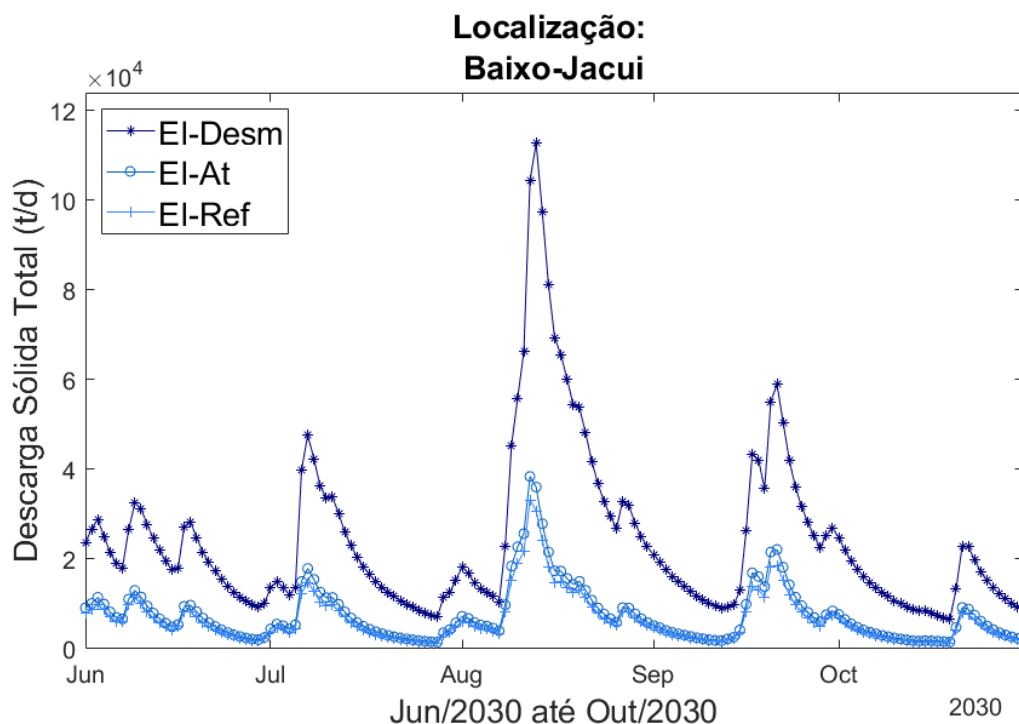


Por fim, os cenários de extremo inferior de mudanças climáticas apresentaram, de forma geral, diminuição em relação ao cenário atual, exceto para o cenário de máximo desflorestamento. Em média, houve um aumento de 158% para o cenário de máximo desflorestamento, em relação ao cenário atual. Essa foi a menor variação entre os cenários de máximo desflorestamento, corroborando com as estimativas dos modelos de mudanças climáticas. Para os cenários tendencial e máximo florestamento, em média, houve uma diminuição de 24% e 38%, respectivamente.

Para a QST<sub>50%</sub>, descarga sólida total máxima e descarga sólida total mínima, houve aumentos em relação ao cenário atual de 207%, 177% e 150%, respectivamente, para o cenário de máximo desflorestamento. Em relação ao cenário tendencial, houve uma diminuição de 16%, 43% e 33% em relação ao cenário atual, respectivamente. E para o cenário de máximo florestamento, houve uma

diminuição de 31% para a  $QST_{50\%}$ , 50% para a descarga sólida total máxima e 40% para a descarga sólida total mínima.

FIGURA 14. CENÁRIO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS EXTREMO INFERIOR PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL, VARIANDO OS CENÁRIOS DE USOS DO SOLO



Pelos hidrogramas apresentados na FIGURA 15, pode-se verificar que, em todos os cenários, o regime hidrossedimentológico se comporta de maneira semelhante, mantendo os períodos de descarga sólida total baixa e alta em períodos semelhantes. Podemos verificar que, para os períodos de descarga sólida menor, os cenários não apresentam grandes variações entre si. As maiores variações ocorrem nos períodos de picos de QST, nos quais os cenários de máximo desflorestamento apresentam picos maiores em relação aos cenários tendencial e máximo florestamento.

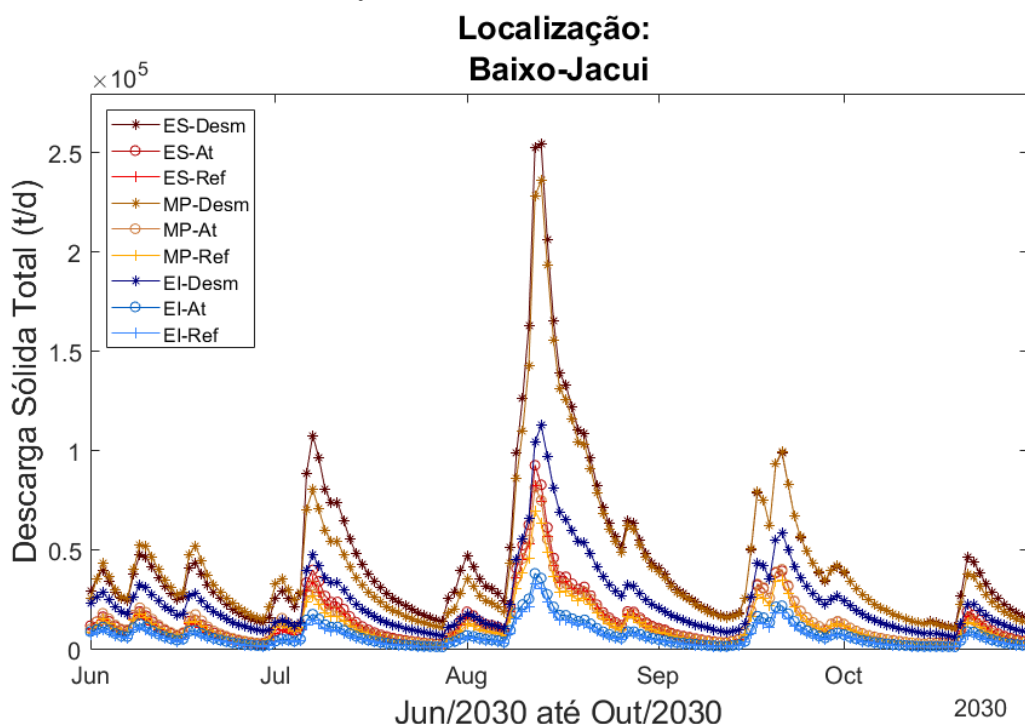
Como foi verificado anteriormente, há uma variação entre os cenários de mudanças climáticas, principalmente porque com as variações climáticas há variações no regime hidrológico e, conseqüentemente, no regime hidrossedimentológico. As mudanças de usos do solo, contudo, causam maiores variações na produção de sedimentos. É estimado, para o ano de 2030, uma perda de floresta de aproximadamente 8%, em relação ao uso atual, o que significaria uma perda tendencial, baseada nos dias atuais. Contudo, o aumento dessa perda em aproximadamente 1% ao ano, como o desflorestamento de áreas de Reserva Legal, que devem ocupar aproximadamente 20% da propriedade com matas nativas, ocasionam um aumento, em média, entre 158% até 285%, dependendo do cenário de mudanças climáticas que possa ocorrer. Assim, baseado nas estimativas realizadas, verifica-se que mudanças de

usos do solo podem causar mais impactos na dinâmica hidrossedimentológica do que as mudanças climáticas.

Para um cenário de máximo florestamento, com a recuperação de APPs, há um incremento de 22% do florestamento na Região Hidrográfica do Guaíba. Nesses cenários, foi possível observar uma tendência de diminuição das descargas sólidas, para qualquer um dos cenários de mudanças climáticas. Essa diminuição variou entre 2%, para o cenário de extremo superior de mudanças climáticas, 21% para um cenário mais provável de mudanças climáticas e 38% para um cenário extremo inferior de mudanças climáticas.

Além disso, o cenário de usos do solo tendencial apresentou variação de acordo com os cenários de mudanças climáticas. Para um cenário extremo superior de mudanças climáticas, houve um aumento de 17% da descarga sólida total. Já para os cenários mais provável de mudanças climáticas e extremo inferior, houve uma diminuição de 3% e 38%, respectivamente.

FIGURA 15. CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E USOS DO SOLO PARA DESCARGA SÓLIDA TOTAL





### **3.3 MODELAGEM HIDRODINÂMICA**

Para as simulações hidrodinâmicas foram considerados três cenários principais: Histórico, que considerou o período de 2006 a 2015; Cenário de Desflorestamento, considerando a condição de desflorestamento no período de 2016 a 2030 e o Cenário Tendencial, que apresenta as condições mais prováveis futuras (2016 a 2030). Além das condições iniciais também foi analisada a influência da atividade de mineração no Baixo Jacuí e no Lago Guaíba.

Os resultados gerados nas simulações do Módulo I, para os cenários Desflorestamento (Es\_Desm) e Tendenciais (MP\_At) em conjunto com as simulações históricas, foram utilizados como entrada do Módulo II, para que então as saídas do Módulo II servissem de entrada para o Módulo III. As simulações foram realizadas com o intuito de analisar diferentes cenários com e sem mineração no trecho final do Baixo Jacuí e do Lago Guaíba.

#### **3.3.1 Cenários Históricos**

As análises estatísticas das séries temporais de descarga líquida e descarga sólida utilizadas nos contornos do Módulo II, para o período de 01/01/2006 a 31/12/2016, são apresentadas na TABELA 15 e TABELA 16. Para respeitar as condições de conservação de massa, no Contorno Baixo Jacuí (contorno aberto) foi utilizada uma série temporal de nível de água com valor constante (nível de referência do modelo = 0 m).

Para a modelagem do Módulo III foram utilizados dados de vazão líquida e sólida simuladas pelo modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos do Baixo Jacuí (Módulo II). Os dados, em frequência diária do período de 01/01/2006 a 31/12/2015, foram obtidos para o contorno de entrada do Módulo III (Contorno Baixo Jacuí) e inseridos no modelo hidrodinâmico do Lago Guaíba. As condições de entrada geradas considerando a atividade de mineração é apresentada na TABELA 17, e na TABELA 18 são apresentadas as séries temporais de descarga líquida e sólida sem condiderar o processo de mineração no trecho final do Baixo Jacuí.

No contorno Laguna dos Patos foram inseridos dados de nível de água da estação fluviométrica Arambaré, também para o período de 01/01/2006 a 31/12/2015, e um campo de ondas constante com amplitude máxima de onda de 0,55 m, período de 1,8 segundos e direção de 130°. Na TABELA 19 são apresentadas as informações estatísticas da série temporal do Contorno Laguna dos Patos.

TABELA 15. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA LÍQUIDA – MÓDULO II – CENÁRIO HISTÓRICO

Descarga líquida (m <sup>3</sup> /s)	Contorno Jacuí	Contorno Taquari-Antas	Contorno Caí	Contorno Sinos	Contorno Gravataí
Máxima	12288,14	13720,97	1877,62	1041,39	331,60
Média	1123,87	795,09	132,24	91,72	38,55
Mínima	186,77	54,71	6,81	13,47	11,04
Q90	365,04	186,07	25,92	25,39	16,20

TABELA 16. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA SÓLIDA – MÓDULO II – CENÁRIO HISTÓRICO

Descarga sólida (ton/dia)	Contorno Jacuí	Contorno Taquari-Antas	Contorno Caí	Contorno Sinos	Contorno Gravataí
Máxima	214265,41	105465,01	23673,47	11903,98	9494,87
Média	15095,48	7426,36	995,29	611,56	636,24
Mínima	1261,35	254,53	20,93	37,09	90,64
Q90	3823,15	1432,76	136,45	111,36	173,74

TABELA 17. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III - CENÁRIO HIST\_CJ\_SG\_NHist

Contorno Baixo Jacuí	Descarga líquida (m <sup>3</sup> /s)	Descarga sólida (ton/dia)
Máxima	24730,00	203409,45
Média	1867,94	21501,75
Mínima	261,00	520,81
Q90	633,8	5348,13

TABELA 18. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III – CENÁRIO HIST\_SJ\_SG\_NHist

Contorno Baixo Jacuí	Descarga líquida (m <sup>3</sup> /s)	Descarga sólida (ton/dia)
Máxima	26139,39	287561,32
Média	2181,48	19231,41
Mínima	274,44	580,66
Q90	672,35	4510,8

TABELA 19. VALORES MÁXIMO, MÉDIO E MÍNIMO DA SÉRIE TEMPORAL DE NÍVEL – CONTORNO LAGUNA DOS PATOS – MÓDULO III - CENÁRIO HISTÓRICO

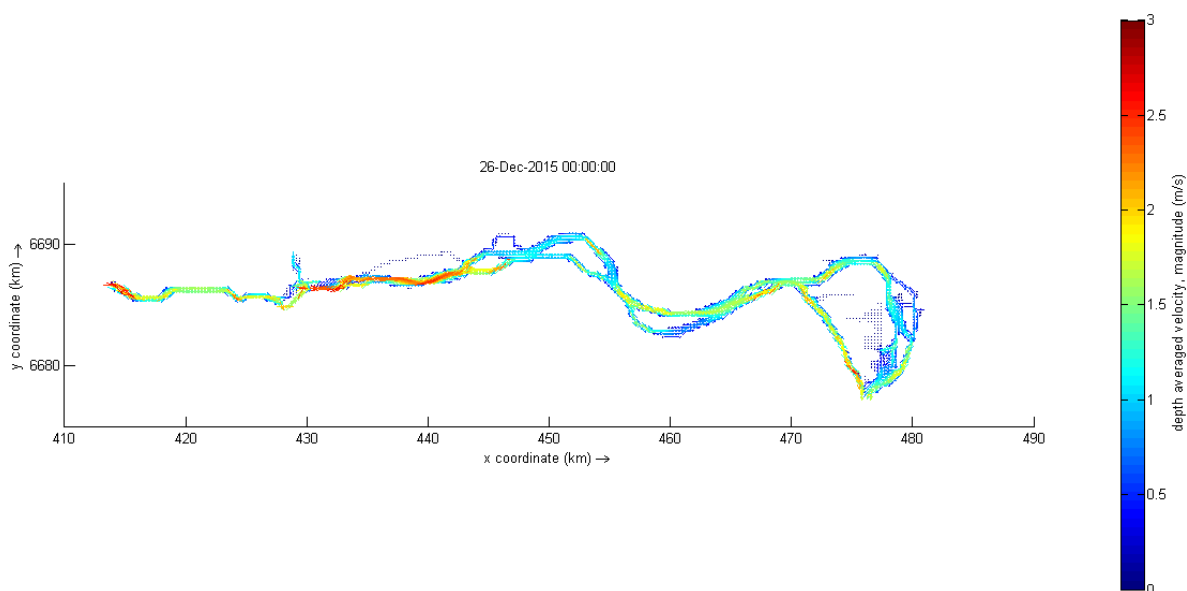
Contorno Laguna dos Patos	Nível (m)
Máximo	1,98
Média	0,61
Mínimo	0,02

### 3.3.1.1 Cenário: HIST\_CJ\_SG\_Nhist | Condição Real

O cenário HIST\_CJ\_SG\_Nhist considerou o período de 01/01/2006 a 31/12/2015 (Hist), com mineração no Baixo Jacuí (CJ) e sem mineração no Lago Guaíba (SG). Este cenário simula a condição atual dos sistemas Baixo Jacuí e Lago Guaíba. Para a condição de contorno Laguna dos Patos, no Módulo III, foi utilizada a série temporal de nível de água da estação ANA Arambaré (Nhist).

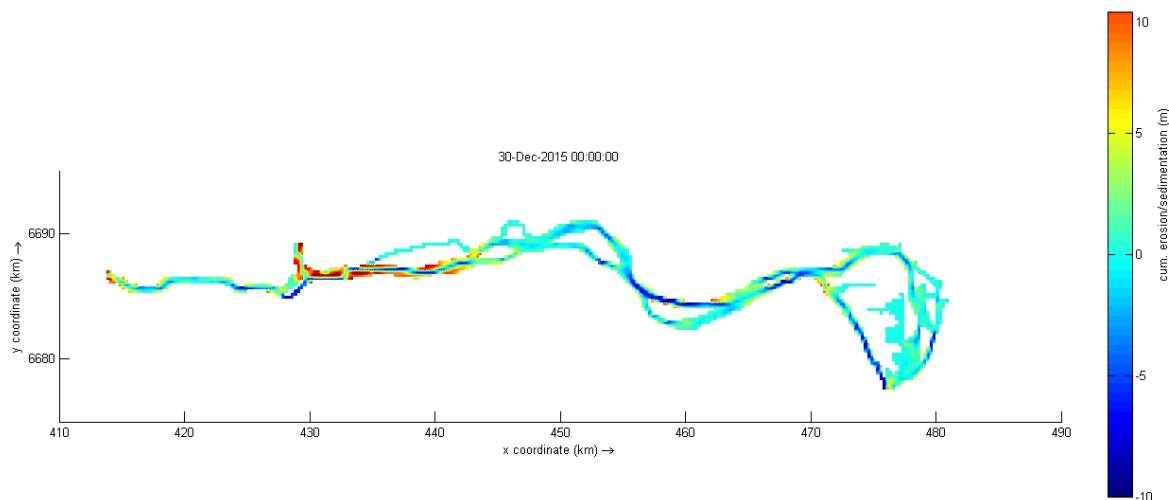
A FIGURA 16 apresenta a magnitude do campo de velocidade, do Baixo Jacuí, no dia 26/12/2015 que apresentou o maior valor de descarga líquida do período (Contorno Jacuí). Com a entrada de 12288,44 m<sup>3</sup>/s de água, a velocidade máxima no mesmo período foi de 2,5 m/s. As maiores velocidades ocorreram próximas ao contorno Jacuí e logo após a desembocadura do rio Taquari-Antas.

**FIGURA 16. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO HISTÓRICO - COM MINERAÇÃO  
DESCARGA LÍQUIDA = 12288,44 m<sup>3</sup>/s**



O mapa da dinâmica de erosão e deposição de sedimentos no Baixo Jacuí, é apresentada na FIGURA 17. Após os 10 anos de simulação (01/01/2006 a 31/12/2015) e considerando a atividade de mineração, a erosão máxima foi de 10 m no trecho minerado próximo a desembocadura do rio Taquari-Antas, o que corresponde a profundidade máxima permitida para a região de 11 m (TABELA 10). Entretanto, em áreas onde não foram considerados os processos de mineração, que apresentam o estreitamento do canal, foi possível observar taxas de erosão da mesma ordem de grandeza das áreas mineradas. A maior taxa de deposição, cerca de 7 m, ocorreu na região de desembocadura do Contorno Taquari-Antas.

**FIGURA 17. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUI – CENÁRIO HISTÓRICO – COM MINERAÇÃO**



O mapa do campo de velocidade para o Módulo III, em um período de alta descarga líquida pode ser observado na FIGURA 18. As maiores velocidades ocorrem na desembocadura do Baixo Jacuí, entretanto não passam da ordem de 2,4 m/s. Velocidades entre 1 e 1,5 m/s seguem ao longo do canal de navegação. Regiões de quase estagnação (0,02 m/s) ocorrem nas margens do lago.

As áreas de deposição e erosão de sedimentos (FIGURA 19) variaram entre 2,4 m e -1 m. O maior déficit de sedimentos ocorre próximo ao Contorno Laguna dos Patos, devido principalmente à ação das ondas no contorno. Regiões de erosão podem ser encontradas na margem esquerda do domínio, correspondendo a áreas já descritas na literatura, e próximo à desembocadura do Delta do Jacuí. As maiores taxas de deposição de sedimentos, cerca de 2,3 m, ocorrem na entrada do Lago Guaíba.

FIGURA 18. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO – CJ\_SG

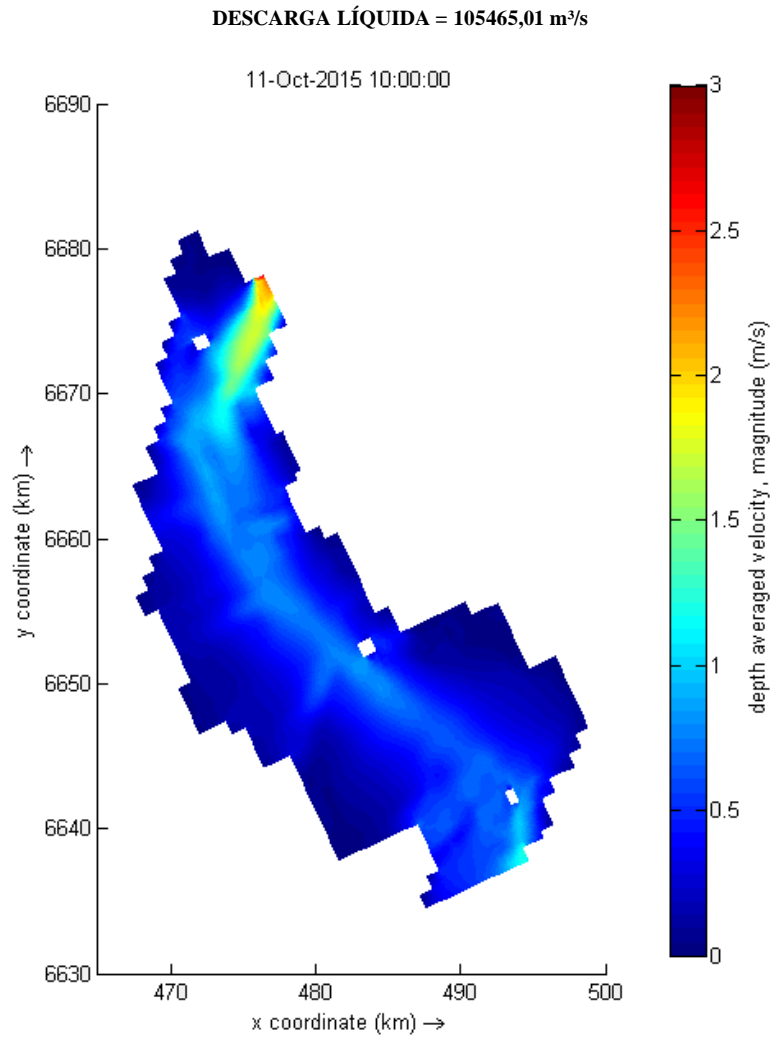
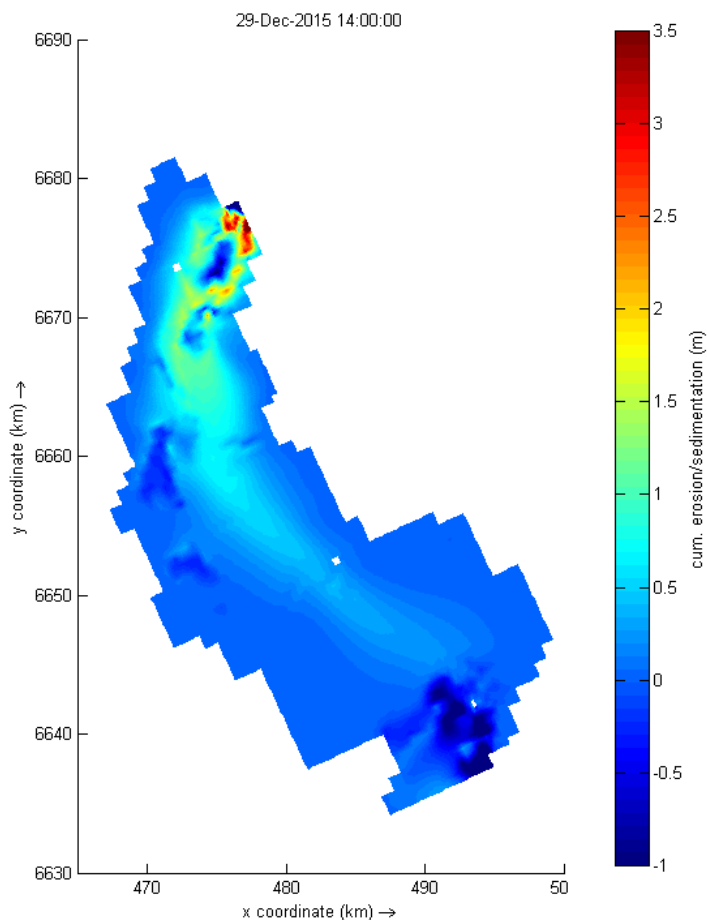


FIGURA 19. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO – CJ\_SG

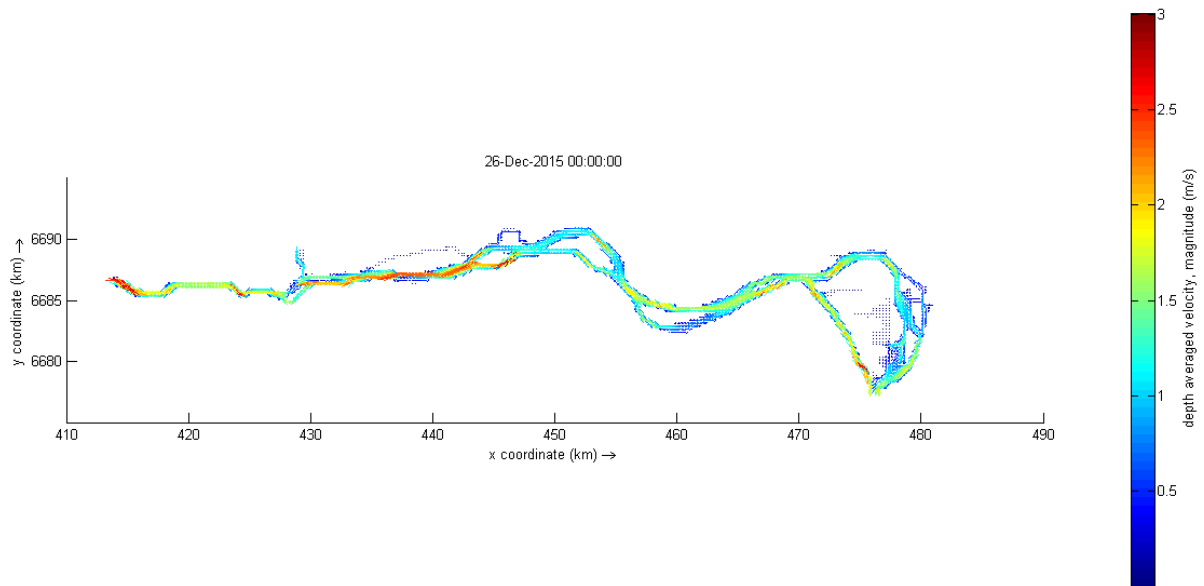


### 3.3.1.2 Cenário: HIST\_SJ\_SG\_Nhist | Condição Hipotética Natural

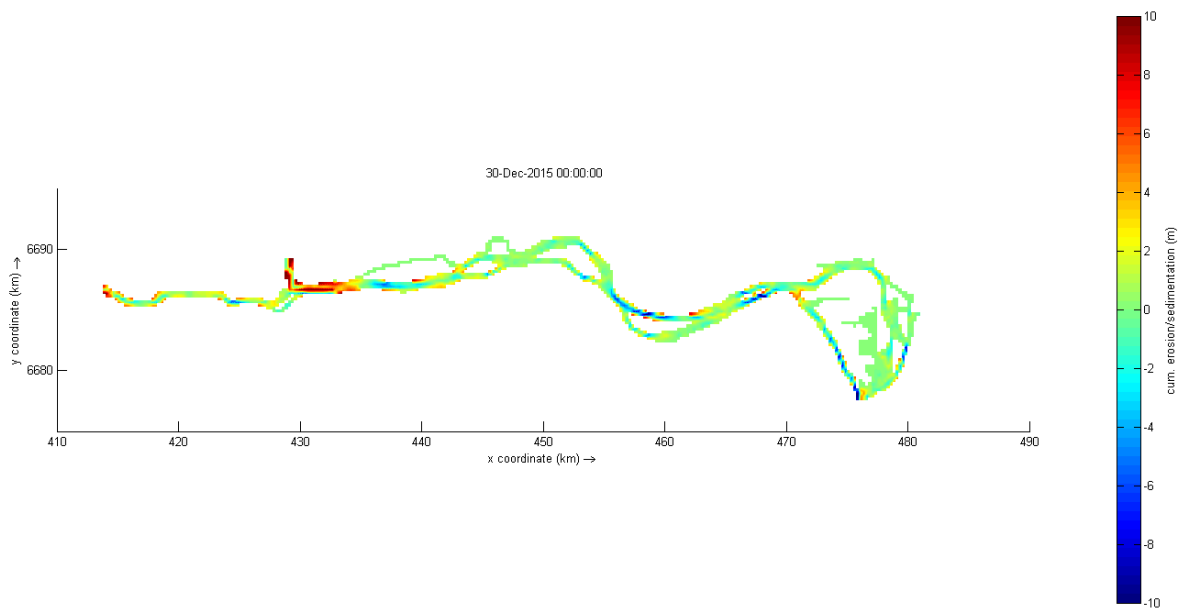
Um segundo cenário histórico foi simulado para avaliar a condição hipotética natural, em que não ocorre mineração no Baixo Jacuí (SJ) e no Lago Guaíba (SG).

A máxima velocidade encontrada (FIGURA 20), no dia 26/12/2005, em que ocorreu a maior entrada de descarga líquida no sistema, foi de cerca de 3,0 m/s. O mapa de erosão/deposição (FIGURA 21), gerado ao final do período de simulação (10 anos), apresentou a erosão máxima de -3 m de sedimentos, em regiões próximas ao delta e a máxima deposição, assim como para o cenário que considerou a atividade de mineração, ocorreu próximo à desembocadura do rio Taquari-Antas. Outras áreas de deposição, variando entre 1 e 4 m, são encontradas no entorno do Contorno Jacuí.

**FIGURA 20. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO HISTÓRICO - SEM MINERAÇÃO  
DESCARGA LÍQUIDA = 13720,97 m<sup>3</sup>/s**



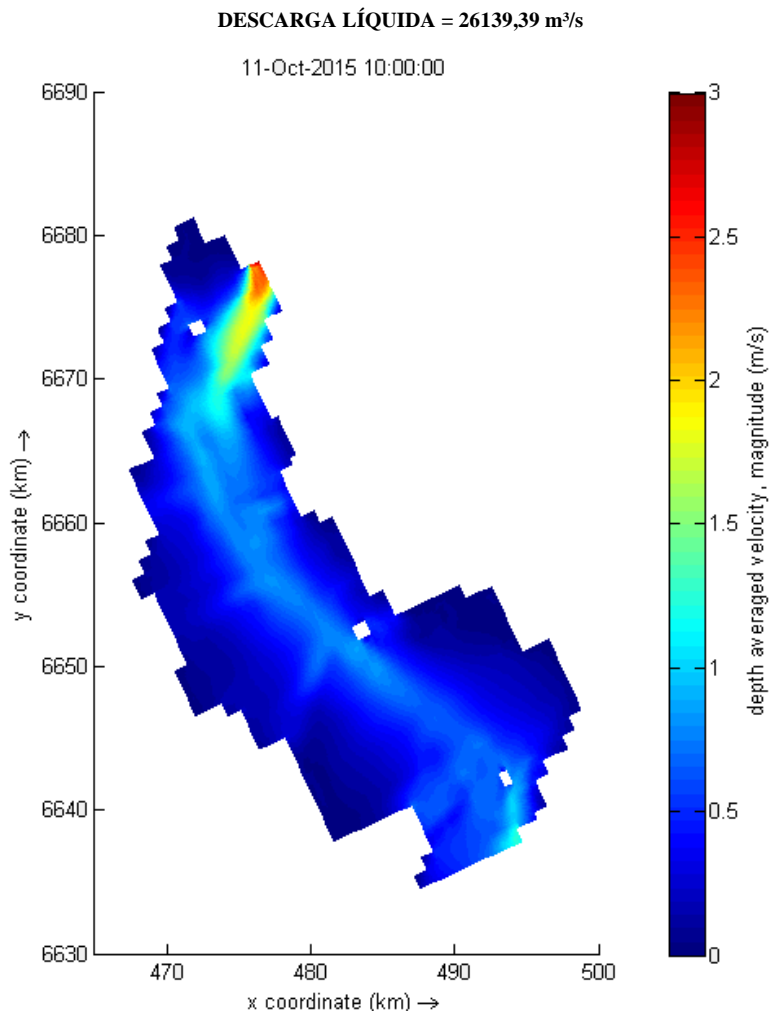
**FIGURA 21. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO HISTÓRICO – SEM MINERAÇÃO**



A FIGURA 22 apresenta o mapa do campo de velocidade para o dia 11 de outubro de 2015, quando a vazão atingiu o valor máximo de 26139,39 m<sup>3</sup>/s. Como comentado anteriormente, os fluxos mais intensos ocorrem próximos a desembocadura do Rio Jacuí, apresentando velocidades entre 2,5 e 3,0 m/s. A corrente segue o fluxo do lago, e atinge velocidades entre 1,5 e 2,0 m/s no canal de navegação na entrada do Guaíba. Conforme o corpo de água se expande, as maiores velocidades continuam

ocorrendo ao longo do canal de navegação, porém com velocidades da ordem de 1,0 m/s. Próximo às margem, em áreas abrigadas, as velocidades apresentam os menores valores de cerca de 0,02 m/s.

FIGURA 22. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO – SJ\_SG

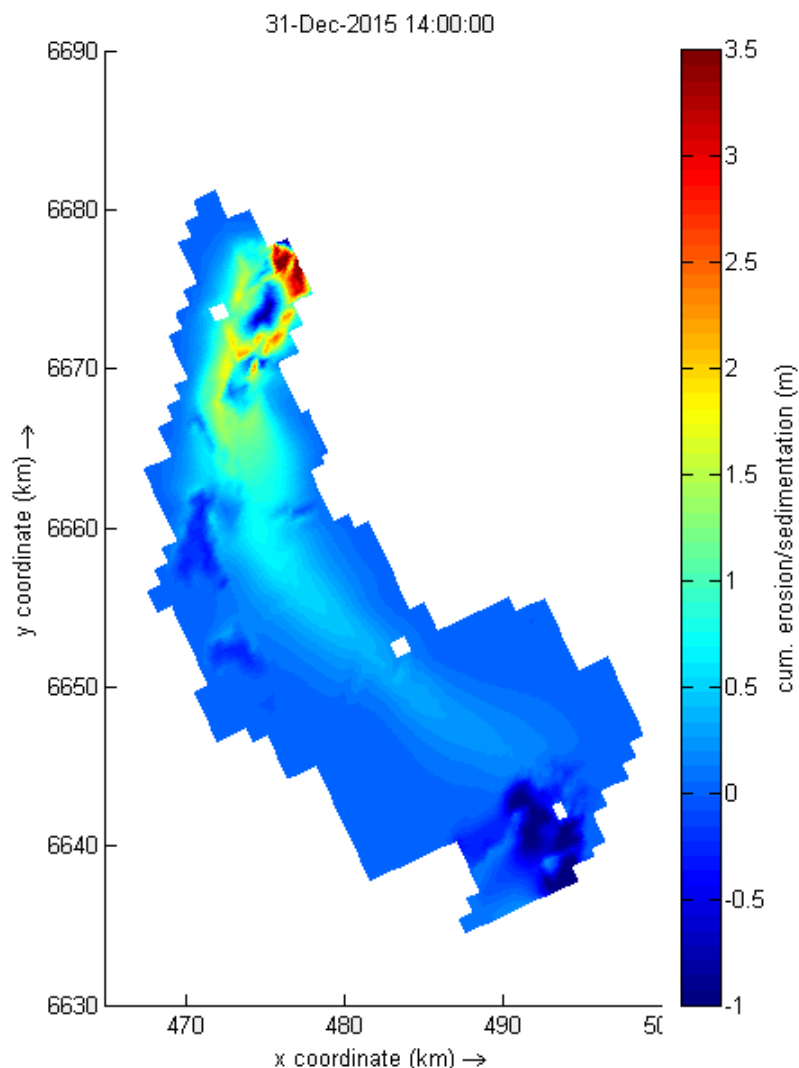


A FIGURA 23 apresenta o mapa de erosão/sedimentação para o cenário HIST\_SJ\_SG\_Nhist. As áreas de deposição ocorreram desde a montante do Lago Guaíba, chegando próximo da desembocadura do lago, sendo as áreas próximas a desembocadura do Delta do Jacuí com a maior acúmulo de sedimentos, cerca de 3,5 m ao longo dos 10 anos simulados.

Com relação aos ambientes erosionais, devido às condições de ondas impostas no modelo, estes ocorreram de maneira mais pronunciada próximo à margem esquerda e à desembocadura do lago. A retirada de sedimentos destes locais chegou a 1 m. Regiões de estabilidade, onde não ocorreram erosão ou deposição, representam a maior parte do lago.



FIGURA 23. MAPA DE EROSIÃO / SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAIBA – CENÁRIO HISTÓRICO - SJ\_SG



### 3.3.2 Cenário Desflorestamento

As análises estatísticas das séries temporais de descarga líquida e descarga sólida utilizadas nos contornos do Módulo II, para o período de 01/01/2016 a 31/12/2030 no cenário de desflorestamento, são apresentadas na TABELA 20 e TABELA 21. Para respeitar as condições de conservação de massa, no Contorno Baixo Jacuí (contorno aberto) foi utilizada uma série temporal de nível de água com valor constante (nível de referência do modelo = 0 m).

Os dados de vazão líquida e sólida simuladas pelo modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos do Baixo Jacuí (Módulo II), para o contorno do Módulo III, são apresentados na TABELA 22. No contorno Laguna dos Patos, foram inseridos dados de nível de água baseados na estação fluviométrica Arambaré e considerando a projeção de aumento de nível do mar (0,10 m) para o ano de

2030 (TABELA 23). O campo de ondas inserido no modelo foi considerado constante com amplitude máxima de onda de 0,55 m, período de 1,8 segundos e direção de 130°.

TABELA 20. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA LÍQUIDA – MÓDULO II – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

Descarga líquida (m <sup>3</sup> /s)	Contorno Jacuí	Contorno Taquari-Antas	Contorno Caí	Contorno Sinos	Contorno Gravataí
<b>Máxima</b>	14115,84	10965,60	2210,89	1877,53	447,90
<b>Média</b>	1382,51	631,79	110,76	95,31	51,46
<b>Mínima</b>	249,99	39,17	1,02	8,43	5,57
<b>Q90</b>	518,06	141,88	19,64	23,77	15,64

TABELA 21. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA SÓLIDA – MÓDULO II – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

Descarga sólida (ton/dia)	Contorno Jacuí	Contorno Taquari-Antas	Contorno Caí	Contorno Sinos	Contorno Gravataí
<b>Máxima</b>	59363,71	138413,11	113585,14	503765,19	73789,30
<b>Média</b>	4623,18	5559,83	9333,38	10099,91	10914,93
<b>Mínima</b>	218,25	22,01	236,61	136,65	209,30
<b>Q90</b>	1008,57	296,80	1923,58	1100,06	2996,98

TABELA 22. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

Contorno Baixo Jacuí	Descarga Líquida (m <sup>3</sup> /s)	Descarga Sólida (ton/dia)
<b>Máxima</b>	26673,00	901013,79
<b>Média</b>	2061,90	48648,13
<b>Mínima</b>	70,00	1075,10
<b>Q90</b>	710,00	8664,45

TABELA 23. VALORES MÁXIMO, MÉDIO E MÍNIMO DA SÉRIE TEMPORAL DE NÍVEL – CONTORNO LAGUNA DOS PATOS – MÓDULO III – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

Contorno Laguna dos Patos	Nível (m)
<b>Máximo</b>	2,08
<b>Média</b>	0,56
<b>Mínimo</b>	0,1

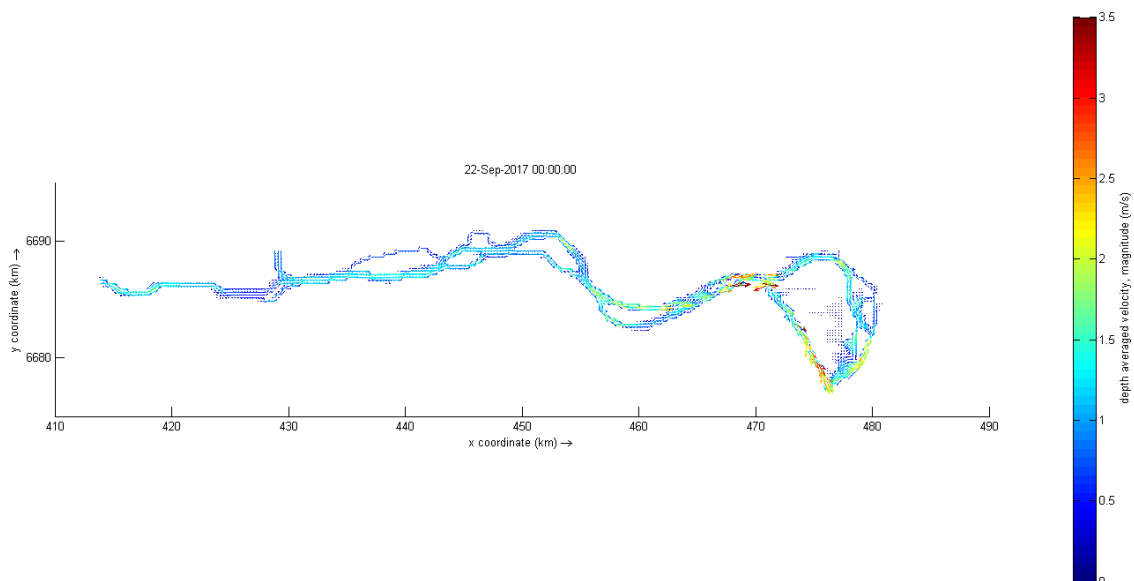
### 3.3.2.1 Cenário: ES\_Desm\_SJ\_CG\_NA | Cenário Hipotético

O cenário ES\_Desm\_SJ\_CG\_NA representa a condição de maior aporte de sedimentos no Baixo Jacuí e no Lago Guaíba, considerando o desflorestamento (Desm) na Bacia do Lago Guaíba, o Baixo Jacuí sem o processo de mineração (SJ), com o intuito de favorecer o processo de mineração no lago (CG). Em conjunto, neste cenário foi considerado a projeção de aumento do nível do mar para o ano de 2030 de 0,1 m na série temporal de nível de água no Contorno Laguna dos Patos (NA).

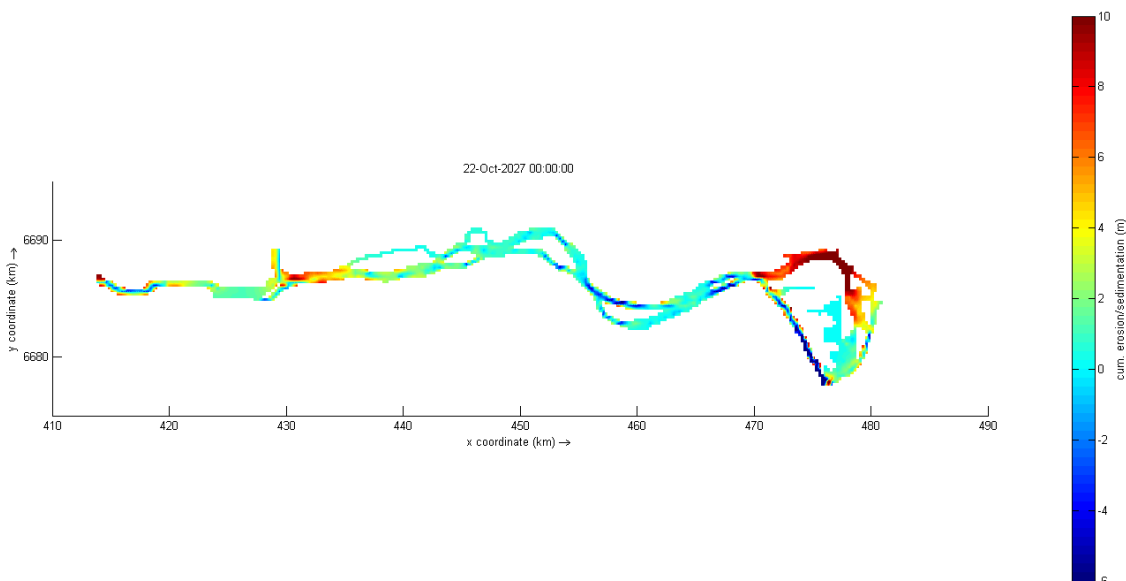
Diferente das simulações históricas, as maiores velocidades (entre 3,0 e 3,5 m/s) ocorreram no delta do Baixo Jacuí até a sua desembocadura (FIGURA 24). Devido à grande entrada de descarga sólida nos contornos Caí, Sinos e Gravataí, em conjunto com menores vazões líquidas quando comparados com os contornos Jacuí e Taquarí-Antas, ocorreu uma alta deposição de sedimentos próximo a desembocadura desses rios, chegando a um aumento de cerca de 10 m de sedimentos em quase 12 anos de simulação (FIGURA 25). Esta alta deposição de sedimentos, próxima aos contornos de entrada do Módulo II, causou instabilidades no modelo impossibilitando o término do período de 15 anos de simulação (de 01/01/2016 a 31/12/2030). Devido a isto, a simulação do cenário ES\_Desm\_SJ\_CG\_NA ocorreu de 01/01/2016 a 2027.

Com a deposição de sedimentos na parte superior do Delta do Baixo Jacuí o curso principal de água, em direção ao Lago Guaíba, seguiu pelo canal esquerdo do delta. Ocorreu o aumento da velocidade das correntes no local, o que contribuiu com os processos erosionais representando em cerca de -6 m de sedimentos no final do período de simulação.

**FIGURA 24. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIIXO JACUI – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO – SEM MINERAÇÃO – DESCARGA LIQUIDA = 14115,84 m<sup>3</sup>/s**



**FIGURA 25. MAPA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUI – CENARIO DESFLORESTAMENTO – SEM MINERAÇÃO**



A FIGURA 26 apresenta o mapa do campo de velocidade para o dia 20 de setembro de 2017, quando a vazão atingiu o valor máximo de 26673,00 m<sup>3</sup>/s. Os fluxos mais intensos ocorreram próximos a desembocadura do Rio Jacuí, apresentando velocidades entre 1,6 e 2,3 m/s. A corrente segue o fluxo do lago, e atinge velocidades entre 1,2 e 1,5 m/s no canal de navegação na entrada do Guaíba. Conforme o corpo de água se expande, as maiores velocidades continuam ocorrendo ao longo do canal de navegação, porém com velocidades da ordem de 1,0 m/s. Próximo às margens, em áreas abrigadas, as velocidades apresentam os menores valores de cerca de 0,2 m/s.

Quando analisado o transporte de sedimentos em suspensão (não apresentado), o aumento do nível de água no Contorno Laguna dos Patos não apresentou influência no fluxo de sedimentos coesivos do Lago Guaíba em direção à laguna. A variação da descarga líquida, quando comparada com o nível de água, mostrou ser o fator determinante no transporte de sedimentos finos em suspensão. Mais informações sobre o transporte de sedimentos no Lago Guaíba podem ser encontradas no *Produto P04 – Relatório da Modelagem Hidrodinâmica e de Transporte de Sedimentos do Lago Guaíba – Módulo III*.

O mapa de erosão/sedimentação para o cenário ES\_Desm\_SJ\_CG\_NA é demonstrado na FIGURA 27. Nota-se que apesar de ser considerado o processo de mineração não é possível observar a influência direta da atividade no mapa da dinâmica sedimentar. A erosão máxima foi de 3,0 m e a deposição máxima de 8,5 m. Vale ressaltar que, mesmo no cenário de maior aporte de sedimentos, a deposição de sedimentos ocorre essencialmente na região norte do domínio, dificultando o reabastecimento de sedimentos nos ambientes erosivos ao sul do lago.

FIGURA 26, MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAIBA – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO – SJ\_CG  
DESCARGA LÍQUIDA = 26673,00 m<sup>3</sup>/s

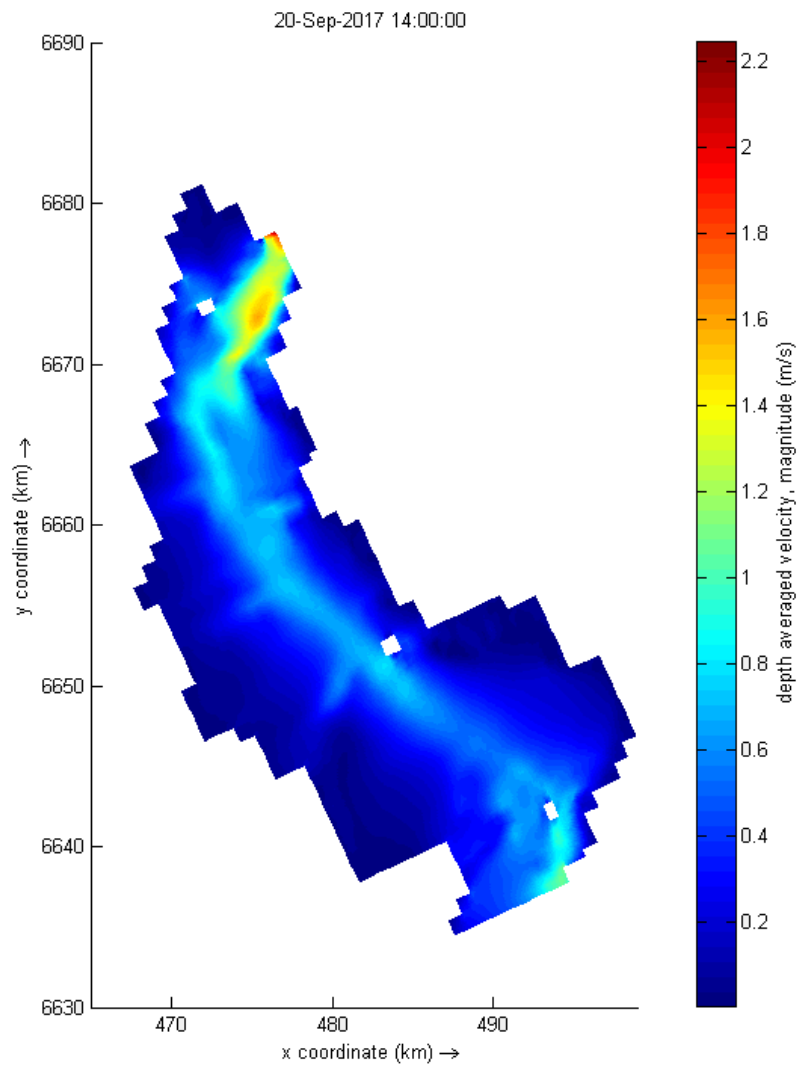
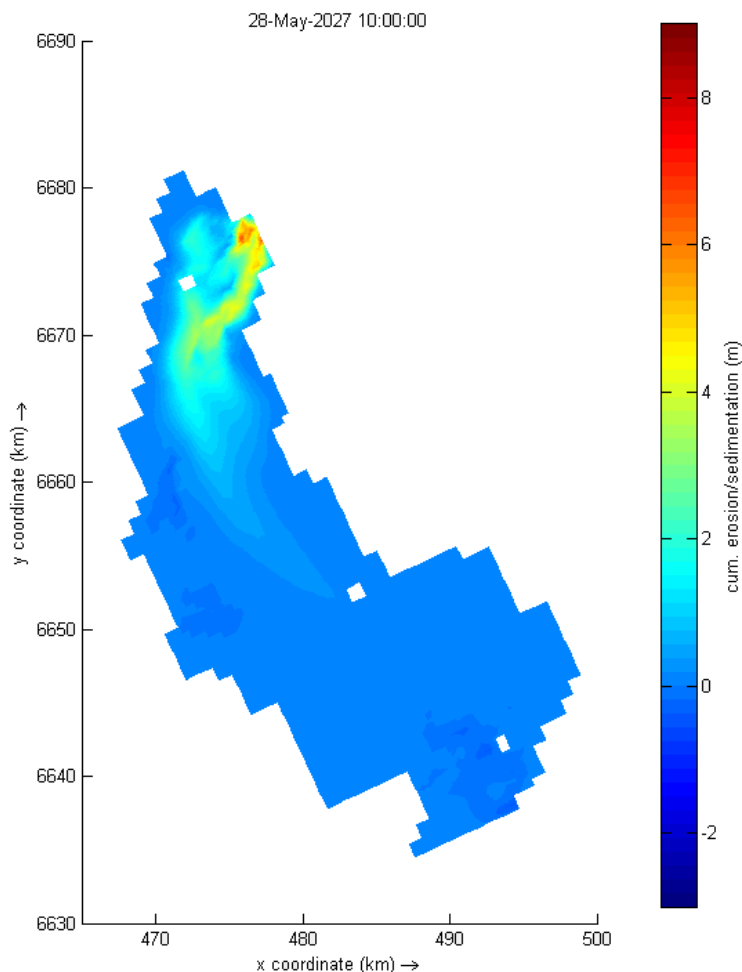


FIGURA 27. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO – SJ\_CG



### 3.3.3 Cenários Tendenciais

As análises estatísticas das séries temporais de descarga líquida e descarga sólida utilizadas nos contornos do Módulo II, para o período de 01/01/2016 a 31/12/2030, são apresentadas na TABELA 24 e TABELA 25. Para respeitar as condições de conservação de massa, no Contorno Baixo Jacuí (contorno aberto) foi utilizada uma série temporal de nível de água com valor constante (nível de referência do modelo = 0 m).

Para a modelagem do Módulo III foram utilizados dados de vazão líquida e sólida simuladas pelo modelo hidrodinâmico e de transporte de sedimentos do Baixo Jacuí (Módulo II). Os dados, em frequência diária do período, foram obtidos para o contorno de entrada do Módulo III (Contorno Baixo Jacuí) e inseridos no modelo hidrodinâmico do Lago Guaíba. As condições de entrada geradas considerando a atividade de mineração é apresentada na TABELA 26, e na TABELA 27 são

apresentadas as séries temporais de descarga líquida e sólida sem condiderar o processo de mineração no trecho final do Baixo Jacuí.

No contorno Laguna dos Patos foram inseridos dados de nível de água baseados na estação fluviométrica Arambaré e um campo de ondas constante com amplitude máxima de onda de 0,55 m, período de 1,8 segundos e direção de 130°. Na TABELA 28 são apresentadas as informações estatísticas da série temporal do Contorno Laguna dos Patos.

TABELA 24. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA LÍQUIDA – MÓDULO II – CENÁRIO TENDENCIAL

Descarga líquida (m <sup>3</sup> /s)	Contorno Jacuí	Contorno Taquari-Antas	Contorno Caí	Contorno Sinos	Contorno Gravataí
<b>Máxima</b>	14235,62	12767,20	2534,12	2096,76	518,67
<b>Média</b>	1184,52	474,94	85,67	78,26	44,54
<b>Mínima</b>	219,39	27,21	0,90	6,86	3,71
<b>Q90</b>	437,64	111,84	14,23	18,74	12,32

TABELA 25. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DAS SÉRIES TEMPORAIS DE DESCARGA SÓLIDA – MÓDULO II - CENÁRIO TENDENCIAL

Descarga sólida (ton/dia)	Contorno Jacuí	Contorno Taquari-Antas	Contorno Caí	Contorno Sinos	Contorno Gravataí
<b>Máxima</b>	37445,92	73793,45	27419,75	66096,45	45103,86
<b>Média</b>	2497,67	1812,14	1023,50	1154,20	3653,61
<b>Mínima</b>	133,07	12,79	13,36	16,53	60,55
<b>Q90</b>	532,50	117,36	151,69	80,98	692,44

TABELA 26. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III - CENÁRIO MP COM MINERAÇÃO NO BAIXO JACUÍ

Contorno Baixo Jacuí	Descarga líquida (m <sup>3</sup> /s)	Descarga sólida (ton/dia)
<b>Máxima</b>	24730,0	210544,35
<b>Média</b>	1867,94	3685,25
<b>Mínima</b>	261,0	121,62
<b>Q90</b>	656,30	168,26

**TABELA 27. VALORES MÁXIMOS, MÉDIOS, MÍNIMOS E Q90 DA SÉRIE TEMPORAL DE DESCARGA LÍQUIDA E SÓLIDA – CONTORNO BAIXO JACUÍ – MÓDULO III - CENÁRIO MP SEM MINERAÇÃO NO BAIXO JACUÍ**

Contorno Baixo Jacuí	Descarga líquida (m³/s)	Descarga sólida (ton/dia)
<b>Máxima</b>	23698,2	217721,0
<b>Média</b>	1934,94	10195,6
<b>Mínima</b>	269,93	285,62
<b>Q90</b>	656,30	1925,54

**TABELA 28. VALORES MÁXIMO, MÉDIO E MÍNIMO DA SÉRIE TEMPORAL DE NÍVEL – CONTORNO LAGUNA DOS PATOS – MÓDULO III - CENÁRIO MP\_At\_CJ\_SG\_NHist**

Contorno Laguna dos Patos	Nível (m)
<b>Máximo</b>	1,98
<b>Média</b>	0,46
<b>Mínimo</b>	0,02

### 3.3.3.1 Cenário: MP\_At\_CJ\_SG\_Nhist | Cenário Futuro Mais Provável - Sem Mineração no Guaíba

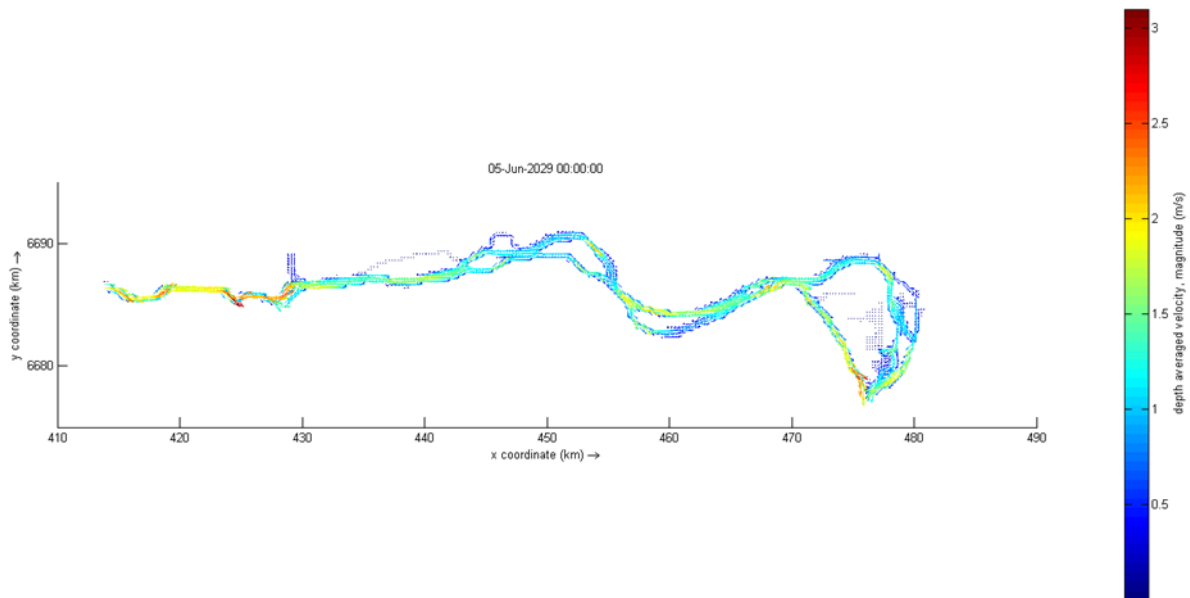
O cenário MP\_At\_CJ\_SG\_Nhist considerou o período de 01/01/2016 a 31/12/2030, com as condições mais prováveis (MP\_At) de uso e ocupação do solo e de clima, com mineração no Baixo Jacuí (CJ) e sem mineração no Lago Guaíba (SG).

A FIGURA 28 apresenta a magnitude do campo de velocidade, do Baixo Jacuí, no dia 05/06/2029 que apresentou 13552,00 m³/s de descarga líquida (Contorno Jacuí). A velocidade máxima foi de 3,3 m/s e ocorreram próximas ao contorno Jacuí. Ao longo do domínio, a velocidade variou entre 1,3 e 2 m/s.

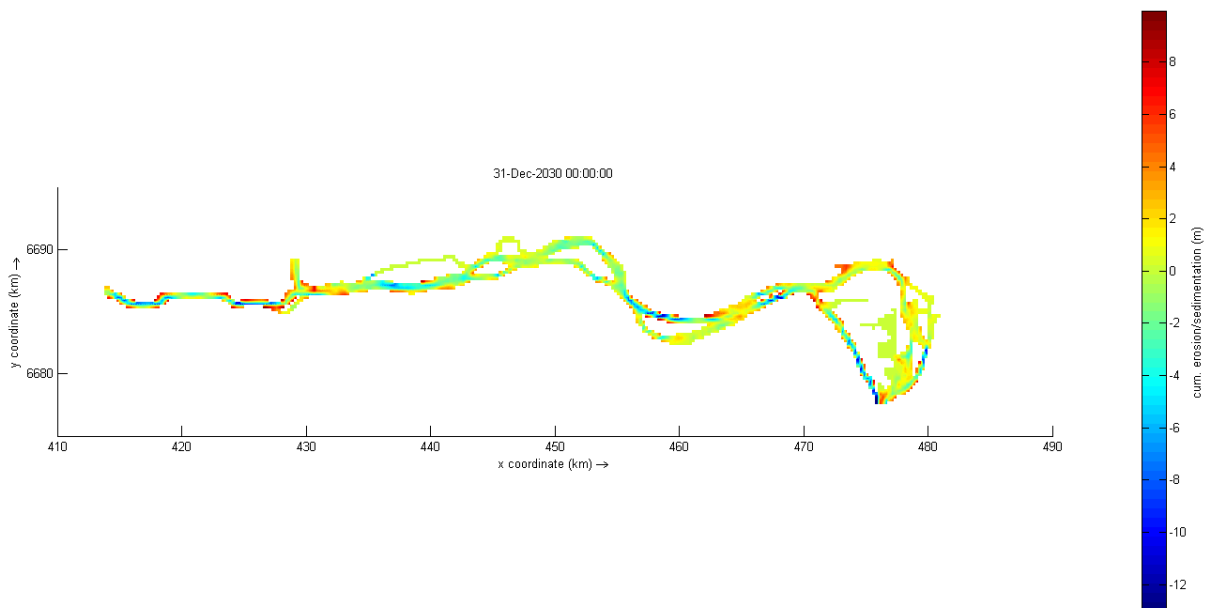
O mapa de erosão/sedimentação é demonstrado na FIGURA 29. Observa-se pontos de erosão em áreas de mineração e no canal esquerdo do delta do Jacuí. Zonas de sedimentação de até 8 m ocorrem nas margens do Baixo Jacuí próximo à desembocadura do rio Taquarí-Antas.



**FIGURA 28. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO – DESCARGA LÍQUIDA = 13552 m<sup>3</sup>/s**



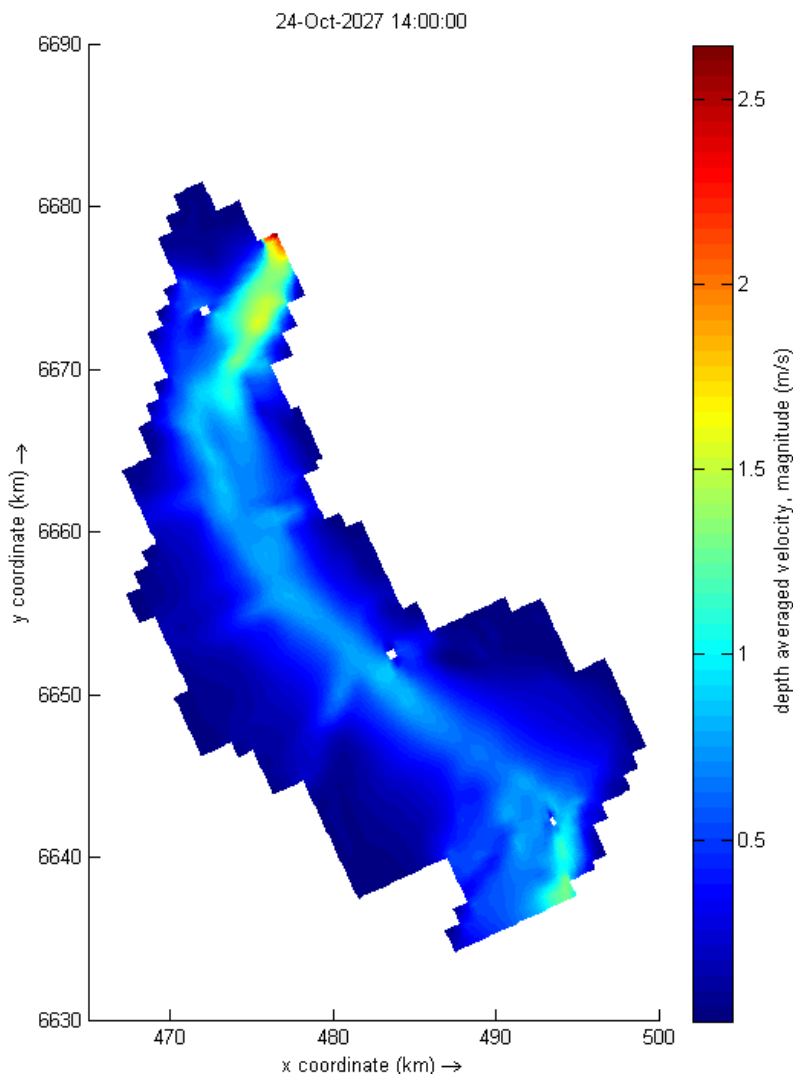
**FIGURA 29. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO**



A FIGURA 30 apresenta o mapa do campo de velocidade para o dia 24 de outubro de 2027, quando a vazão atingiu o valor máximo de 23698,2 m<sup>3</sup>/s. Como comentado anteriormente, os fluxos mais intensos ocorrem próximos a desembocadura do Rio Jacuí, apresentando velocidades até 2,6 m/s. A corrente segue o fluxo do lago e atinge velocidades entre 1,5 e 2,0 m/s no canal de navegação na entrada do Guaíba. Conforme o corpo de água se expande, as maiores velocidades continuam ocorrendo

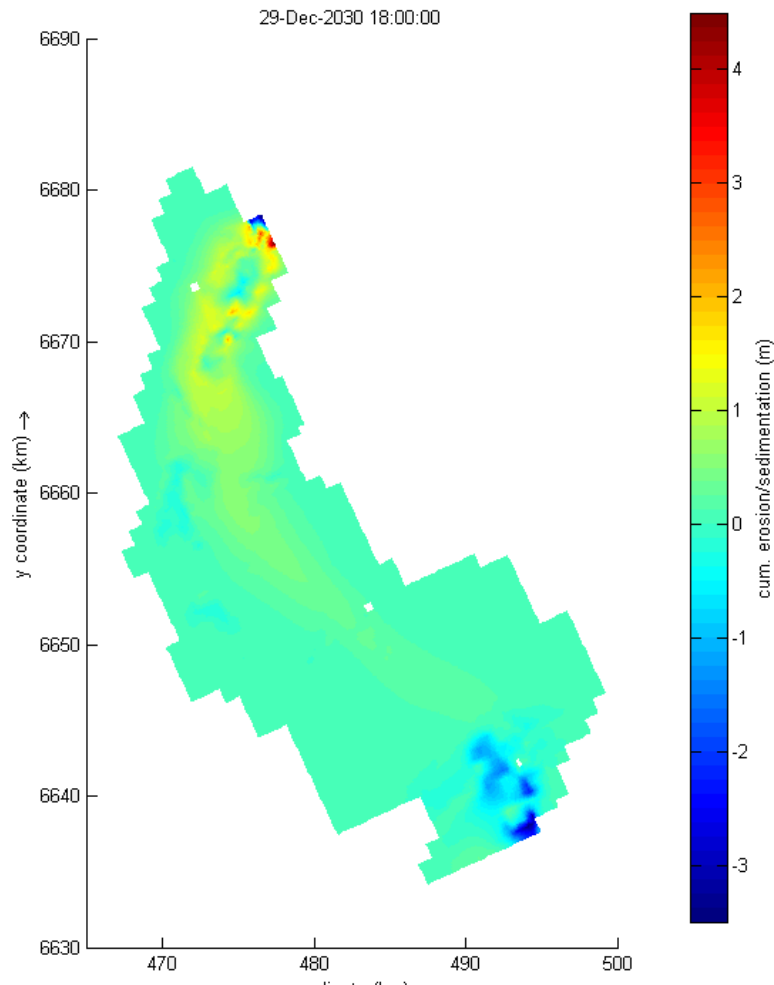
ao longo do canal de navegação, porém com velocidades da ordem de 1,0 m/s. Próximo as margem, em áreas abrigadas, as velocidades apresentam os menores valores de cerca de 0,02 m/s.

**FIGURA 30. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ\_SG – DESCARGA LÍQUIDA = 23698,2 m<sup>3</sup>/s**



Ao final dos 15 anos de período simulado, o mapa de erosão/deposição do Lago Guaíba (FIGURA 31), para o cenário mais provável com mineração no Jacuí e sem mineração no Guaíba, apresenta a maior extensão do domínio sem alterações de deposição ou retirada de sedimentos. Áreas de deposição ocorreram próximo a desembocadura do Baixo Jacuí, com a acumulação de até 3 m de sedimentos. A erosão máxima foi de 1,5 m no Contorno Laguna dos Patos, área de maior influência das forçantes de ondas inseridas no modelo.

FIGURA 31. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ\_SG



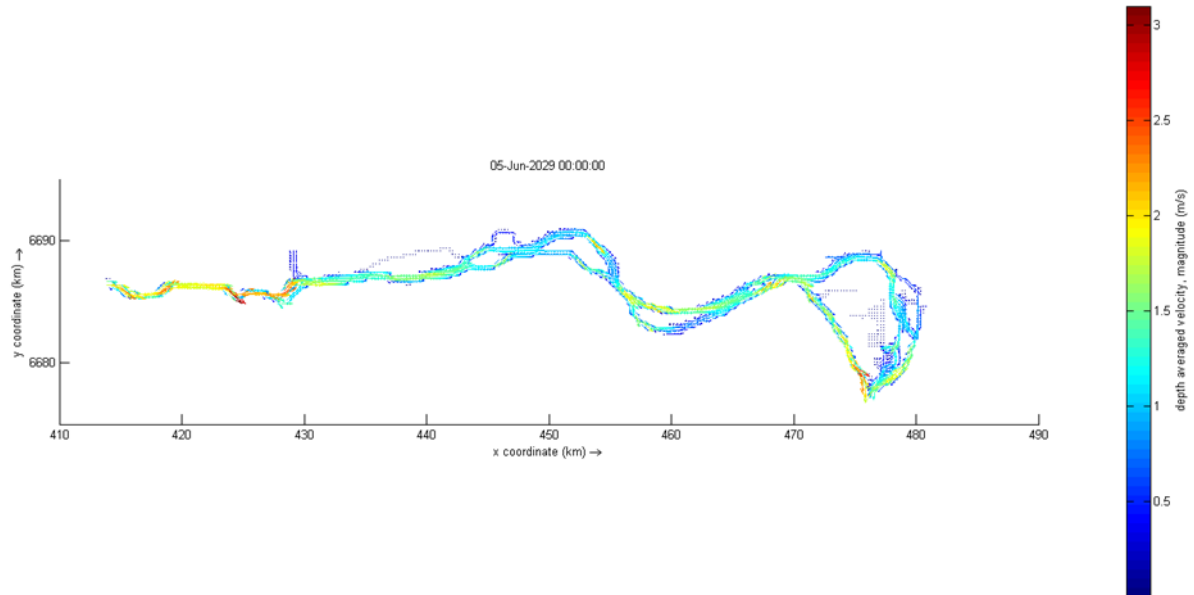
### 3.3.3.2 Cenário: MP\_At\_CJ\_CG\_Nhist | Cenário Futuro Mais Provável - Com Mineração no Guaíba

O cenário MP\_At\_CJ\_CG\_Nhist considerou o período de 01/01/2016 a 31/12/2030, com as condições mais prováveis (MP\_At) de uso e ocupação do solo e de clima, com mineração no Baixo Jacuí (CJ) e com mineração no Lago Guaíba (SG).

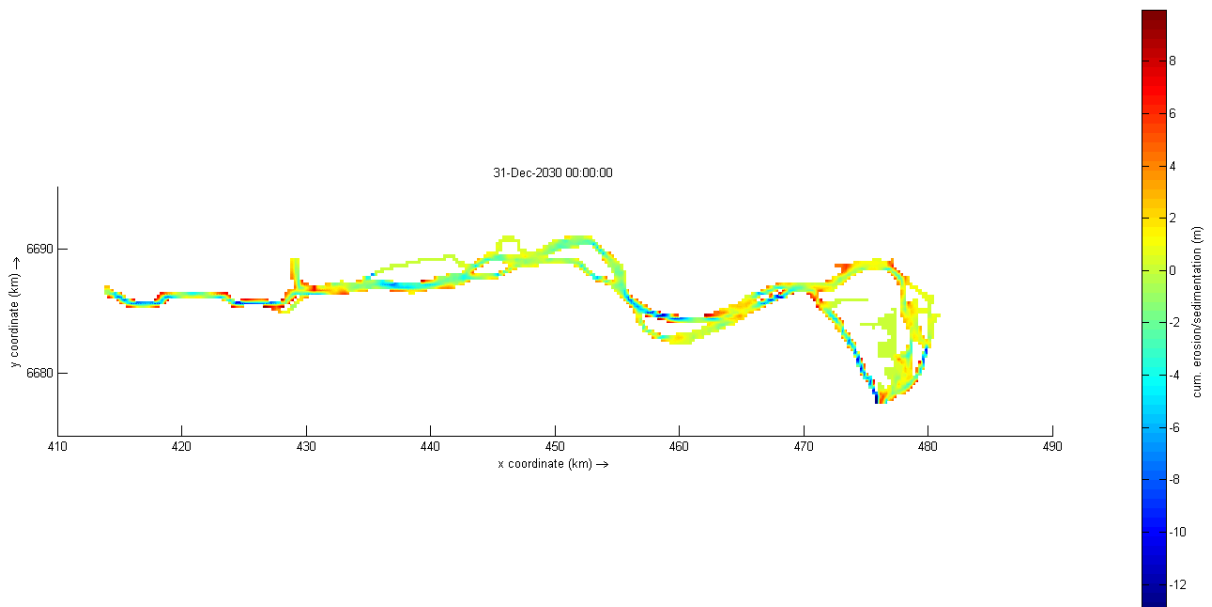
A FIGURA 32 apresenta a magnitude do campo de velocidade, do Baixo Jacuí, no dia 05/06/2029 que apresentou 13552,00 m<sup>3</sup>/s de descarga líquida (Contorno Jacuí). A velocidade máxima foi de 3,3 m/s e ocorreu próxima ao contono Jacuí. Ao longo do domínio a velocidade variou entre 1,3 e 2 m/s.

O mapa de erosão/sedimentação é demonstrado na FIGURA 33. Observa-se pontos de erosão em áreas de mineração e no canal esquerdo do delta do Jacuí. Zonas de sedimentação de até 8 m ocorrem nas margens do Baixo Jacuí próximo a desembocadura do rio Taquarí-Antas.

**FIGURA 32. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO – DESCARGA LÍQUIDA = 13552 m³/s**



**FIGURA 33. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – COM MINERAÇÃO**



O mapa do campo de velocidade para o Módulo III, em um período de alta descarga líquida, pode ser observado na FIGURA 34. As maiores velocidades ocorrem na desembocadura do Baixo Jacuí (2,7 m/s). Velocidades entre 1 e 1,5 m/s seguem ao longo do canal de navegação. Regiões de quase estagnação ocorrem nas margens do lago.

As áreas de deposição e erosão de sedimentos (FIGURA 35) variaram entre 2,5 m e -4 m. O maior déficit de sedimentos ocorre próximo ao Contorno Laguna dos Patos, região de entrada de ondas que parece ter sido evidenciado com a existência da Área 4 de mineração, quando comparada com a condição de não mineração no Guaíba (FIGURA 31). Outras áreas de mineração não são visíveis diretamente no mapa. As maiores taxas de deposição de sedimentos ocorrem na entrada do Lago Guaíba.

**FIGURA 34. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ.CG – DESCARGA LÍQUIDA = 23698,2 m<sup>3</sup>/s**

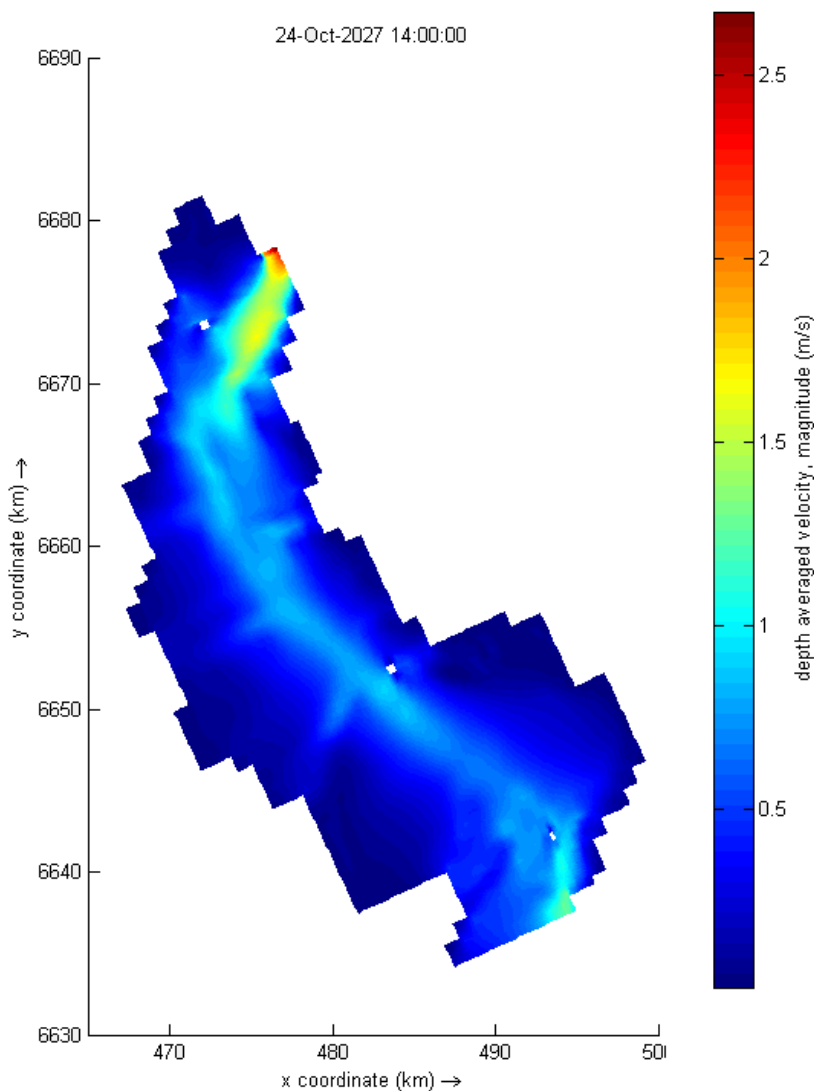
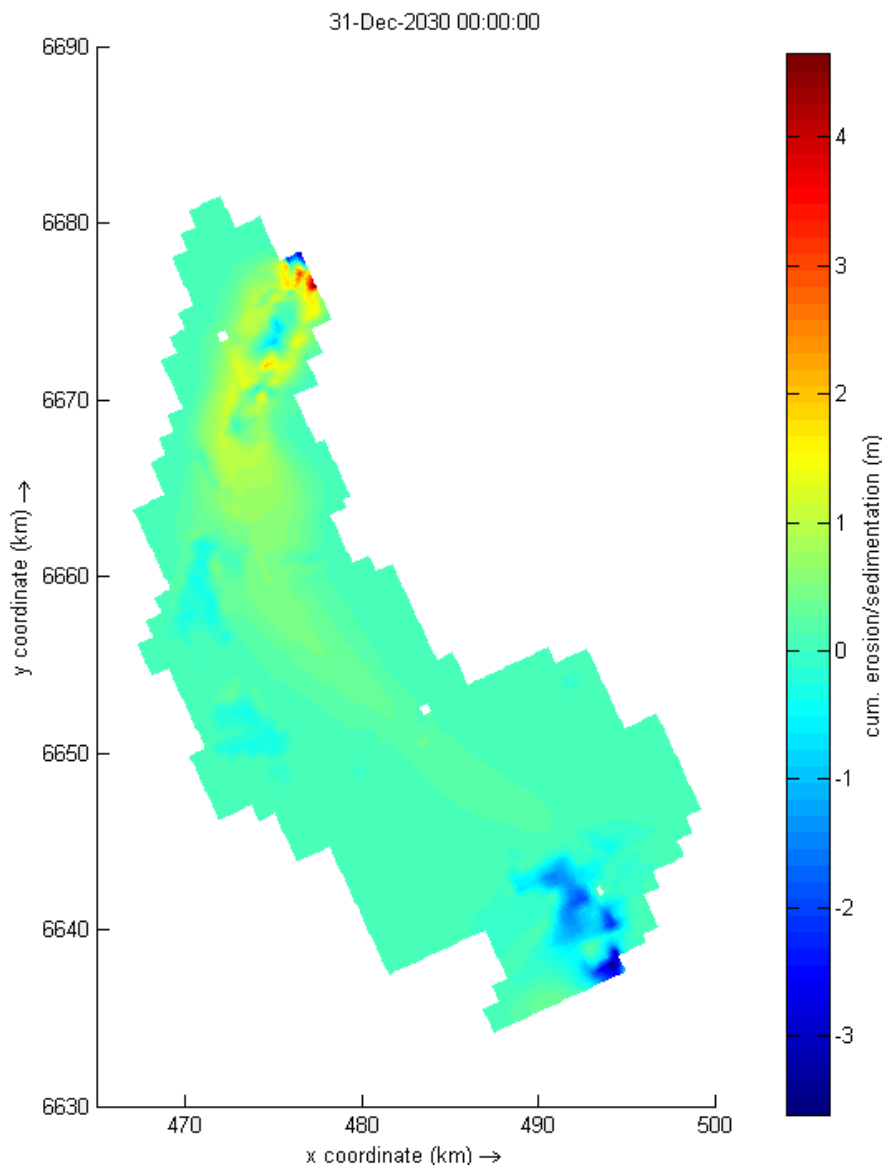


FIGURA 35. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – CJ\_CG



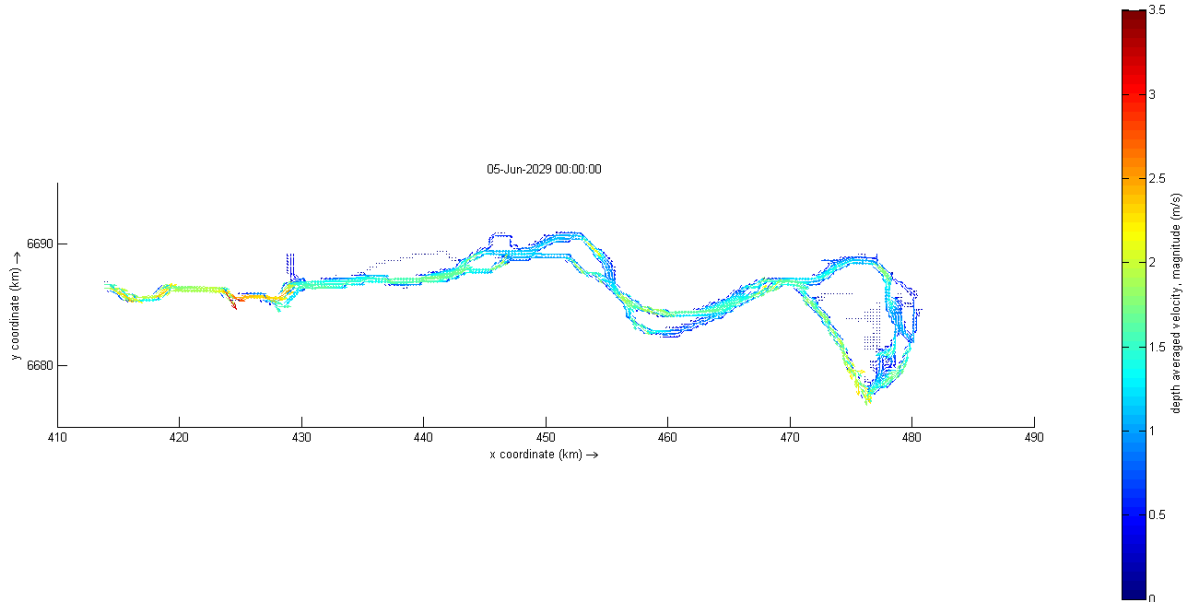
### 3.3.3.3 Cenário: MP\_At\_SJ\_CG\_Nhist | Cenário Futuro Mais Provável - Sem Mineração no Baixo Jacuí

O cenário MP\_At\_SJ\_CG foi simulado para avaliar o cenário mais provável, em que não ocorre mineração no Baixo Jacuí (SJ), porém com mineração no Lago Guaíba (CG).

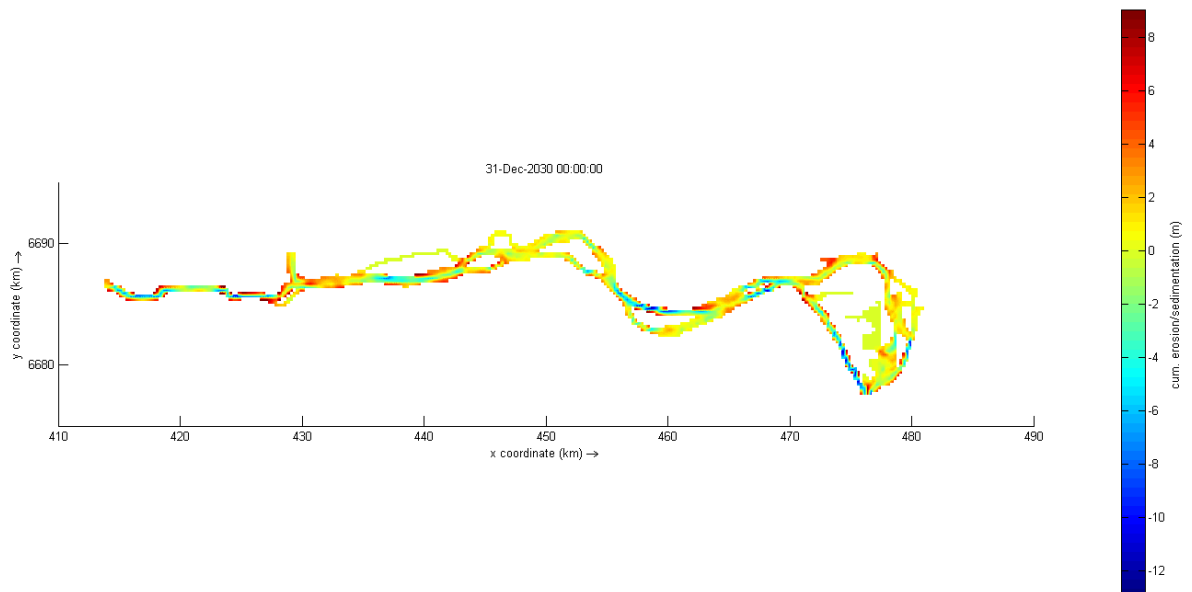
A máxima velocidade encontrada (FIGURA 36), no dia 05/06/2029, em que ocorreu a entrada 13552,0 m<sup>3</sup>/s de água no sistema, foi de cerca de 3,5 m/s. O mapa de erosão/deposição (FIGURA 37) gerado ao final do período de simulação (15 anos), apresentou a erosão máxima de -6 m de sedimentos,

em regiões próximas ao delta e a máxima deposição (6 m) assim como para o cenário que considerou a atividade de mineração, ocorreu próxima à desembocadura do rio Taquari-Antas e no entorno do Contorno Jacuí.

**FIGURA 36. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – SEM MINERAÇÃO – DESCARGA LÍQUIDA = 13552 m<sup>3</sup>/s**



**FIGURA 37. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – BAIXO JACUÍ – CENÁRIO TENDENCIAL – SEM MINERAÇÃO**



A FIGURA 38 apresenta o mapa do campo de velocidade para o dia 24/10/2027, quando a vazão atingiu o valor máximo de 23698,2 m<sup>3</sup>/s. O fluxos mais intensos ocorreram próximos à desembocadura do rio Jacuí, apresentando velocidades até 2,3 m/s. A corrente segue o fluxo do lago e atinge velocidades entre 1,5 e 2,0 m/s no canal de navegação na entrada do Guaíba. Conforme o corpo de água se expande, as maiores velocidades continuam ocorrendo ao longo do canal de navegação, porém com velocidades da ordem de 1,2 m/s. Próximo às margem, em áreas abrigadas, ocorrem as menores velocidades.

O mapa de erosão/sedimentação para o cenário MP\_At\_SJ\_CG\_Nhist é demonstrado na FIGURA 39. Nota-se que apesar de ser considerado o processo de mineração não é possível observar a influencia direta da atividade no mapa da dinâmica sedimentar. A erosão máxima foi de 4,0 m e a deposição máxima foi cerca de 3,0 m. Assim como para os outros cenário simulados, a deposição de sedimentos ocorre essencialmente na região norte do domínio.

**FIGURA 38. MAGNITUDE DO CAMPO DE VELOCIDADE – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – SJ\_CG – DESCARGA LÍQUIDA =**

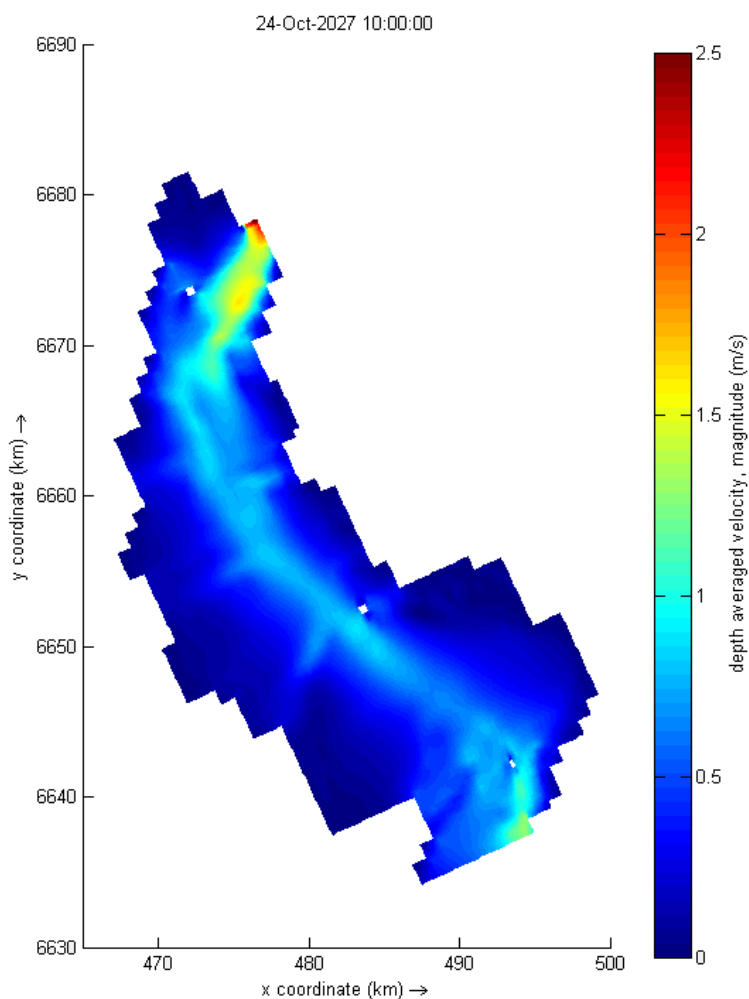
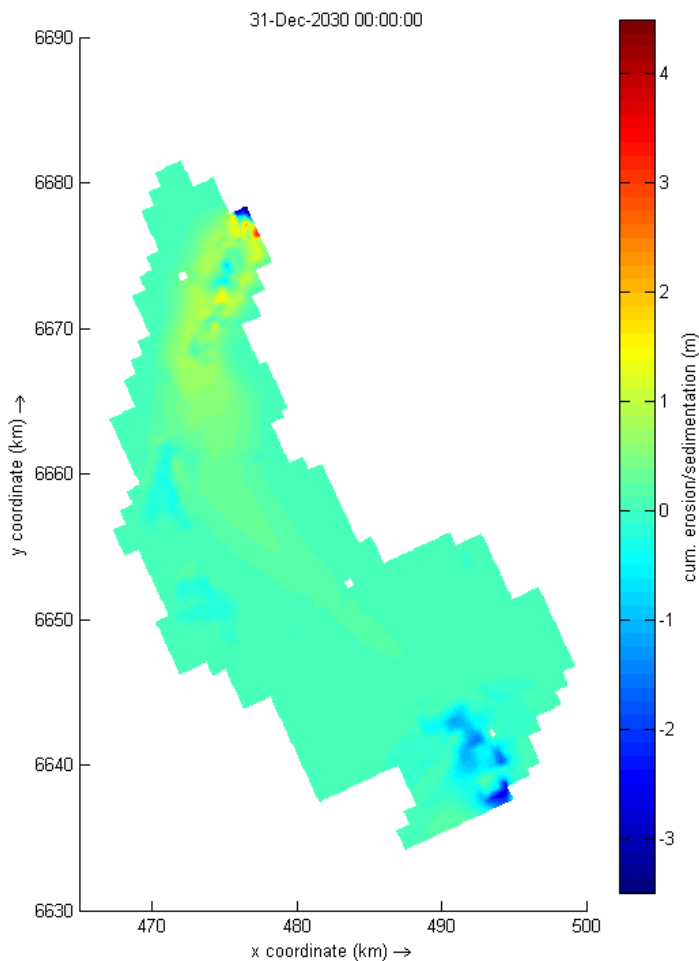




FIGURA 39. MAPA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – LAGO GUAÍBA – CENÁRIO TENDENCIAL – SJ\_CG



### 3.3.4 Taxas de erosão/sedimentação

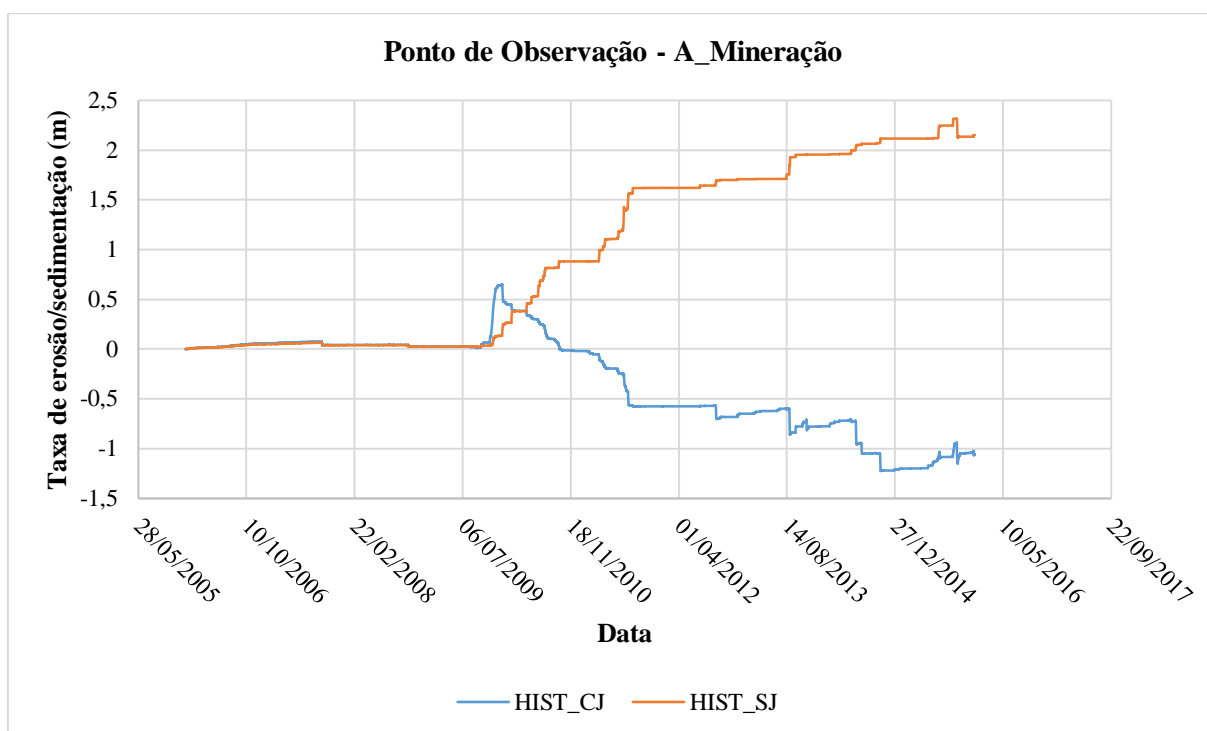
Para avaliar a dinâmica sedimentar em pontos do Baixo Jacuí e do Lago Guaíba, foram inseridos pontos de observação (FIGURA 8 e FIGURA 9) nos módulos para verificar a influência da atividade de mineração nas taxas de erosão e deposição de sedimentos.

As séries temporais de variação da taxa de sedimentação nos pontos de controle são apresentadas a seguir. A FIGURA 40, FIGURA 41 e FIGURA 42 apresentam as taxas para o ponto A\_Mineração, que ocorre entre dois polígonos de mineração no Baixo Jacuí. A FIGURA 43, FIGURA 44 e FIGURA 45 contém informações para o ponto Jusante (localizado fora das áreas de mineração). A FIGURA 46, FIGURA 47 e a FIGURA 48 representam o ponto de observação Montante que está localizado dentro da Área 4 de mineração no Baixo Jacuí.

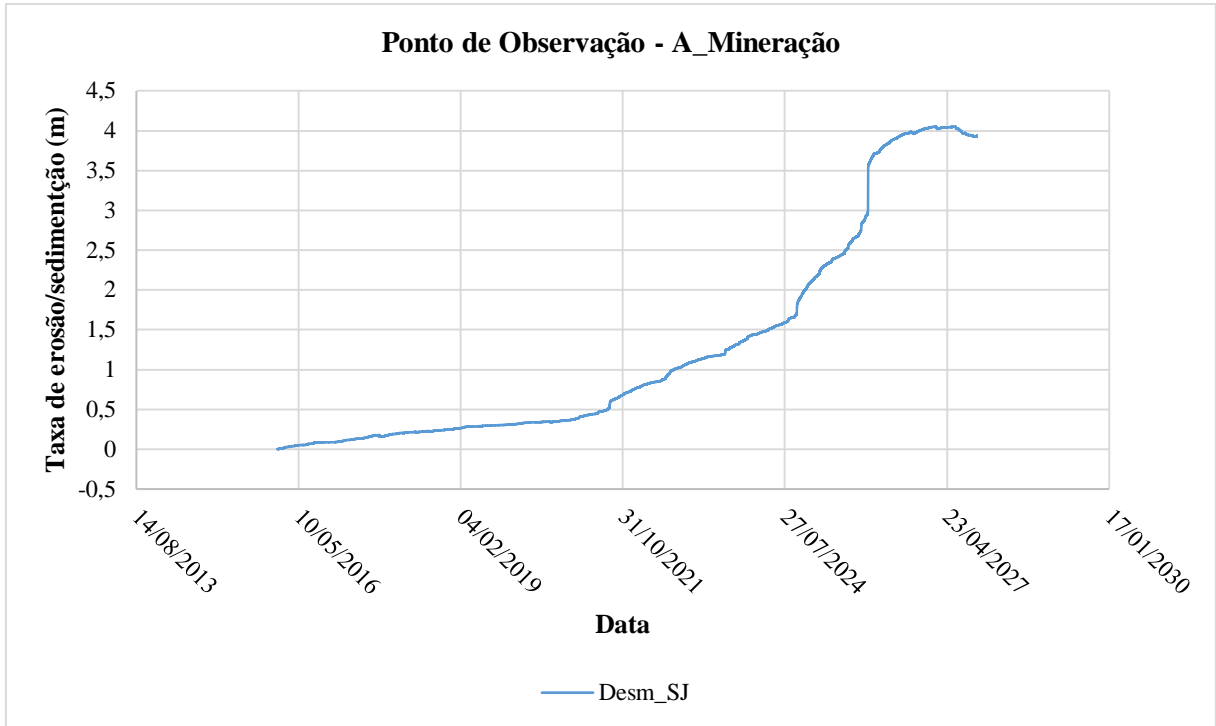
A área de mineração Área 4 do Lago Guaíba é representado pelo ponto de controle Areia\_G\_3 (FIGURA 49 e FIGURA 50), o ponto Areia\_G corresponde a uma área de alta deposição de sedimentos no lago (FIGURA 51, FIGURA 52 e FIGURA 53). O ponto Deposição é apresentado na FIGURA 54 e FIGURA 55. As séries para o ponto Erosão são observadas na FIGURA 56 e FIGURA 57. Por fim, o ponto de deposição de sedimentos Lama\_3 é apresentado na FIGURA 58, FIGURA 59 e FIGURA 60.

Na TABELA 29 e TABELA 30 são apresentadas as taxas, ao ano, de erosão e sedimentação para os pontos do modelo do Baixo Jacuí e Lago Guaíba, respectivamente.

**FIGURA 40. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO A\_MINERAÇÃO – CENÁRIOS HISTÓRICOS**



**FIGURA 41. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO A\_MINERAÇÃO – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO**



**FIGURA 42. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO A\_MINERAÇÃO – CENÁRIOS TENDENCIAIS**

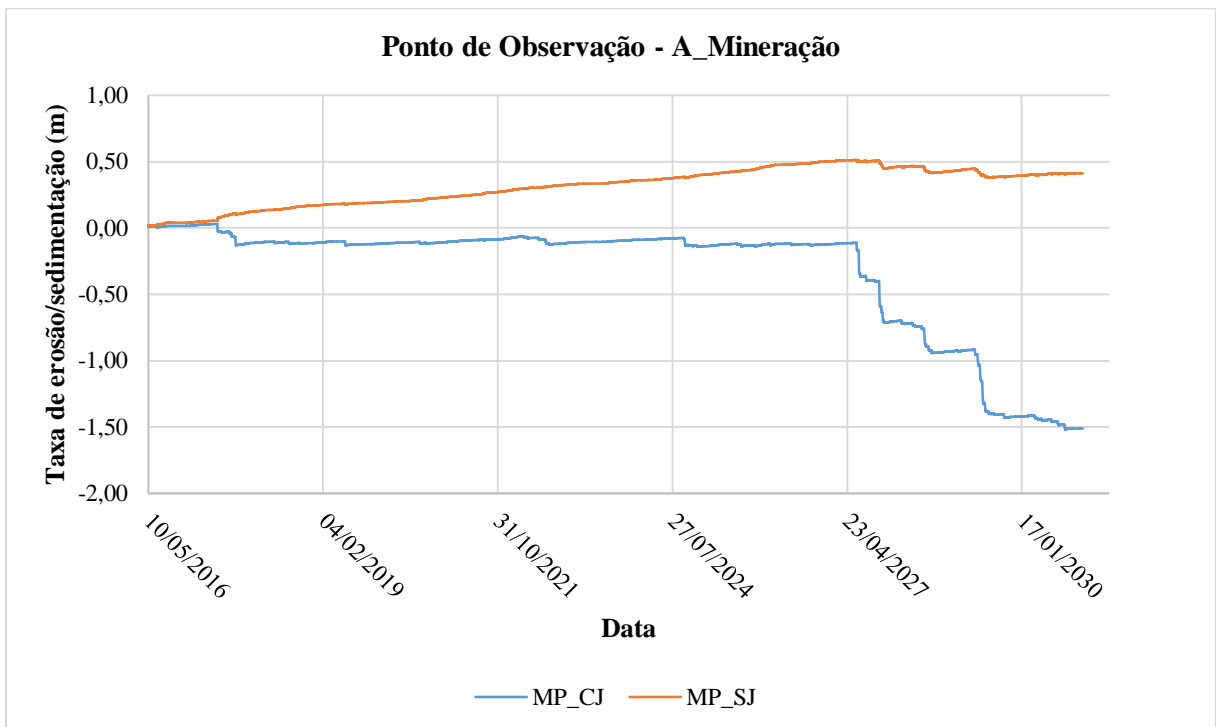


FIGURA 43. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO JUSANTE – CENÁRIOS HISTÓRICOS

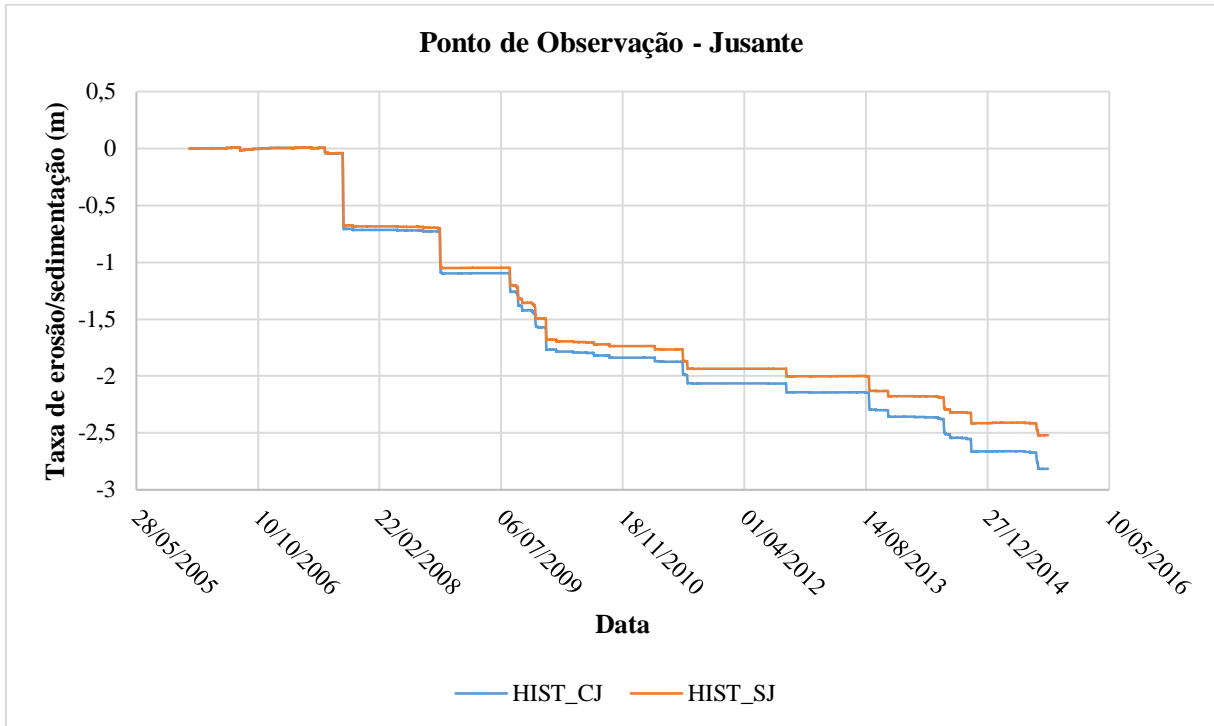


FIGURA 44. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO JUSANTE – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

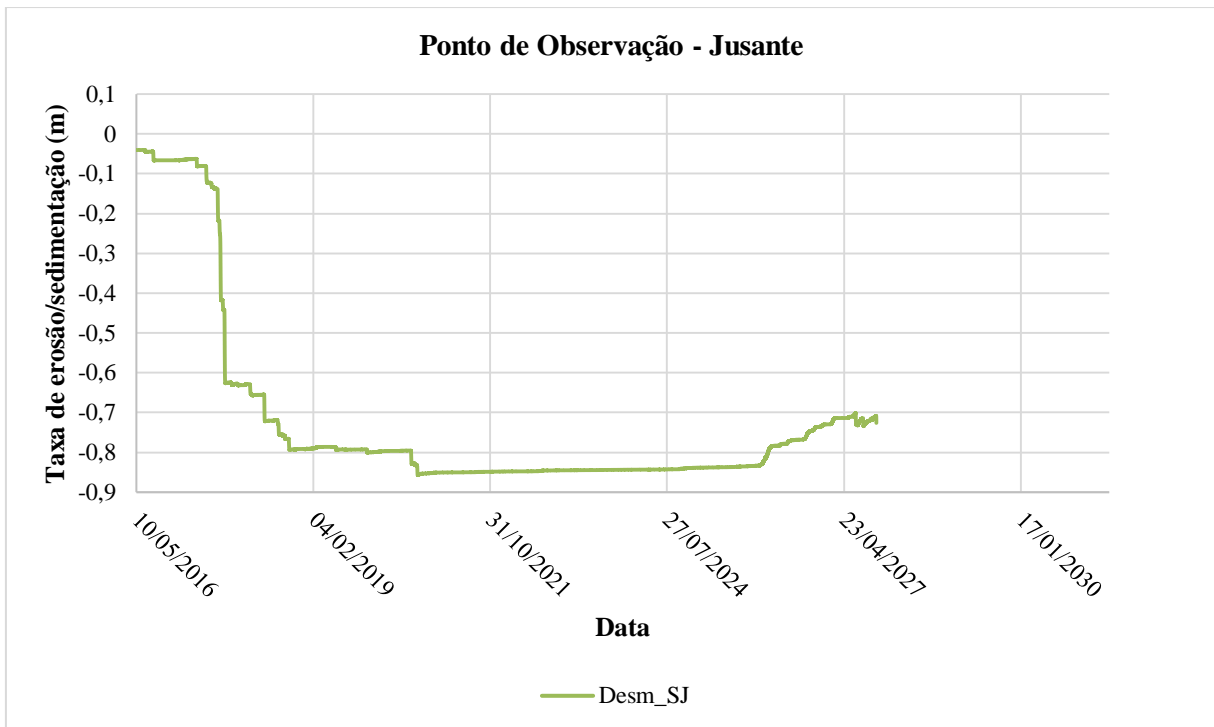


FIGURA 45. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO JUSANTE – CENÁRIOS TENDENCIAIS

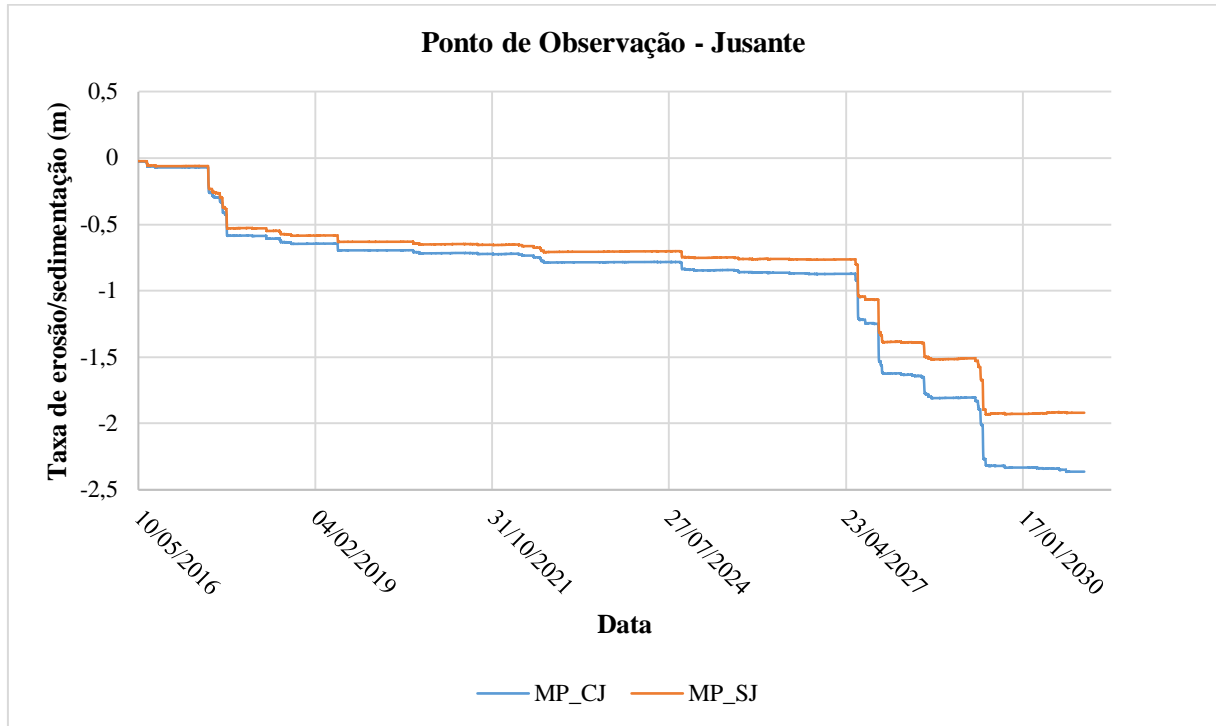


FIGURA 46. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO MONTANTE – CENÁRIOS HISTÓRICOS

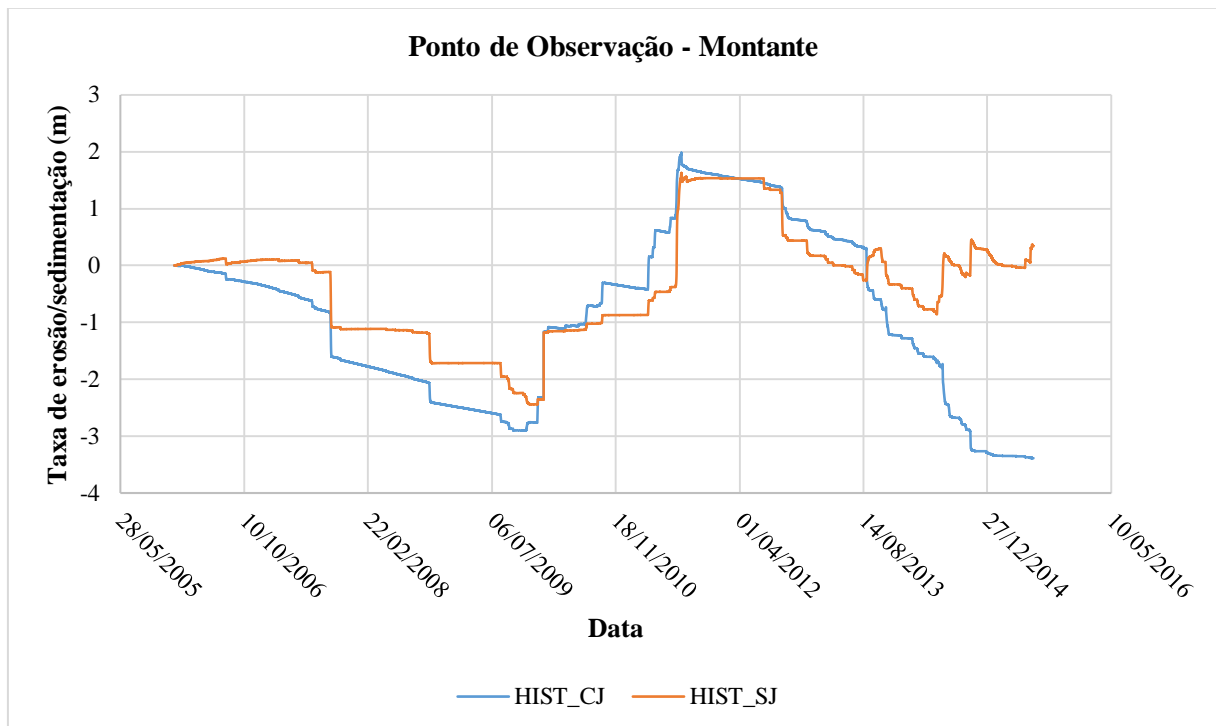


FIGURA 47. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO MONTANTE – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

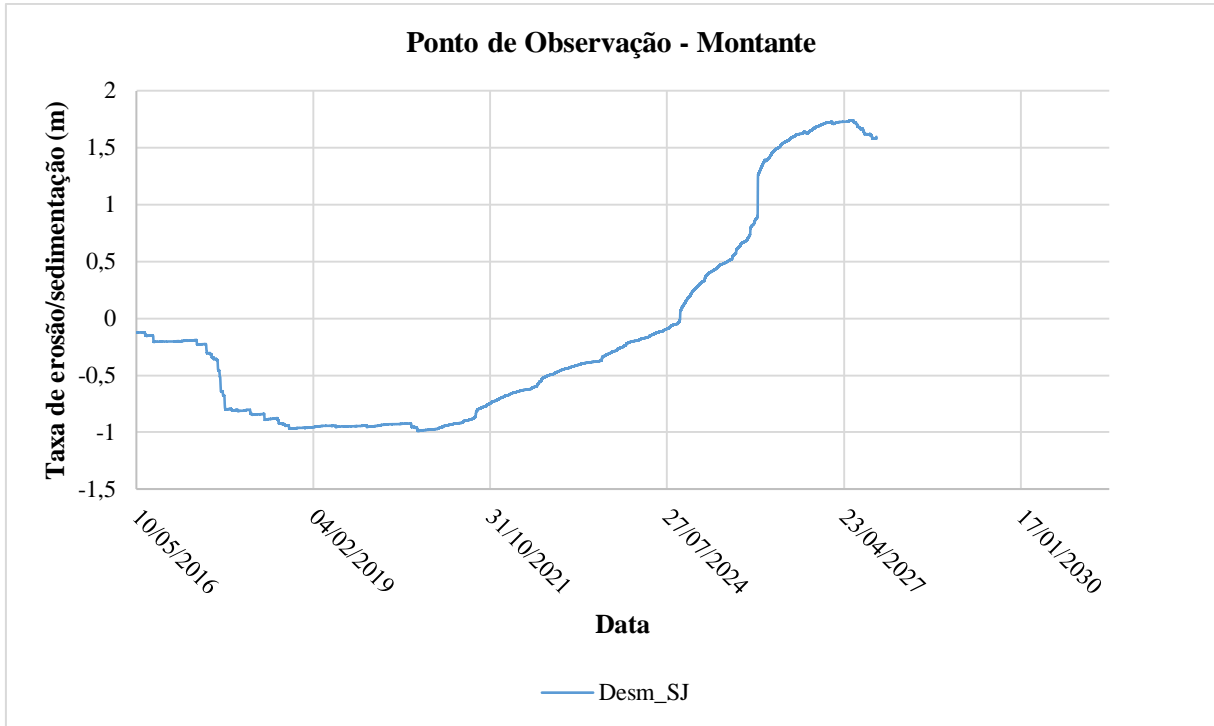


FIGURA 48. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO MONTANTE – CENÁRIOS TENDENCIAIS

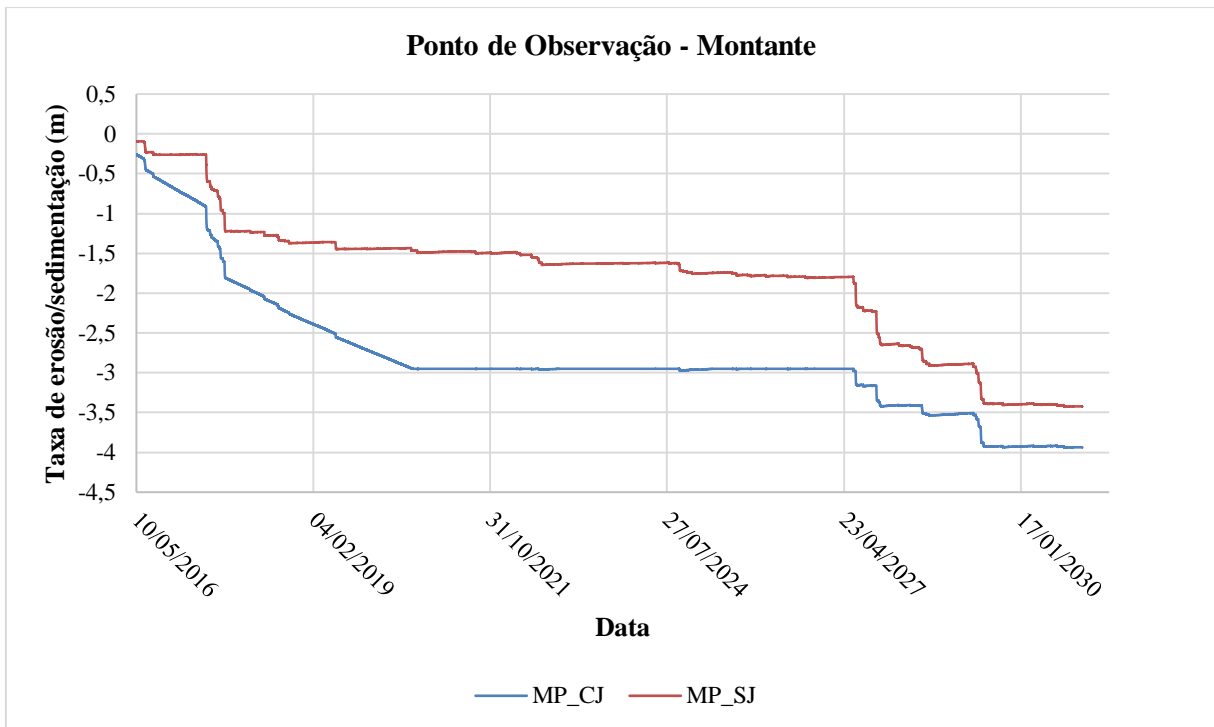


FIGURA 49. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA\_G\_3 – CENÁRIOS HISTÓRICOS

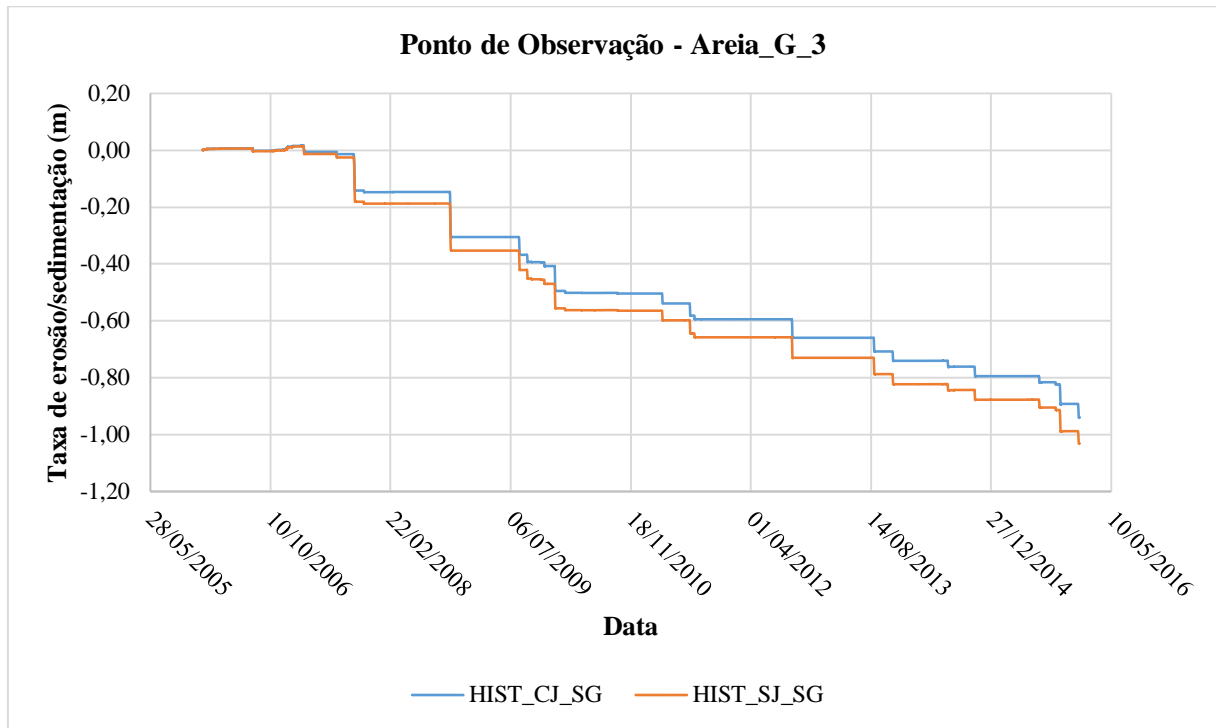


FIGURA 50. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA\_G\_3 – CENÁRIOS TENDENCIAIS E DESFLORESTAMENTO

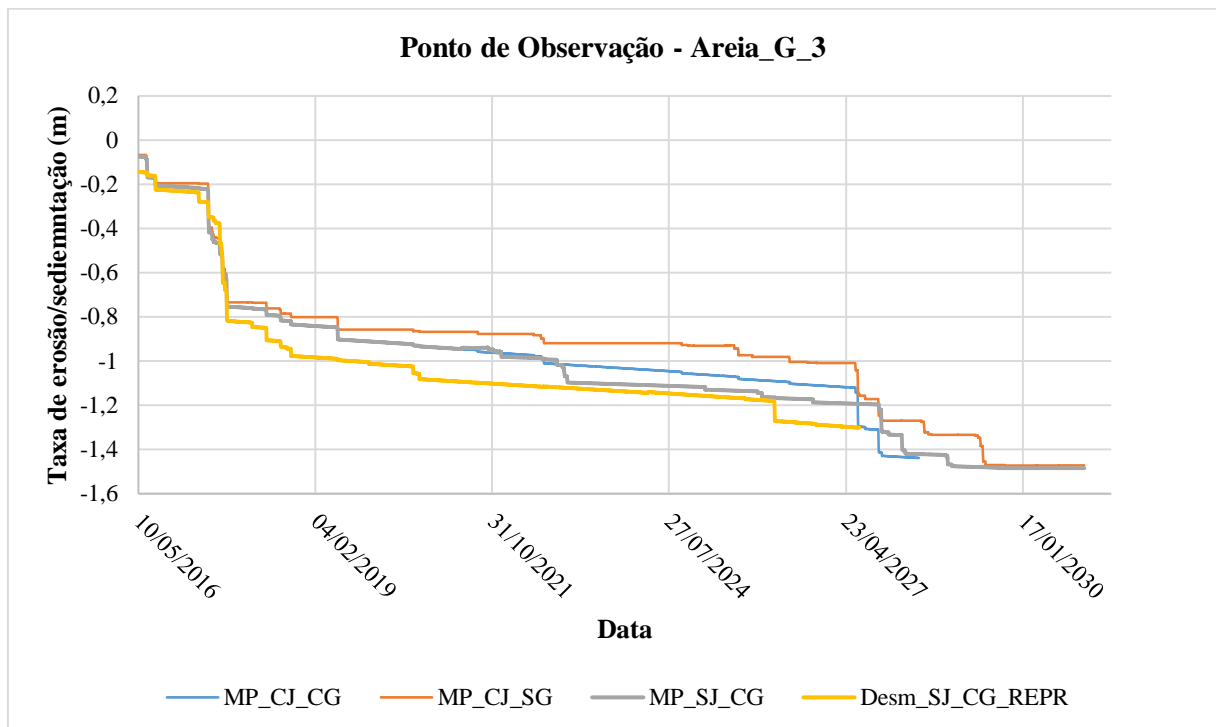


FIGURA 51. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA\_G – CENÁRIOS HISTÓRICOS

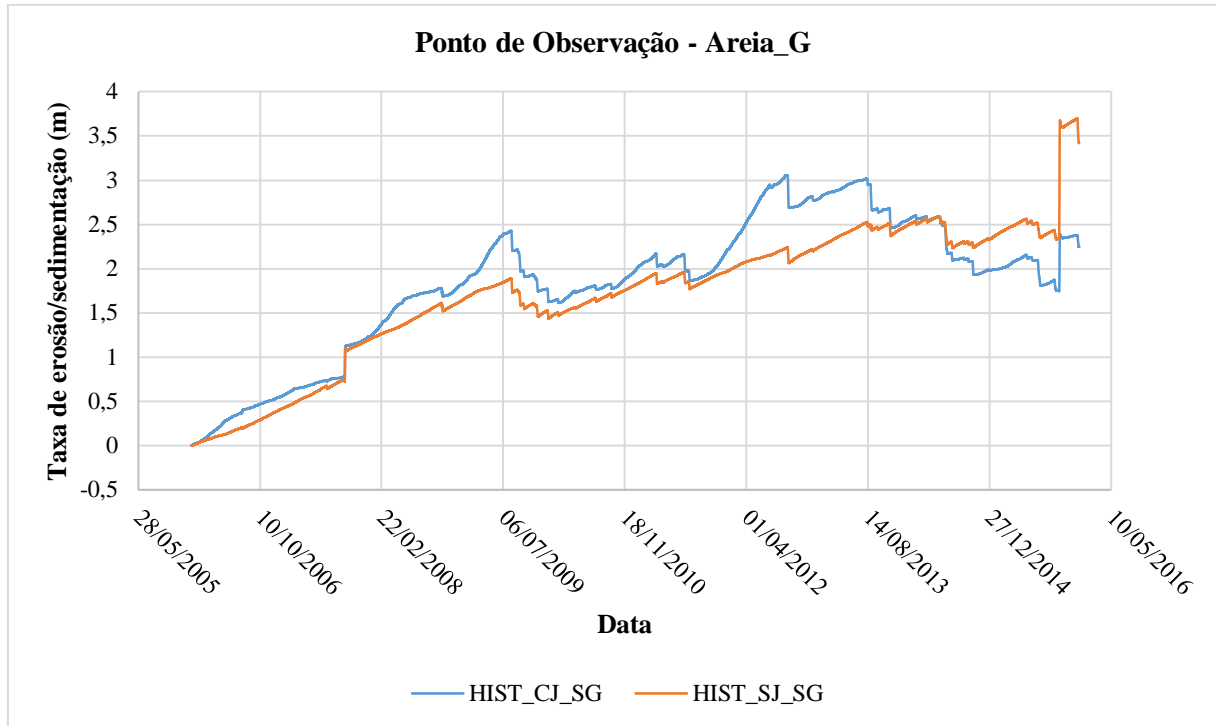


FIGURA 52. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA\_G – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

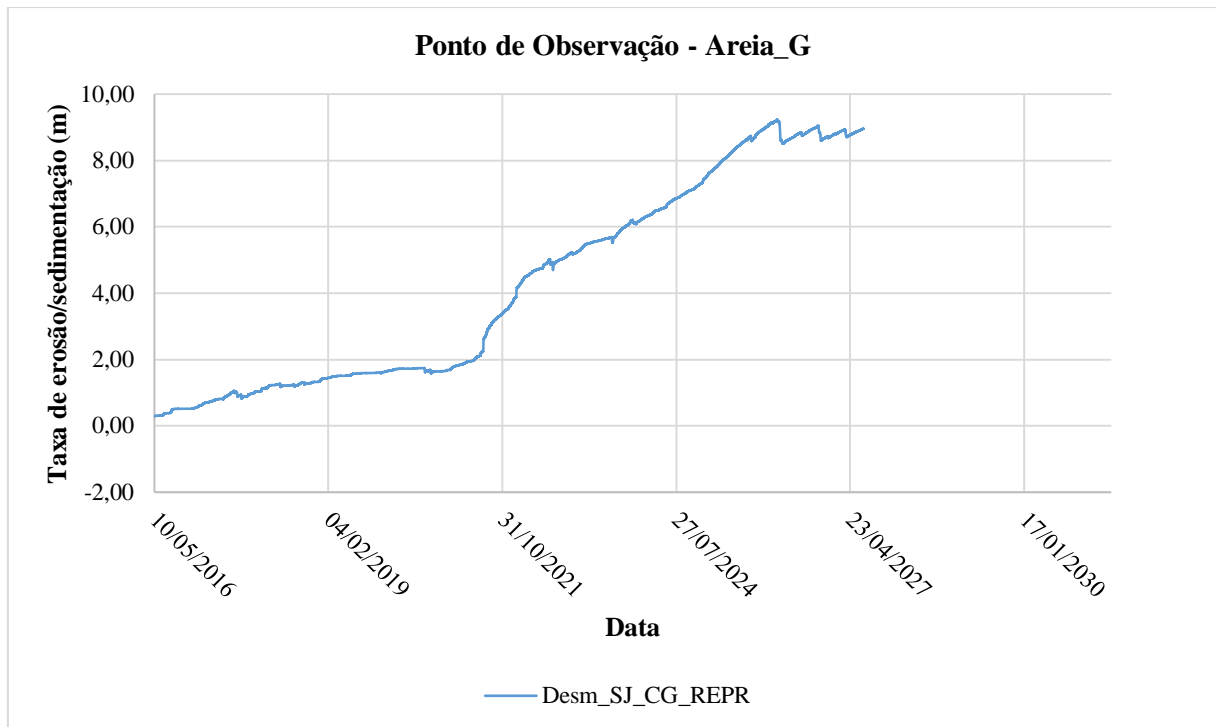




FIGURA 53. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO AREIA\_G – CENÁRIOS TENDENCIAIS

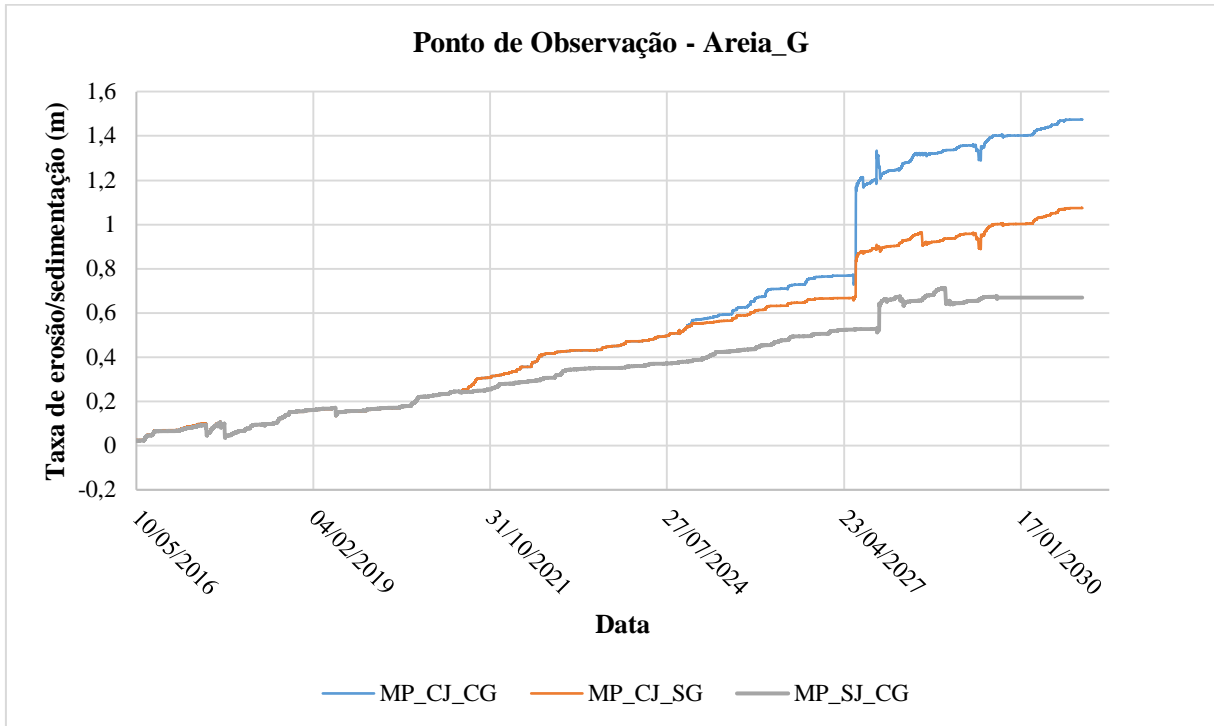


FIGURA 54. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO DEPOSIÇÃO – CENÁRIOS HISTÓRICOS

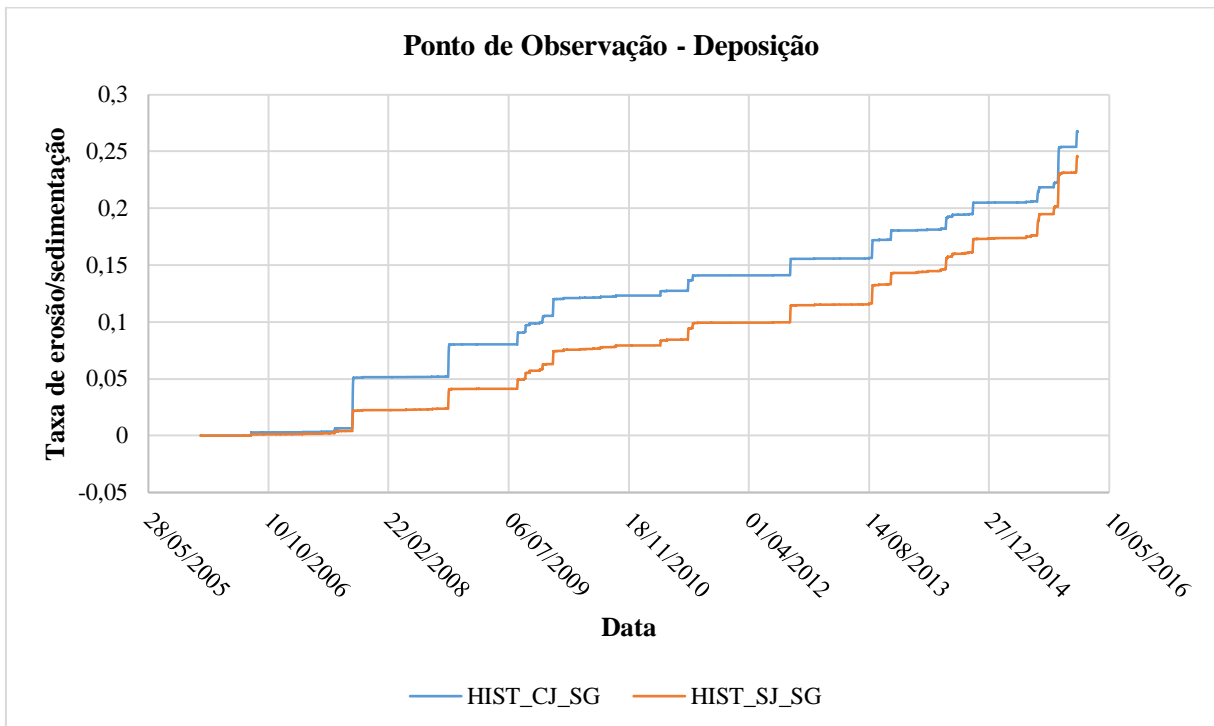


FIGURA 55. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO DEPOSIÇÃO – CENÁRIOS TENDENCIAIS E DESFLORESTAMENTO

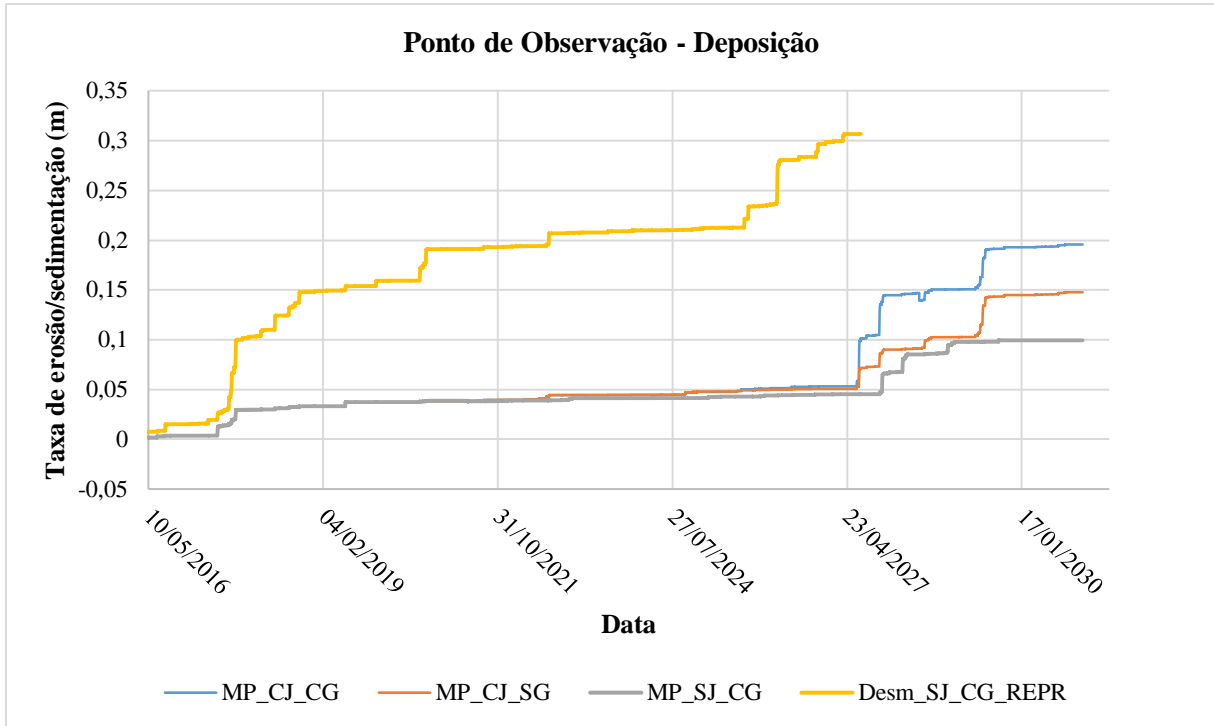


FIGURA 56. TAXA DE EROÇÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO EROSIÃO – CENÁRIOS HISTÓRICOS

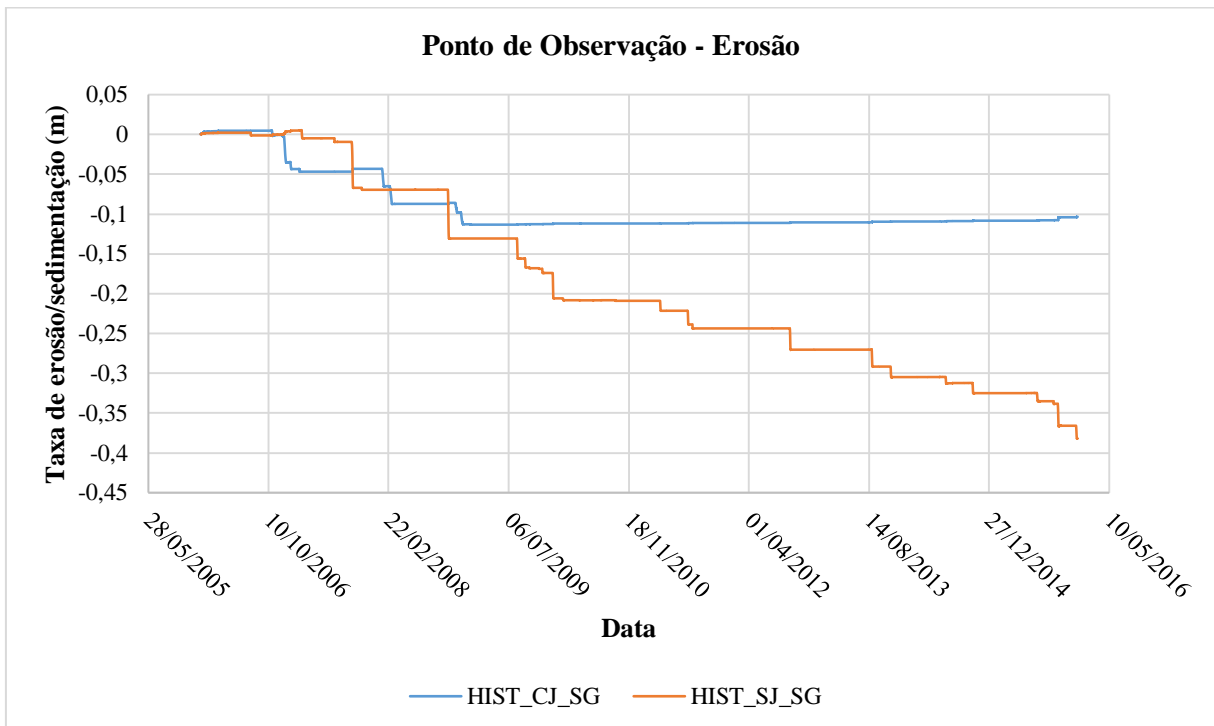


FIGURA 57. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO EROSIÃO – CENÁRIOS TENDENCIAIS E DESFLORESTAMENTO

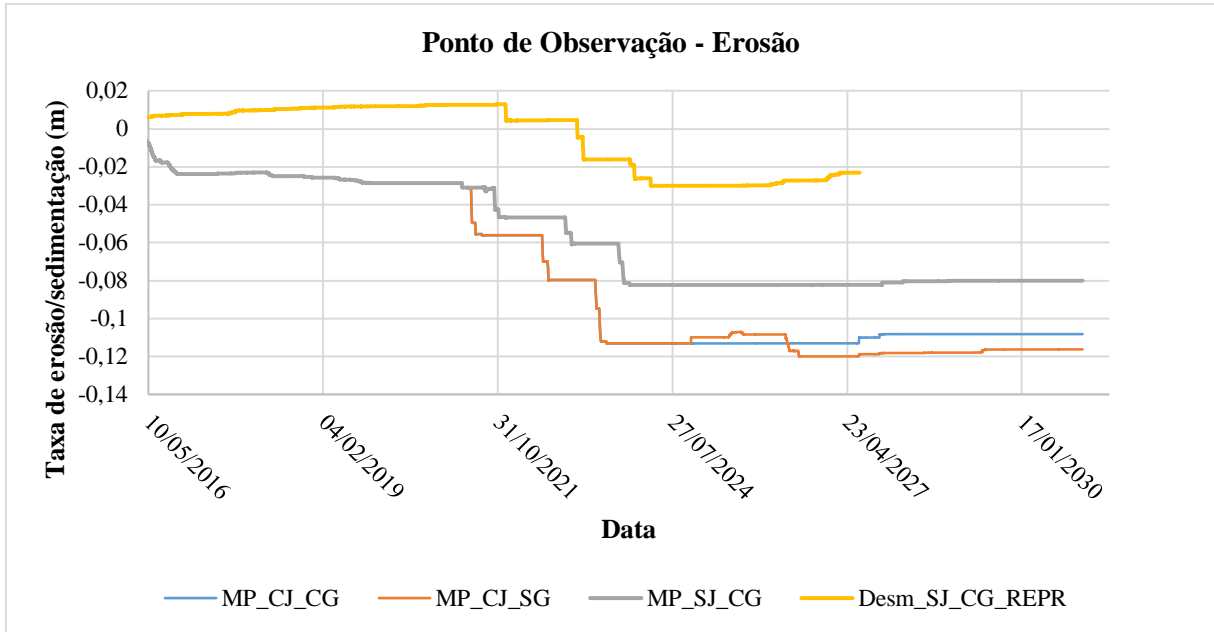


FIGURA 58. TAXA DE EROSIÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO LAMA\_3 – CENÁRIOS HISTÓRICOS

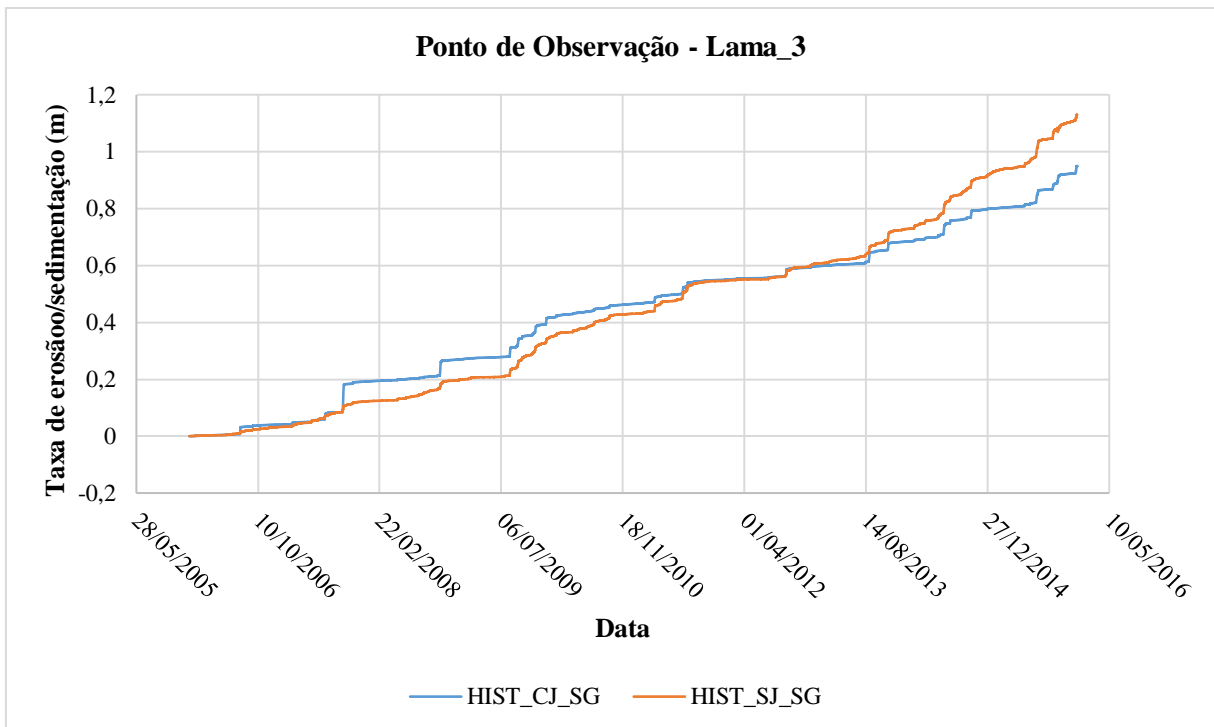


FIGURA 59. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO LAMA\_3 – CENÁRIO DESFLORESTAMENTO

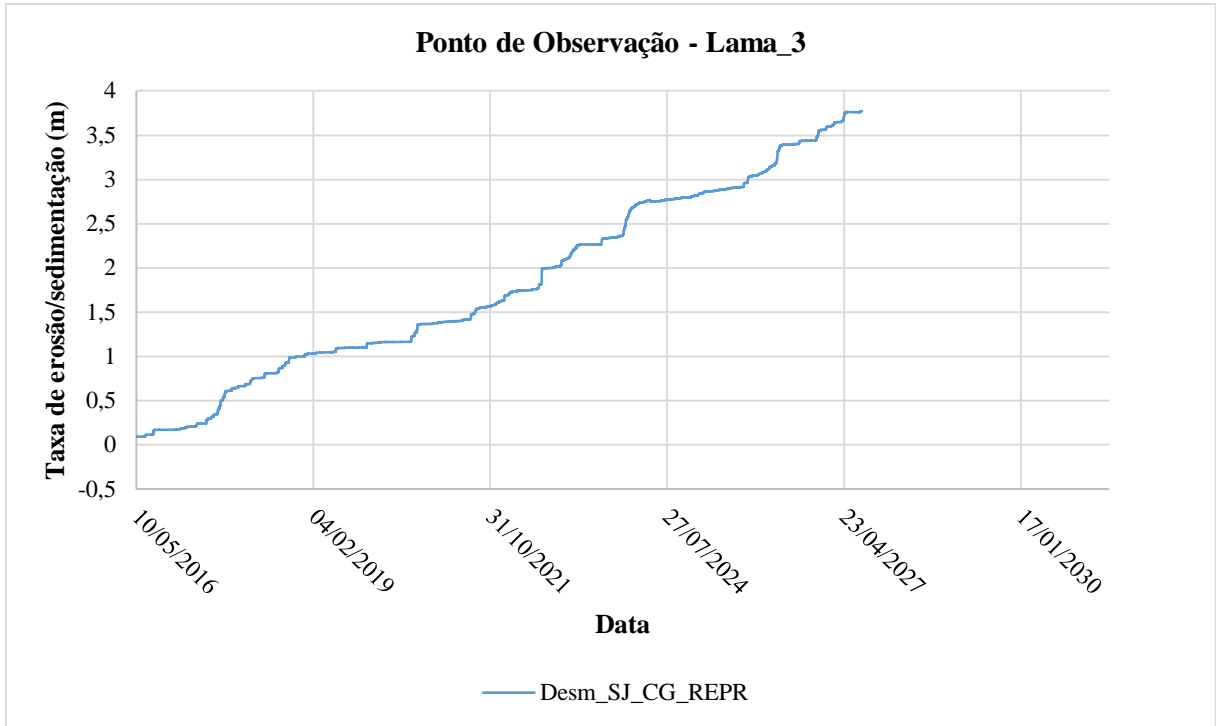
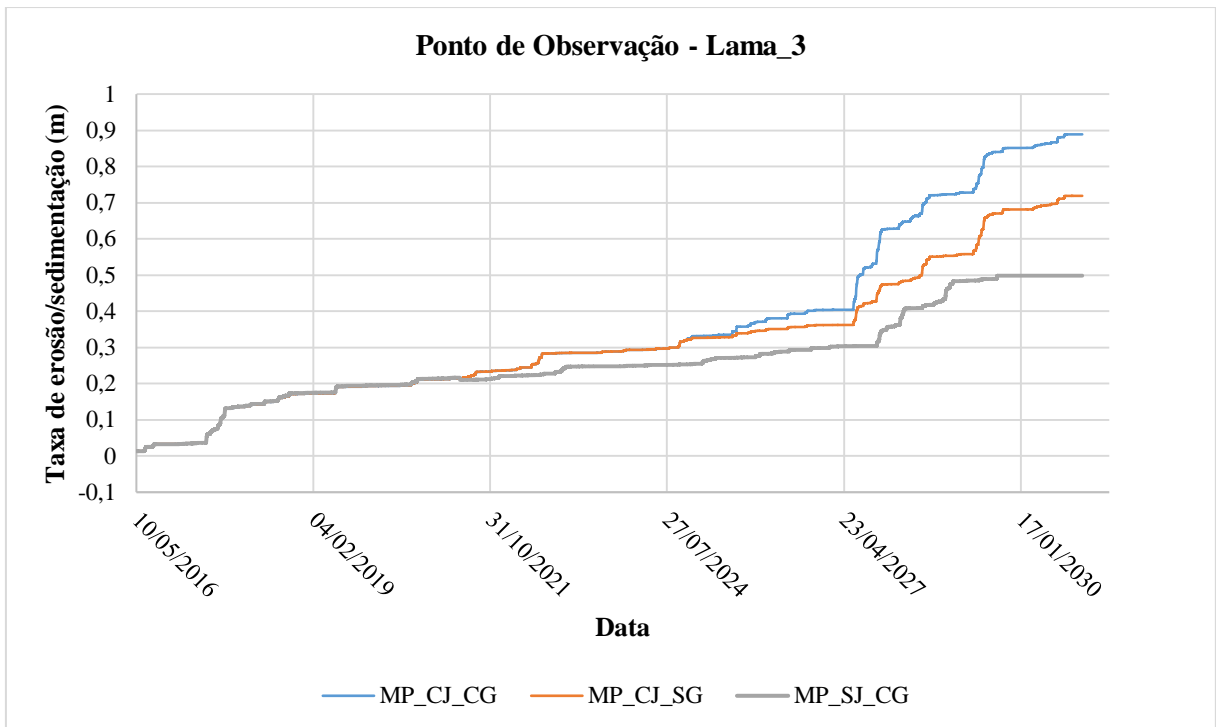


FIGURA 60. TAXA DE EROSÃO/SEDIMENTAÇÃO – PONTO DE OBSERVAÇÃO LAMA\_3 – CENÁRIOS TENDENCIAIS



A comparação entre os cenários históricos demonstra que, no ponto de controle Montante, localizado na Área 4 de mineração do Baixo Jacuí, foi evidente o processo de mineração, apresentando a taxa de -0,34 m ao ano para o cenário Hist\_CJ, enquanto que para o cenário Hist\_SJ a taxa ao ano foi de 0,03 m. A variação entre os cenários repete-se nos pontos A\_Mineração e Jusante. Quando analisados os pontos de controle do Lago Guaíba, a mineração no Jacuí apresentou maior influência no ponto Areia\_G, localizado próximo à desembocadura do rio Jacuí. Nos outros pontos, a diferença não passou de  $\pm 0,1$  m. As maiores taxas de deposição de sedimentos ocorreram no cenário ES\_Desm\_SJ\_CG\_NA.

Diferente dos cenários históricos, nas simulações tendenciais com e sem a mineração no Baixo Jacuí a diferença entre as taxas do ponto Montante foi de apenas 0,03. Entretanto, em todos os pontos do Módulo II a taxa de erosão no cenário considerando a atividade de mineração foi maior quando comparado ao cenário MP\_At\_SJ. Não ocorreram diferenças significativas entre os pontos de controle dos cenários tendenciais no Lago Guaíba.

TABELA 29. TAXAS DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO AO ANO CENÁRIOS – MÓDULO II

Cenários	Pontos de observação		
	Montante*	A_Mineração	Jusante
Hist_CJ	-0,34	-0,10	-0,28
Hist_SJ	0,03	0,21	-0,25
ES_Desm_SJ	0,13	0,33	-0,06
MP_At_CJ	-0,26	-0,10	-0,16
MP_At_SJ	-0,23	0,03	-0,13

\* ponto de controle dentro de área de mineração

TABELA 30. TAXAS DE EROSIÃO/DEPOSIÇÃO AO ANO CENÁRIOS – MÓDULO III

Cenários	Pontos de observação				
	Areia_G_3* AE	Areia_G AD	Deposição D	Erosão E	Lama_3 D
Hist_CJ_SG_NHist	-0,09	0,22	0,027	-0,010	0,10
Hist_SJ_SG_NHist	-0,10	0,34	0,025	-0,04	0,11
ES_Desm_SJ_CG_NA	-0,14	0,81	0,026	-0,003	0,34
MP_At_CJ_SG_NHist	-0,10	0,06	0,005	-0,013	0,04
MP_At_CJ_CG_NHist	-0,11	0,10	0,01	-0,008	0,05
MP_At_SJ_CG_NHist	-0,09	0,05	0,008	-0,006	0,04

\* ponto de controle dentro de área de mineração

## 4 CONCLUSÕES

Ao todo, para a modelagem hidrológica, foram analisados três cenários de mudanças climáticas, que possuem uma tendência de vazões extremas superiores, vazões mais prováveis e vazões extremas inferiores. Além disso, foram analisados três cenários de mudanças de uso e cobertura do solo, sendo um cenário de máximo desflorestamento, um cenário tendencial e um cenário de máximo florestamento. Foi possível utilizar os cenários simulados como um espectro de possíveis variações de mudanças de cobertura e usos do solo e mudanças climáticas para a Região Hidrográfica do Guaíba.

O cenário ES\_Desm (extremo superior de mudanças climáticas com máximo desflorestamento) apresentou um aumento de 6% nas descargas líquidas, 301% nas descargas sólidas em suspensão e 285% nas descargas sólidas totais. O cenário MP\_At (mais provável de mudanças climáticas com usos do solo tendencial) apresentou uma diminuição, em média, de 13% para as descargas líquidas, uma diminuição de 5% para as descargas sólidas em suspensão e uma diminuição, em média, de 3% para as descargas sólidas totais. Para o cenário EI\_Ref (extremo inferior com máximo florestamento), houve, em média, uma diminuição de 39% para as descargas líquidas, 40% para as descargas sólidas em suspensão e 38% para as descargas sólidas totais. Por fim, destaca-se que foi possível verificar, a partir da modelagem hidrossedimentológica, que os resultados obtidos foram mais sensíveis às variações de mudanças de uso e cobertura do solo do que às mudanças climáticas.

Para as simulações hidrodinâmicas foram considerados três cenários principais: Histórico, abrangendo o período de 2006 a 2015; Cenário de Desflorestamento, considerando a condição de desflorestamento no período de 2016 a 2030 e o Cenário Tendencial, que apresenta as condições mais prováveis futuras (2016 a 2030). Além das condições iniciais, também foi analisada a influência da atividade de mineração no Baixo Jacuí e no Lago Guaíba.

Nas simulações, o volume de sedimentos ( $m^3/ano$ ) (TABELA 10 e TABELA 11) foi considerado o principal fator limitante para a continuidade da atividade de mineração, ou seja, quando este é atingido a atividade deve ser encerrada. A partir dos resultados de ambos os modelos, não foi possível notar alterações diretas na batimetria devido ao processo de mineração, sugerindo que o volume máximo de sedimentos retirados por ano foi atingido antes da profundidade máxima permitida.

Quando analisadas as séries temporais das taxas de deposição e erosão fica mais evidente a ação do processo de mineração, em ambos os modelos, na deposição ou erosão de sedimentos. De maneira geral, quando comparados cenários com e sem mineração, os cenários que incluíam a atividade apresentaram maior taxa de erosão e menor deposição.

A atividade de mineração simulada no modelo do Baixo Jacuí não apresentou alterações significativas na dinâmica sedimentar do Lago Guaíba, fato que pode estar relacionado com o baixo transporte de sedimentos encontrado nas simulações do Módulo III.

A análise dos mapas de erosão/sedimentação, correspondentes ao período total de simulação, demonstrou que mesmo no cenário de maior aporte de sedimentos (ES\_Desm\_SJ\_CG\_NA) a deposição de sedimentos ocorre essencialmente na região norte do domínio, dificultando o reabastecimento de sedimentos ao longo do lago.

Por fim, destaca-se a importância da obtenção de dados em campo para aprimoramento dos modelos aqui apresentados.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G. Modelagem de Dinâmica Urbana: Conceitos, Derivação de Relações, Calibração, exemplos. Belo Horizonte: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6 abril de 2003, pg. 12-66.

ANDRADE, M. P.; RIBEIRO, C. B. M.; LIMA, R. N. S. Modelagem Dinâmica da Mudança do Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul a Partir de Imagens MODIS e um Modelo de Sub-regiões. Rio de Janeiro: Revista Brasileira de Cartografia, n. 68/5, pg. 965-978, mai./jun. 2016.

BELOV. Relatório do Levantamento Geofísico com Sísmica de Alta Resolução na Área do Lago Guaíba – RS. Contrato nº 18/2018. RELATÓRIO: Nº01.HID.021/18-RE.001- R0. 2019.

BRASIL. Lei 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 25 mai. 2012.

DELTARES. User Manual - Delft3D - FLOW. WL | Delft Hydraulics, 2012.

DINAMICA EGO. Disponível em: <<https://csr.ufmg.br/dinamica/>>. Acesso em: 15 de mai.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W. Um mapa de Unidades de Resposta Hidrológica para a América do Sul. Anais... XXI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Brasília/DF: ABRH, 2015.

FERRARI, R. Modelagem Dinâmica do Uso e Cobertura da Terra da Quarta Colônia, RS. 120 p. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

GOMES, P. M. Modelagem da Dinâmica do Uso da Terra e Instrumentos de Política Ambiental: A Expansão da Cana-de-açúcar na Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré (UGRHI 13). Dissertação (Mestrado) em Ciências da Engenharia Ambiental – Universidade de São Paulo, 2013.

CHURCH, J.A., P. U. CLARK, A. CAZENAVE, J. M. GREGORY, S. JEVREJEVA, A. LEVERMANN, M. A. MERRIFIELD, G. A. MILNE, R. S. NEREM, P. D. NUNN, A. J. PAYNE, W. T. PFEFFER, D. STAMMER AND A. S. UNNIKRISSHANN, 2013: Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. 2.ed. São Paulo: Oficina de textos, 2010. 216p.

LIMA, T. C.; GUILLEN-LIMA, C. M.; OLIVEIRA, M. S.; SOARES-FILHO, B. DINAMICA EGO e Land Change Modeler para simulação de desmatamento na Amazônia Brasileira: análise comparativa. Foz do Iguaçu: INPE, Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13-18 de abril de 2013, pg. 6379-6386.



MACEDO, R. C.; ALMEIDA, C. M.; SANTOS, J. A.; RUDORFF, B. F. T. Modelagem Dinâmica Espacial das Alterações de Cobertura e Uso da Terra Relacionadas à Expansão Canavieira. Curitiba: Boletim de Ciências Geodésicas, v.19, n.2, abr./jun, 2013, pg.313-337.

MATRICARDI, E.A.T.; AGUIAR, A.S.; MIGUEL, E.P.; ANGELO, H.; GASPAR, R.O. Modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. Sinop: NATIVA, v.6, n.2, pg.198-206, mar./abr.2018.

PROJETO DE MAPEAMENTO ANUAL DA COBERTURA E USO DO SOLO NO BRASIL (MAPBIOMAS). Disponível em: < <http://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 15 de abr.

RODRIGUES, H. O.; SOARES-FILHO, B.S.; COSTA, W.L.S. Dinamica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. Florianópolis: INPE, Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 21-26 abril, pg. 3089-3096.

SCHUSTER, R. C. Análise de cenários de mudanças climáticas na disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica da Laguna dos Patos. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2019.

SMARJA., BOURSCHEID Engenharia e Meio Ambiente. Relatório de Impacto Ambiental de Mineração no Lago Guaíba. 2011.

SOARES-FILHO, B. S; RODRIGUES, H. O; COSTA, W. L. S. Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.

SOARES-FILHO, B.; RODRIGUES, H.; FOLLADOR, M. A hybrid analyticalheuristic method for calibrating land-use change models. Environmental Modelling & Software, v. 43, p. 80-87, 2013.

TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. Modelagem da Dinâmica Espacial Urbana: Modelo de Autômato Celular na Simulação de Cenários para o Município de Americana-SP. São Paulo: Revista Brasileira de Cartografia, n.62, edição especial, 01, 2010, pg.291-305.

## APÊNDICES

Os mapas são apresentados em mídia digital.

### **APÊNDICE 1 – MAPAS DOS CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

MAPA 1 – CENÁRIO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO MAIS PROVÁVEL NO ANO DE 2030

MAPA 2 – CENÁRIO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA MÁXIMO DE  
DESFLORESTAMENTO NO ANO DE 2030

MAPA 3 – CENÁRIO DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO PARA MÁXIMO DE  
FLORESTAMENTO NO ANO DE 2030

### **APÊNDICE 2 – MAPAS DOS CENÁRIOS DE UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA**

MAPA 4 – CENÁRIO DE UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA MAIS PROVÁVEIS NO  
ANO DE 2030

MAPA 5 – CENÁRIO DE UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA MÁXIMO DE  
DESFLORESTAMENTO NO ANO DE 2030

MAPA 6 – CENÁRIO DE UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA PARA MÁXIMO DE  
FLORESTAMENTO NO ANO DE 2030