



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

RENATA BARÃO ROSSONI

**Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo
de caso da bacia da Laguna dos Patos.**

Porto Alegre

Janeiro 2018

RENATA BARÃO ROSSONI

**Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo
de caso da bacia da Laguna dos Patos.**

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientador: Fernando Mainardi Fan

Porto Alegre
Janeiro 2018

RENATA BARÃO ROSSONI

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul defendido e aprovado em janeiro de 2018 pela Comissão avaliadora, constituída pelos professores:

Banca Examinadora:

Prof. Me. em Recursos Hídricos e Saneamento Alfonso Risso (IPH/UFRGS)

Prof. Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Anderson Ruhoff (IPH/UFRGS)

Prof. Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Gean Paulo Michel (IPH/UFRGS)

Conceito:

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente foram responsáveis pela oportunidade de realizar esse sonho que era estudar Engenharia Ambiental na UFRGS, sou grata por estudar numa Universidade de excelência. Meus agradecimentos, também, a toda população brasileira que, indiretamente, ajudaram a financiar esse sonho. Espero contribuir de forma positiva no desenvolvimento ambiental do Brasil. Agradeço com muito carinho:

Ao meu orientador, prof. Dr. Fernando Fan, por toda paciência, dedicação e motivação contagiantes. Agradeço também pela oportunidade fazer parte desse projeto e realizar um trabalho tão gratificante para mim;

Aos professores Alfonso Rizzo, Anderson Ruhoff e Gean Paulo Michel pelas suas excelentes contribuições ao meu trabalho, é gratificante tamanho reconhecimento;

À CAPES e à CNPq, pelas bolsas de extensão, de iniciação científica e de graduação sanduíche, que recebi ao longo desses anos. Elas foram fundamentais para me auxiliarem financeiramente a seguir meus estudos, além de contribuírem com conhecimento acadêmico, profissional e pessoal de diversas formas;

A todos meus professores durante a minha vida, que foram fundamentais em conhecimento e incentivo para conquistar esse diploma. Agradeço, também, à Luciane Fontana, minha chefe, motivadora e orientadora ao longo do período de estágio na Sapotec, seus conselhos foram incríveis;

Aos meus amigos queridos da barra 11, por todo companheirismo, paciência, amor e amizade ao longo desses anos. Faço um agradecimento especial àqueles que foram meu porto seguro dentro da UFRGS: Adriane, Alexia, Gabi, Gui, Joana, Lúcia, Marcele, Mel e Nathália, sem vocês não seria possível chegar até aqui. Agradeço especialmente ao Maurício, por ser amigo, orientador, co-orientador, guru e mestre na minha vida. Agradeço, também, às minhas amigas da comissão de formatura, por terem feito desse momento mágico e estressante, muito mais leve. Agradeço, também, aos meus amados amigos de Limoges, que fizeram daquele ano de sonhos, realidade;

A todos os parentes e amigos que acreditaram no meu potencial e me apoiaram até aqui;

Aos meus sogros, Bia e Daniel, e cunhados, Júlia, Naty, Dani, Ro e Fe, pelo amor, carinho e suporte nessa caminhada. Agradeço especialmente ao Elias, por ser luz nos dias mais difíceis;

Ao meu namorado, Gabriel Poncio, pelo amor, paciência, companheirismo. Obrigada por fazer parte da minha história, por crescer junto comigo, por me ensinar e, ao mesmo tempo, aprender que amor é liberdade, por segurar a minha mão nos piores momentos e ser o motivo dos meus melhores sorrisos;

Finalmente, agradeço à minha família, amores da minha vida, minha mãe, Adriana, meu pai, João, e meu irmão, Rodrigo, por serem quem são. Se cheguei até aqui hoje, foi graças aos sacrifícios, incentivos e amor de vocês. Amo cada pedacinho da nossa família e nunca esquecerei que foram vocês que me ensinaram que eu poderia ser o que eu quisesse.

“Rien ne nous limitait, rien ne nous définissait, rien ne nous assujettissait; nous liens avec le monde c'est nous qui les créions; la liberté était notre substance même”.

Simone de Beauvoir

RESUMO

Sedimentos são partículas sólidas, derivadas das rochas, transportadas pela água e depositadas nos leitos dos rios, formando, dessa forma, o ciclo hidrossedimentológico. Para que ocorram melhorias nos processos hidrossedimentológicos e sejam minimizados os impactos decorrentes dos sedimentos, é necessária uma gestão integrada dos recursos hídricos, que tenha por objetivo melhorar a eficiência dos efeitos relacionados à geração, ao transporte e à deposição de sedimentos. Por causa das dificuldades encontradas para se obter dados sobre os processos hidrossedimentológicos em grandes bacias, a modelagem matemática é uma alternativa para se realizar essa gestão integrada. Dessa forma, o presente trabalho visa a modelagem hidrossedimentológica da bacia da Laguna dos Patos, maior laguna estrangulada do mundo e que recebe milhões de toneladas de sedimentos por ano. Foi utilizado o modelo MGB-SED, desenvolvido a partir do acoplamento do módulo de sedimentos ao modelo hidrológico MGB-IPH, e a equação principal do modelo é a equação da MUSLE. A calibração do modelo foi realizada para os parâmetros K (fator de erodibilidade do solo) e C (fator de manejo e uso do solo), com a metodologia de calibração manual por tentativa e erro. Os valores de concentração e descarga sólida simulados foram comparados aos valores observados nos dados do portal “*Hidroweb*”, da Agência Nacional de Águas, utilizando ao todo dados de 20 estações fluviométricas ao longo da bacia, sendo o período simulado de 2001 até 2010 utilizado para calibração, por conter maior quantidade de dados, enquanto o período de 1990 até 2000 foi utilizado para a validação do modelo. A validação é feita comparando os resultados observados e simulados sem alterar os parâmetros de calibração. A métrica principal de avaliação da calibração, a PBIAS, apresentou 17 resultados satisfatórios, entre as 20 estações fluviométricas simuladas, tanto para os valores de concentração de sedimentos finos, quanto para os valores de descarga sólida de sedimentos finos. Obteve-se valores de NSE, para a descarga sólida, entre -1,68 até 0,91 para o período de calibração. A validação não apresentou resultados tão satisfatórios quanto a calibração. Para a PBIAS, foi apresentado 7 resultados satisfatórios para a concentração e 4 resultados satisfatórios para a descarga sólida, entre as 13 estações que possuíam dados nesse período. Os valores de NSE variaram entre -6,29 até 0,81. Além disso, ao comparar os resultados simulados com aqueles encontrados na literatura, foi possível obter grande semelhança. Para o Rio Camaquã, estudos apontam uma descarga sólida de 0,95 milhões de toneladas por ano, enquanto o modelo estimou aproximadamente 1,14 milhões de toneladas por ano. Já para o Rio Jacuí, a estimativa encontrada é de 3,3 milhões de toneladas por ano, enquanto o modelo estimou, aproximadamente, 2,8 milhões de toneladas por ano.

ABSTRACT

Sediments are solid particles, derived from rocks, transported by water and deposited in riverbeds, forming the hydrosedimentological cycle. For improvements in the hydrosedimentological processes and minimized the effects of generation, transport and deposition of the sediments, it is important and integrated management of water resources. It is very difficult to obtain sediments data in large basins, so recent sediment models are an alternative to assist the management of water resources. The objective of this study is a sediments processes modelling to Patos Lagoon basin, located in both Brazil and Uruguay. It is proposed the use of the model MGB-SED, developed from the coupling of a sediment module to the hydrological model MGB-IPH. The equation used by the model is the MUSLE. The model calibration was done to the parameters K and C, and the method was trial and error. The values of concentration and solid discharge simulated was compared to the observed data from “*Hidroweb*” portal, from ANA (Agência Nacional de Águas). The total data used was from 20 flow stations in the basin, and the simulated period was from 2001 to 2010 (calibration step), because of the more quantity of observed data, and 1990 to 2000 (validation step). The validation step was done comparing the simulated and observed data, with the same parameters from calibration step. The principal model evaluation technique was the PBIAS and it presented 17 satisfactory results in 20 flow stations simulated data, both to concentration and solid discharge to fine sediments. To NSE evaluation, the range to the calibration step was between -1,68 to 0,91. The validation step was not satisfactory as the calibration step. The PBIAS evaluation presented 7 satisfactory results to concentration and 4 satisfactory results to solid discharge, between the 13 flow stations that presented results in this period. The NSE evaluation, in the validation step, ranged between -6,29 to 0,81. This study obtained similar values between the simulated data and values estimated in previous studies in the basin. To the Camaquã River, the estimated values presented a solid discharge of 0,95 million t/year, while the model estimated about 1,14 million t/year. In the Jacuí River, the estimated values presented 3,3 million t/year, while the model estimated 2,8 million t/year.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trajetórias das partículas sólidas no contexto do ciclo de sedimentos (Fonte: MARCONDES, 2011).....	30
Figura 2. Curvas de histerese (Fonte: GLYSSON, 1987).....	31
Figura 3. Bacia hidrográfica e principais zonas de produção de sedimentos (Adaptado de: CARVALHO, 2008).....	32
Figura 4. Aporte de sedimentos gerados na bacia até a rede de drenagem (Fonte: BUARQUE, 2015)	46
Figura 5. Fluxograma da metodologia desenvolvida.....	50
Figura 6. Localização da Bacia da Laguna dos Patos.....	51
Figura 7. Caracterização hidrográfica da Bacia da Laguna dos Patos.....	54
Figura 8. Geologia da bacia da Laguna dos Patos (Adaptado de: CPRM, 2008).....	58
Figura 9. Tipos de solo da bacia da Laguna dos Patos (Adaptado de: FAO, 2007)	60
Figura 10. Textura de solo na bacia da Laguna dos Patos (Adaptado de: IBGE, 2000).....	61
Figura 11. Valores de Nash-Sutcliffe e logaritmo de Nash-Sutcliffe obtidos na calibração hidrológica (Fonte: LOPES, 2017)	64
Figura 12. Unidades de Respostas Hidrológicas (URHs) (Fonte: LOPES, 2017).....	66
Figura 13. Localização das estações fluviométricas.....	68
Figura 14. Diagrama triangular generalizado para determinação dos cinco principais grupamentos texturais de solo (Fonte: LEPSCH, 2010).....	70
Figura 15. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).....	78
Figura 16. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).....	79
Figura 17. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).....	79
Figura 18. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).....	81
Figura 19. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000)	82
Figura 20. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000)	82

Figura 21. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barra do Guaiaveira (86410000)	84
Figura 22. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Barra do Guaiaveira (86410000)	85
Figura 23. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).....	85
Figura 24. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).....	86
Figura 25. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).....	87
Figura 26. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).....	87
Figura 27. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).....	89
Figura 28. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).....	90
Figura 29. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).....	90
Figura 30. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).....	91
Figura 31. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).....	92
Figura 32. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).....	92
Figura 33. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).....	94
Figura 34. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).....	95
Figura 35. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).....	95
Figura 36. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).....	96
Figura 37. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).....	97

Figura 38. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000)	97
Figura 39. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Linha Colombo (86560000)	99
Figura 40. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Linha Colombo (86560000)	100
Figura 41. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Linha Colombo (86560000)	100
Figura 42. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Linha Colombo (86560000)	101
Figura 43. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Linha Colombo (86560000)	102
Figura 44. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Linha Colombo (86560000)	102
Figura 45. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Muçum (86510000)	104
Figura 46. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Muçum (86510000)	105
Figura 47. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Muçum (86510000)	105
Figura 48. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Muçum (86510000)	106
Figura 49. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Muçum (86510000)	107
Figura 50. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Muçum (86510000)	107
Figura 51. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000)	109
Figura 52. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000)	110
Figura 53. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Dona Francisca (85400000)	110
Figura 54. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000)	111

Figura 55. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000)	112
Figura 56. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Dona Francisca (85400000).....	112
Figura 57. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).....	114
Figura 58. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).....	115
Figura 59. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).	115
Figura 60. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).	116
Figura 61. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).....	117
Figura 62. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).....	117
Figura 63. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).....	120
Figura 64. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).....	121
Figura 65. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).	121
Figura 66. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).	122
Figura 67. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).....	123
Figura 68. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).....	124
Figura 69. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).	125
Figura 70. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).....	126
Figura 71. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).....	126

Figura 72. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).....	127
Figura 73. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).	128
Figura 74. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).	128
Figura 75. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).	130
Figura 76. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).	131
Figura 77. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Campo Bom (87380000).	131
Figura 78. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).	132
Figura 79. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).	133
Figura 80. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Campo Bom (87380000).	133
Figura 81. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).	135
Figura 82. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).	136
Figura 83. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).	136
Figura 84. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).	137
Figura 85. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).	138
Figura 86. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).	138
Figura 87. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).	140
Figura 88. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).	141

Figura 89. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).....	141
Figura 90. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).....	142
Figura 91. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).....	143
Figura 92. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).....	143
Figura 93. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).....	145
Figura 94. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).....	146
Figura 95. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).....	146
Figura 96. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).....	147
Figura 97. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).....	148
Figura 98. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).....	148
Figura 99. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).....	150
Figura 100. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).....	151
Figura 101. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).....	151
Figura 102. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).....	152
Figura 103. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).....	153
Figura 104. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).....	153
Figura 105. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).....	155

Figura 106. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).....	156
Figura 107. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).....	156
Figura 108. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).....	157
Figura 109. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).....	158
Figura 110. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).....	158
Figura 111. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).....	160
Figura 112. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).....	161
Figura 113. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).....	161
Figura 114. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).....	162
Figura 115. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).....	163
Figura 116. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).....	163
Figura 117. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).....	165
Figura 118. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).....	166
Figura 119. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico UHE Seival (88176000).....	166
Figura 120. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).....	167
Figura 121. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).....	168
Figura 122. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico UHE Seival (88176000).....	168

Figura 123. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	170
Figura 124. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	171
Figura 125. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	171
Figura 126. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	172
Figura 127. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	173
Figura 128. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000)	173
Figura 129. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000)	175
Figura 130. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000)	176
Figura 131. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000)	176
Figura 132. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000)	177
Figura 133. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000)	178
Figura 134. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000)	178
Figura 135. Análise integrada da correlação para etapa de calibração.....	179
Figura 136. Análise integrada de PBIAS para a etapa da calibração.....	180
Figura 137. Análise integrada do NSE e NSE LOG para a descarga sólida em suspensão na etapa de calibração.....	181
Figura 138. Análise de correlação para etapa de validação.....	182
Figura 139. Análise de PBIAS para etapa de validação.....	183
Figura 140. Gráficos da análise integrada da correlação da bacia da Laguna dos Patos para etapa de calibração e período total.....	184
Figura 141. Análise integrada da correlação da bacia da Laguna dos Patos.....	185
Figura 142. Análise integrada da PBIAS para a bacia da Laguna dos Patos.....	186

Figura 143. Análise integrada dos coeficientes de NSE e NSE LOG para a bacia da Laguna dos Patos.....	187
Figura 144. Análise das correlações versus a área de drenagem a montante.	188
Figura 145. Análise das correlações versus o número de dados da estação.	188
Figura 146. Correlações de concentração e descarga sólida versus correlação das vazões... ..	189
Figura 147. Estimativa da Carga Anual de sedimentos finos para bacia da Laguna dos Patos no período de 1990 até 2010.	191
Figura 148. Estimativa da concentração média de argila e silte por trecho de rio	193
Figura 149. Estimativa da concentração média de finos (argila e silte) por trecho de rio....	194
Figura 150. Mapa da estimativa da produção de sedimentos anual gerado pela bacia por ano para argila e silte para bacia da Laguna dos Patos.....	195
Figura 151. Mapa da estimativa da produção de sedimentos anual, em toneladas por ano, de areia para a bacia da Laguna dos Patos.....	196
Figura 152. Mapa da estimativa da produção anual de sedimentos finos e sedimentos totais, em toneladas por ano, para a bacia da Laguna dos Patos.	197

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição granulométrica dos sedimentos encontrados no Estuário da Laguna dos Patos (Adaptado de: CALLIARI & TAGLIANI, 1997 apud TORRES, 2000).....	62
Tabela 2. Valores de correlação entre vazões simuladas e observadas.....	65
Tabela 3. Estações fluviométricas.....	67
Tabela 4. Caracterização da textura de cada tipo de solo.....	70
Tabela 5. Caracterização de solos profundos, rasos e várzea.....	70
Tabela 6. Valores encontrados na literatura para estimar o parâmetro C.....	71
Tabela 7. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 8.....	78
Tabela 8. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo do Gabriel (86100000).....	80
Tabela 9. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo do Gabriel (86100000).	80
Tabela 10. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 9.....	83
Tabela 11. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Barra Passo do Guaiaveira (86410000).....	86
Tabela 12. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Barra Passo do Guaiaveira (86410000).....	88
Tabela 13. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.....	89
Tabela 14. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Ponte do Rio das Antas (86470000).....	91
Tabela 15. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Ponte do Rio das Antas (86470000).	93
Tabela 16. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.....	93
Tabela 17. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo Carreiro (86500000).....	96
Tabela 18. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo Carreiro (86500000).	98
Tabela 19. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.....	98
Tabela 20. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Linha Colombo (86560000).....	101
Tabela 21. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Linha Colombo (86560000).	103
Tabela 22. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.....	103

Tabela 23. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Muçum (86510000).	106
Tabela 24. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Muçum (86510000).....	108
Tabela 25. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 13.....	108
Tabela 26. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Dona Francisca (85400000).....	111
Tabela 27. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Dona Francisca (85400000).	113
.....	
Tabela 28. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 6.....	113
Tabela 29. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Barca do Caí (87170000).	116
.....	
Tabela 30. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Barca do Caí (87170000). 118	
Tabela 31. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 7.....	118
Tabela 32. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo Montenegro (87270000).....	119
Tabela 33. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo Montenegro (87270000).	119
.....	
Tabela 34. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 2.....	124
Tabela 35. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Taquara Montante (87374000).....	127
Tabela 36. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Taquara Montante (87374000).	129
.....	
Tabela 37. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 3.....	129
Tabela 38. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Campo Bom (87380000).	132
.....	
Tabela 39. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Campo Bom (87380000).. 134	
Tabela 40. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 15.....	134
Tabela 41. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Candelária Montante (85735000).....	137
Tabela 42. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Candelária Montante (85735000).....	139
Tabela 43. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 15.....	139
Tabela 44. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Rio Pardo (85900000).	142
.....	

Tabela 45. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Rio Pardo (85900000).....	144
Tabela 46. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 14.....	144
Tabela 47. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo das Tunas (85600000).....	145
Tabela 48. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo das Tunas (85600000).	147
Tabela 49. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 14.....	149
Tabela 50. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto São Sepé Montante (85623000).....	149
Tabela 51. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto São Sepé Montante (85623000).	150
Tabela 52. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 17.....	154
Tabela 53. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo do Capão (87590000).....	155
Tabela 54. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo do Capão (87590000).	157
Tabela 55. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 19.....	159
Tabela 56. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo Mendonça (87905000).....	159
Tabela 57. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo Mendonça (87905000).	160
Tabela 58. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 23.....	164
Tabela 59. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto UHE Seival (88176000).	164
Tabela 60. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto UHE Seival (88176000)... <td>165</td>	165
Tabela 61. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 23.....	169
Tabela 62. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	170
Tabela 63. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	172
Tabela 64. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 23.....	174
Tabela 65. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).....	175

Tabela 66. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000) 177

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	24
2	OBJETIVOS.....	26
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1	Importância de Estudos Hidrossedimentológicos.....	27
3.2	Ciclo Hidrossedimentológico.....	27
3.2.1	Ciclo Hidrológico	27
3.2.2	Ciclo dos Sedimentos.....	28
3.3	Representação Matemática dos Processos Sedimentológicos	33
3.4	Modelos Integrados de Geração e Transporte de Sedimentos	35
3.5	Modelos Hidrossedimentológicos aplicados em estudos no Brasil.....	38
3.6	O Modelo de Grandes Bacias (MGB)	41
3.6.1	Modelo MGB-IPH	41
3.6.2	Modelo MGB-SED	42
3.6.2.1	Módulo bacia.....	43
3.6.2.2	Módulo rio.....	47
3.6.2.3	Módulo planície	49
3.7	Considerações Finais: A Escolha do Modelo MGB-SED aplicado para a bacia da Laguna dos Patos.....	49
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
4.1	O modelo hidrossedimentológico MGB-SED.....	50
4.2	Área de estudo: a bacia da Laguna dos Patos	51
4.2.1	Caracterização hidrológica	53
4.2.2	Caracterização geológica, geomorfológica e pedológica.....	57
4.2.3	Caracterização hidrossedimentológica	61
4.2.4	Caracterização da etapa prévia de modelagem hidrológica.....	63
4.3	Obtenção do banco de dados	66
4.4	Parâmetros de calibração e estimativas iniciais.....	68
4.4.1	Fator de erodibilidade do solo (K).....	69
4.4.2	Fator de cobertura e manejo do solo (C)	71
4.5	Calibração e validação do modelo MGB-SED	72
4.6	Verificação e análise dos dados calibrados	73
4.6.1	Coeficiente de correlação de Pearson	73
4.6.2	Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe.....	74

4.6.3	Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe aplicado a logaritmos.....	74
4.6.4	Porcentagem de BIAS	75
4.6.5	Taxa de desvio padrão	76
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
5.1	Análise da calibração por estação para cada sub-bacia	77
5.1.1	Sub-bacia dos Rios Taquari-Antas	77
5.1.1.1	Estação fluviométrica Passo do Gabriel (86100000).....	77
5.1.1.2	Estação fluviométrica Passo Barra do Guaiaveira (86410000)	83
5.1.1.3	Estação fluviométrica Ponte do Rio das Antas (86470000)	88
5.1.1.4	Estação fluviométrica Passo Carreiro (86500000).....	93
5.1.1.5	Estação fluviométrica Linha Colombo (86560000).....	98
5.1.1.6	Estação fluviométrica Muçum (86510000)	103
5.1.2	Sub-bacia do Alto Jacuí	108
5.1.2.1	Estação fluviométrica Dona Francisca (85400000)	108
5.1.3	Sub-bacia do Rio Caí.....	113
5.1.3.1	Estação fluviométrica Barca do Caí (87170000)	113
5.1.3.2	Estação fluviométrica Passo Montenegro (87270000).....	118
5.1.4	Sub-bacia do Rio dos Sinos	124
5.1.4.1	Estação fluviométrica Taquara Montante (87374000).....	124
5.1.4.2	Estação fluviométrica Campo Bom (87380000).....	129
5.1.5	Sub-bacia dos Rios Pardo e Baixo Jacuí	134
5.1.5.1	Estação fluviométrica Candelária Montante (85735000).....	134
5.1.5.2	Estação fluviométrica Rio Pardo (85900000).....	139
5.1.6	Sub-bacia dos Rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim.....	144
5.1.6.1	Estação fluviométrica Passo das Tunas (85600000)	144
5.1.6.2	Estação fluviométrica São Sepé Montante (85623000).....	149
5.1.7	Sub-bacia dos Rios Camaquã e Gravataí, Lago Guaíba e Litoral	154
5.1.7.1	Estação fluviométrica Passo do Capão (87590000).....	154
5.1.7.2	Estação fluviométrica Passo Mendonça (87905000)	159
5.1.8	Sub-bacia do Rio Jaguarão.....	164
5.1.8.1	Estação fluviométrica UHE Seival (88176000)	164
5.1.8.2	Estação fluviométrica UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).....	169
5.1.8.3	Estação fluviométrica UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).....	174
5.2	Análise integrada da calibração para a bacia da Laguna dos Patos	179
5.3	Análise integrada da validação para a bacia da Laguna dos Patos	181
5.4	Análise integrada da bacia da Laguna dos Patos para o período total	184
5.4.1	Métricas de desempenho	184

5.4.2	Análise em relação às áreas de drenagem de montante	187
5.4.3	Análise em relação ao número de dados.....	188
5.4.4	Análise em relação às vazões	189
5.5	Análise hidrossedimentológica da bacia da Laguna dos Patos	190
5.5.1	Mapa do transporte de sedimentos da bacia da Laguna dos Patos.....	190
5.5.2	Mapa das concentrações de sedimentos por trecho de rio.....	192
5.5.3	Mapa da produção de sedimentos anual.....	195
6	CONCLUSÕES.....	198
7	INDICAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS	202
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	203

ANEXOS

Anexo I. Mapa das sub-bacias e respectivos parâmetros de calibração.

Anexo II. Tabela de identificação da estimativa das texturas de solo para cada sub-bacia.

1 INTRODUÇÃO

Sedimentos são as partículas sólidas, derivadas da rocha, por processos de intemperismo físico-químicos, que podem ser transportadas pela água ou depositadas no leito fluvial (CARVALHO, 2008). O interesse em estudos sobre os processos sedimentológicos, no país, é recente. O primeiro trabalho sobre o assunto teve publicação na década de 50, sendo raras as publicações até 1970 (CARVALHO, 2008).

Atualmente, com o aumento de problemas ambientais decorrentes dos processos hidrossedimentológicos, além de uma gestão integrada dos recursos hídricos (BORDAS & SEMMELMANN, 2001), houve o desenvolvimento de estudos nessa área. Os principais efeitos relacionados aos sedimentos são decorrentes da sua geração, transporte e deposição.

Entre os problemas causados pela erosão, pode-se destacar a remoção da camada fértil de solo, o escorregamento de terras e a produção de sulcos. O transporte de sedimentos, em leitos fluviais, pode aumentar a turbidez, diminuindo a qualidade estética e aumentando o custo do tratamento da água, além de impedir a penetração de luz e calor – reduzindo a atividade fotossintética dos corpos d’água e as populações de peixes nos rios; carregar poluentes, bactérias e vírus; sedimentar os leitos dos rios – reduzindo as profundidades, prejudicando a navegação e provocando enchentes; além de produzir abrasão em turbinas e máquinas diversas. Por fim, destacam-se como problemas devido à deposição de sedimentos o assoreamento de reservatórios, a redução da drenagem superficial, diminuição da fertilidade do solo, o aumento com os custos de dragagem e a danificação da paisagem urbana/rural após as enchentes (CARVALHO, 2008).

A Bacia da Laguna dos Patos, apesar do importante papel econômico que apresenta no Rio Grande do Sul, carece de estudos que a retratem de forma integrada (LOPES, *et al.*, 2015). Sua importância se deve, majoritariamente, à diversidade de processos econômicos que ocorrem dentro da bacia. Pode-se citar, como exemplos, polos industriais, agricultura, pecuária, polos petroquímicos, hidrelétricas, reservatórios de água, mineração de areia, portos e navegação. Além disso, possui uma vasta riqueza de fauna e flora, grande variedade de ecossistemas e inúmeras unidades de conservação, interligados por canais e banhados (LOPES, *et al.*, 2015).

Os processos hidrossedimentológicos que ocorrem na região da bacia são caracterizados por sua intensidade, uma vez que ela se encontra numa latitude de clima subtropical, a qual possui um regime pluviométrico mais intenso (BORDAS & SEMMELMANN, 2001). Dessa

forma, os impactos relacionados ao ciclo dos sedimentos causam prejuízos econômicos, sociais e ambientais inestimáveis. Pode-se destacar o desastre recente, relacionado à erosão, que ocorreu em Rolante em janeiro de 2017 (SEMA & GPDEN, 2017). Além disso, relacionado ao transporte, pode-se destacar o excesso de sedimentos que dificultam o tratamento de água, modificando suas características organolépticas. Em relação à deposição de sedimentos no canal da Laguna dos Patos, que dificultam a navegação de embarcações, bem como aumentam os custos com atividades de dragagem e ao assoreamento dos reservatórios ao longo da bacia (G1, 2017b). Além disso, por ser uma bacia de intensa atividade agropecuária, os sedimentos são carregados para o leito fluvial, diminuindo a fertilidade dos solos e aumentando a pluma de compostos orgânicos, originados por defensivos agrícolas.

Assim, devido à importância que a Bacia da Laguna dos Patos possui na economia do Rio Grande do Sul e aos diversos problemas relacionados aos processos hidrossedimentológicos ligados a essa bacia, há uma grande necessidade de desenvolver estudos que abordem essa dinâmica. Os modelos matemáticos se destacam nesse aspecto, ao permitir uma avaliação integrada entre os processos, tornando-se ferramentas úteis (BUARQUE, 2015) na gestão dos recursos hídricos.

Atualmente, os modelos matemáticos para aplicação em bacias de grandes escalas e que integrem os módulos hidrológicos, em conjunto com o módulo de sedimentos, são capazes de estimar tanto a geração, quanto o transporte de sedimentos. No entanto, por possuírem simplificações na propagação de vazões, não é possível representar efeitos hidrodinâmicos que acontecem em grande escala, especialmente na América Latina, tais como efeitos de remanso e de planícies de inundações no retardo e no amortecimento de hidrogramas, que controlam não só o regime de vazões, bem como a dinâmica dos sedimentos (BUARQUE, 2015).

Dessa forma, Buarque (2015) acopla ao modelo hidrológico MGB-IPH (COLLISCHONN, *et al.*, 2007) a metodologia de geração e transporte de sedimentos, possibilitando uma representação satisfatória dos processos hidrossedimentológicos em redes de drenagem da América Latina, uma vez que integra os efeitos hidrodinâmicos descritos acima.

2 OBJETIVOS

Sabendo a importância de analisar os aspectos relacionados à geração, ao transporte e à deposição de sedimentos nas bacias hidrográficas e a dificuldade de realizar estudos nessa área, o presente trabalho visa analisar os processos hidrossedimentológicos da produção e fluxo de sedimentos finos na região da bacia da Laguna dos Patos utilizando a ferramenta de modelagem MGB-SED (Modelo de Grandes Bacias – Módulo de Sedimentos). Com a finalidade de realizar o objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos apresentados na forma de questões que auxiliarão no desenvolvimento da análise hidrossedimentológica:

- *É possível obter resultados aceitáveis para simulações hidrossedimentológicas com a utilização do Modelo de Grandes Bacias – Módulo de Sedimentos (MGB-SED), no contexto da bacia em questão, com os dados disponíveis? A calibração do modelo gera melhorias para a simulação de forma geral?*
- *Quão adequados são os valores encontrados, em termos de correlação e tendência média dos dados observados em relação aos dados simulados? Quais alterações poderiam ser realizadas para melhorar a metodologia de calibração do modelo, visando obter melhores resultados?*
- *Os valores encontrados na simulação hidrossedimentológica estão de acordo com os valores médios encontrados na literatura?*
- *A modificação dos parâmetros utilizados, para realizar a calibração, são suficientes em termos de simulação? O que pode ser alterado no modelo para melhorar os resultados encontrados?*

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importância de Estudos Hidrossedimentológicos

Devido aos problemas relacionados à erosão, ao assoreamento de canais e reservatórios, bem como à intensa poluição, tem-se aumentado a necessidade de estudos que visem os recursos hídricos de forma integrada. Segundo Buarque (2015), os modelos matemáticos se mostram bem interessantes para compreender a dinâmica de sedimentos em bacias hidrográficas, dessa forma, pode-se avaliar o uso e o manejo do solo, a pressão antrópica em consequência do desenvolvimento econômico e, ainda, estudos que possam promover o conhecimento frente às mudanças climáticas.

Os modelos de sedimentos possuem duas linhas de pesquisa tradicionalmente. A primeira com estudos voltados para a perda de solo e a segunda com interesse no transporte e propagação de sedimentos na bacia. Contudo, esses processos são complementares e ocorrem ao mesmo tempo nas bacias hidrográficas, aumentando a necessidade de integrar ambos os processos nas simulações matemáticas (BUARQUE, 2015).

Os estudos sobre hidrossedimentologia se tornam muito úteis para previsão de assoreamento de reservatórios. Para construção de barragens e reservatórios, é necessária uma estimativa da vida útil do reservatório (CARVALHO, 2008). Além disso, esses estudos podem ser úteis para impedir problemas associados aos sedimentos, como erosão e destruição das nascentes, desertificação, diminuição da qualidade da água, deposição de sedimentos devido a enchentes, entre outros, bem como podem aumentar os benefícios trazidos pelos sedimentos, como desenvolvimento econômico devido a mineração de sedimentos, como a atuação na redução de outros poluentes e como material fértil natural para áreas agrícolas são alguns exemplos (CARVALHO, 2008).

3.2 Ciclo Hidrossedimentológico

3.2.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico, em escala global, é o fenômeno de circulação da água entre a superfície e atmosfera terrestre. Em conjunto com a gravidade e a rotação terrestre, a maior fonte de energia para que ocorra o ciclo é a solar. Na superfície terrestre, a água circula através Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

dos solos, rochas, oceanos e seres vivos, retornando para a atmosfera na forma de vapor, como consequência dos fenômenos de evaporação e de transpiração, ocasionados pelo aquecimento da superfície terrestre. Na atmosfera, a água circula majoritariamente na troposfera, camada de 8 a 16 km de espessura que mantém cerca de 90% da umidade atmosférica. As correntes aéreas deslocam a água não apenas na forma de vapor, mas também no estado líquido e sólido. A água retorna à superfície em qualquer estado físico, dependendo da região e estação do ano, no entanto as precipitações de chuva e de neve são as formas mais comuns (SILVEIRA, 2001).

Após retornar à superfície, a água pode sofrer um processo de infiltração no solo ou virar escoamento superficial, até atingir um curso d'água (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013). A água infiltra no solo até que seus poros estejam completamente saturados, parte dessa água é aproveitada pelas raízes das plantas, enquanto outra parte é utilizada para recarregar os aquíferos freáticos. O excesso de água, que não infiltra no solo, vira escoamento superficial e sofre influência direta da gravidade terrestre, escoando para cotas mais baixas. Dessa forma, ao vencer o atrito com a superfície do solo, o micro curso d'água contribui para a erosão do mesmo, moldando o relevo da região. A vegetação possui um importante papel nesse processo, pois suas raízes facilitam a infiltração da água no solo, além de diminuírem o impacto da água no solo, diminuindo a erosão (SILVEIRA, 2001).

Segundo Collischonn & Dornelles (2013), a bacia hidrográfica é caracterizada por ser a área de captação natural do fluxo de água originado por um ou mais eventos de precipitação que, ao convergir o escoamento para um único ponto de saída – o exutório, transforma uma entrada concentrada no tempo em uma saída relativamente distribuída no tempo.

3.2.2 Ciclo dos Sedimentos

Os solos se originam dos processos de intemperismo, físicos ou químicos, das rochas da superfície terrestre. Suas partículas se caracterizam por possuírem diversos tamanhos e composições químicas (PINTO, 2006). Segundo a ABNT NBR 6.502/95 – Rochas e Solos, a divisão dos solos, de acordo com o seu tamanho, é: bloco de rocha (fragmentos de rocha com diâmetro superior a 1 m), matação (diâmetro entre 200 mm e 1 m), pedra/pedregulho/cascalho (diâmetro entre 2 mm e 60 mm), areia (diâmetro entre 0,06 mm e 2 mm), silte (diâmetro entre 0,002 mm e 0,06 mm) e argila (diâmetro inferior a 0,002 mm). Os sedimentos finos são constituídos majoritariamente pelos solos/partículas finas, isto é, aquelas que passam pela peneira padrão nº 200, ou seja, partículas inferiores a 0,075 mm, englobando as argilas, os siltes

e uma pequena porcentagem das areias finas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1995).

Assim como a água possui um ciclo hidrológico, os sedimentos possuem um ciclo sedimentológico. O ciclo dos sedimentos se inicia a partir de processos erosivos, abrangendo o transporte e a deposição final das partículas sólidas.

A erosão, segundo Carvalho (2008), é o fenômeno do desgaste das rochas e solos, sendo suas etapas a desagregação e o deslocamento das partículas, através dos agentes erosivos. Esses elementos do meio físico que causam ou afetam a erosão podem ser ativos, como a água, a insolação, o vento, o gelo, ou passivos, como topografia, gravidade, tipo de solo (CARVALHO, 2008). Para o ciclo hidrossedimentológico, o agente erosivo mais importante é a água. Entre os processos erosivos de origem hídrica, os mais relevantes, para Carvalho (2008), são:

- *Erosão fluvial: ocorre de forma contínua pela ação das correntes dos rios, responsável principalmente pelo aprofundamento e alargamento do leito dos rios. O material erodido é nomeado aluvião;*
- *Erosão hídrica superficial: erosão pluvial – produzida pelo impacto das gotas de chuva, erosão laminar – ocorre durante fortes precipitações ao criar uma lâmina d'água em solos saturados, erosão por escoamento difuso – filetes de água que se dividem em braços e transportam o material sólido, erosão por escoamento difuso intenso – semelhante ao anterior mas com maior intensidade, erosão por escoamento concentrado – quando os sulcos formados sofrem deslizamentos e desabamentos, terminando por formar voçorocas.*
- *Erosão por remoção em massa: ocorre quando o solo está saturado, em conjunto com a influência da gravidade, movimentando grandes quantidades de material superficial e rochas. São exemplos o rastejo, a solifluxão, o deslizamento, a ruptura de talude e o escorregamento profundo.*
- *Erosão devido a eventos extremos: erosão ocasionada por enchentes.*

Em Bordas & Semmelmann (2001), a primeira etapa do ciclo é a desagregação, isto é, quando a água que chega à bacia, através da precipitação, desagrega as partículas de solo, tanto por fatores indiretos, ao exemplo das reações químicas ou das flutuações de temperatura, como por fatores diretos, como o impacto das gotas no solo, a infiltração da água da chuva ou o escoamento superficial gerado pela precipitação. Para as partículas mais finas, a coesão é a

força de resistência responsável por mantê-las unidas (BORDAS & SEMMELMANN, 2001), assim, a umidade excessiva causa a perda da coesão do solo, excedendo os limites de plasticidade ou de liquidez (CARVALHO, 2008), o que causa a remoção de material sólido.

O transporte de sedimentos, que varia de acordo com as condições locais e do escoamento, é função de diversos aspectos relacionados tanto com a partícula, como o tamanho, o peso e a forma, assim como velocidade da corrente, declividade do leito, forma do canal (CARVALHO, 2008). Ainda, segundo Carvalho (2008), existem três tipos de transporte de sedimentos no leito dos rios, como pode ser observado na Figura 1:

- *Carga Sólida de Arrasto: partículas em contato com o leito, que rolam ou escorregam longitudinalmente;*
- *Carga Sólida Saltante: partículas que pulam ao longo do curso d'água, devido ao efeito da correnteza ou ao impacto de outras partículas;*
- *Carga Sólida em Suspensão: partículas que, ao mesmo tempo em que são sustentadas pela componente vertical das velocidades de fluxo turbulento, são transportadas pela componente horizontal. Sua principal característica é que seus diâmetros são pequenos, mantendo as partículas em suspensão.*

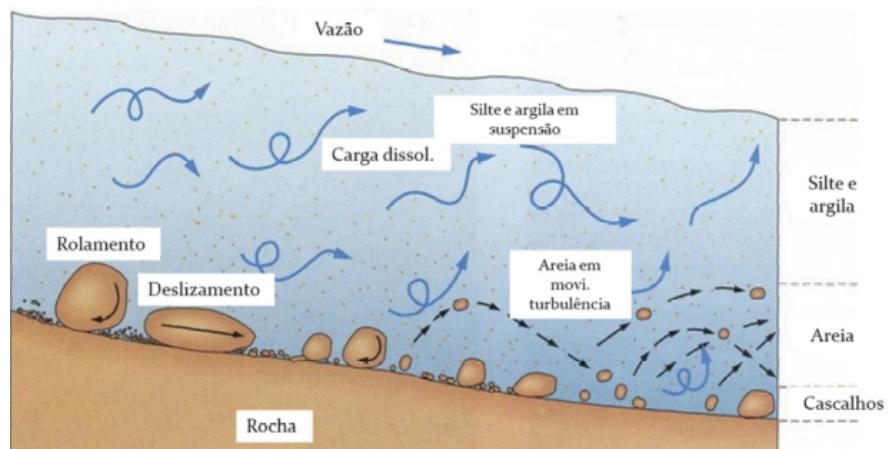


Figura 1. Trajetórias das partículas sólidas no contexto do ciclo de sedimentos (Fonte: MARCONDES, 2011).

Uma das características do transporte de sedimentos é que o pico de vazão e o pico de concentração de sedimentos pode ou não ocorrer ao mesmo tempo, como pode ser observado na Figura 2.

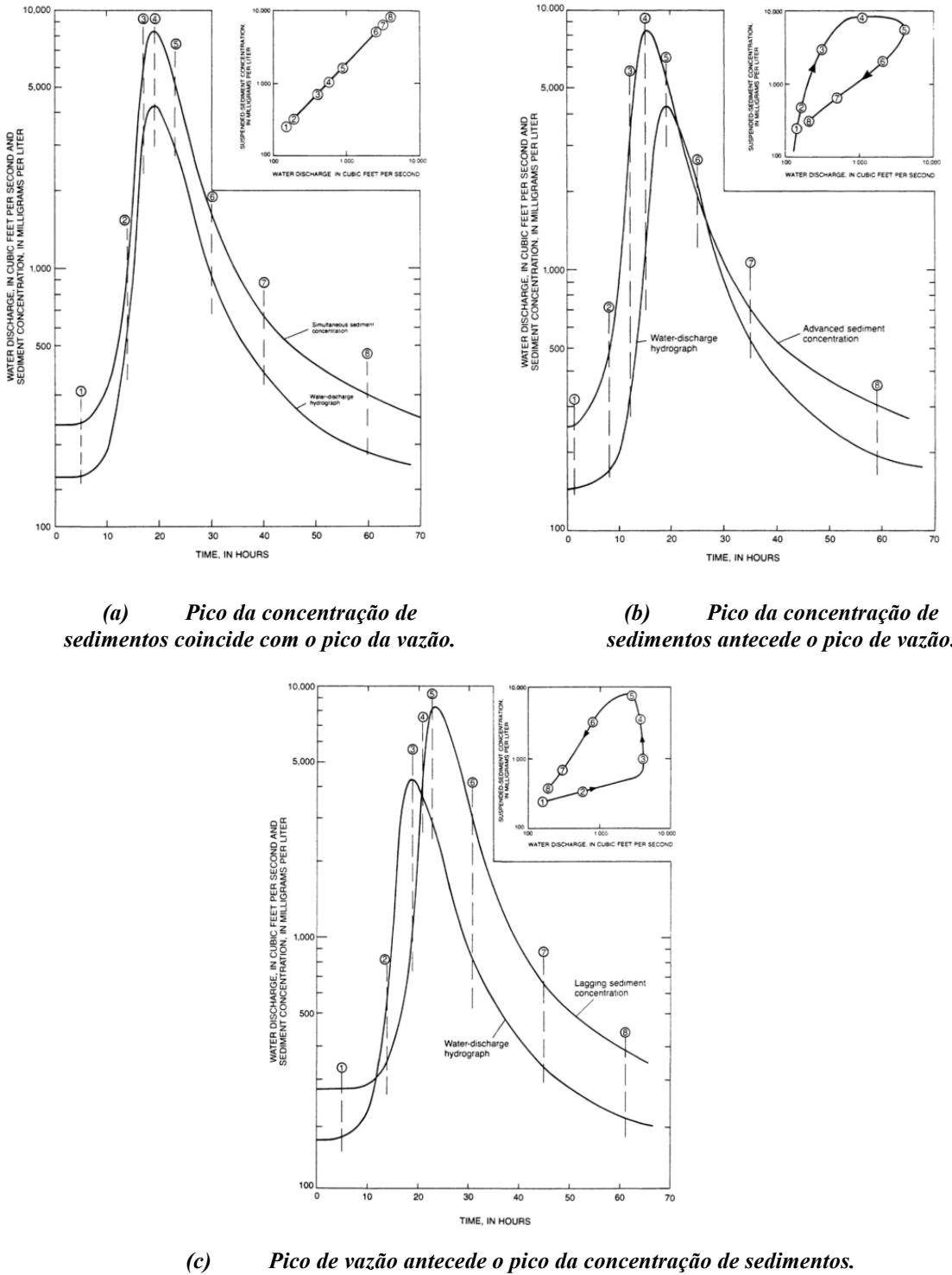


Figura 2. Curvas de histerese (Fonte: GLYSSON, 1987).

Segundo Glysson (1987), para locais onde o pico de vazão coincide com o pico de sedimentos, como na Figura 2(a), para amostras coletadas apenas nos períodos de picos ou de recessão pode não ocasionar tantos problemas na análise dos dados, como ao elaborar uma curva chave de sedimentos. No entanto, quando há poucos dados coletados e as curvas são mais

próximas das Figuras 2(b) e 2(c), ou seja, picos não coincidentes, pode haver uma análise errada dos dados. O mais comum é que o pico de sedimentos aconteça antes do que o pico de vazão da água (CARVALHO, 2008).

A deposição é a parada total da partícula em suspensão recém decantada ou transportada por arraste (BORDAS & SEMMELMANN, 2001). Segundo Carvalho (2008), é nas cabeceiras dos rios, Zona 1 da Figura 3, onde se encontram os sedimentos com tamanhos maiores (pedras, cascalhos). Além disso, a Alta Bacia é a responsável pela maior fonte de geração de sedimentos, sofrendo maior erosão e degradação. Na transição, ocorre o maior transporte de sedimentos, pois este recebe carga sólida dos diversos afluentes da bacia (CARVALHO, 2008). Na Zona Média, há diminuição da erosão, uma vez que as declividades decrescem e as chuvas se tornam menos intensas, assim, ao longo do percurso os sedimentos são fracionados e suas granulometrias se reduzem. Com o desenvolvimento do curso d'água para jusante, há uma maior produção de material fino. Na Zona Baixa da bacia, encontra-se a região de menor erosão, com uma forte agradação/deposição dos sedimentos nos colúvios e sua distribuição nos terrenos (CARVALHO, 2008).

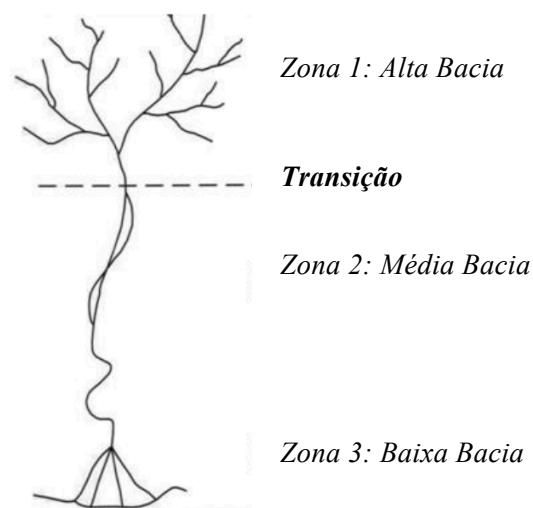


Figura 3. Bacia hidrográfica e principais zonas de produção de sedimentos (Adaptado de: CARVALHO, 2008).

3.3 Representação Matemática dos Processos Sedimentológicos

Os processos sedimentológicos são aqueles referentes à geração de sedimentos, ao transporte de sedimentos no curso d'água e à deposição de sedimentos. A USLE (Universal Soil Loss Equation), desenvolvida por Wischmeier & Smith (1965), é a equação mais utilizada para o cálculo de erosão em termos médios (CARVALHO, 2008).

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (1)$$

onde, A [t/ha] é a perda de solo; R [(t m/ha).(mm/h)] é o fator de erosividade da chuva, que expressa o poder erosivo da precipitação média anual da região; K [(t/ha)/(t m/ha).(mm/h)] é o fator de erodibilidade do solo, que expressa a capacidade do solo de sofrer erosão por determinada chuva; L [m] é o fator topográfico que expressa o comprimento do declive; S [-] é o fator topográfico que expressa a declividade do terreno ou grau do declive; C [-] é o fator que expressa o uso e manejo do solo e cultura; P [-] é o fator que expressa a prática conservacionista do solo.

Em Renard, *et al.* (1991; 1994; 1997), é apresentada uma variação da equação USLE, para incluir conhecimentos desenvolvidos entre 1980 e 1990 (BUARQUE, 2015). No entanto, com esses modelos não é possível calcular a produção de sedimentos na bacia sem aplicar o coeficiente Taxa de Transferência de Sedimentos (Sediment Delivery Ratio – SDR), os modelos consideram apenas estimativas médias anuais de sedimento e, ainda, não consideram explicitamente o escoamento superficial como parâmetro para geração de sedimentos (BUARQUE, 2015).

Williams & Berndt (1972) sugeriram uma modificação da equação USLE – a equação MUSLE, que pode associar a produção de sedimentos a eventos de precipitação (BORDAS & SEMMELMANN, 2001). Essa alteração aumenta a eficiência do modelo matemático, pois deixa de forma explícita a vazão de pico do evento e o volume de escoamento superficial gerado, não sendo mais necessário a utilização da Taxa de Transferência de Sedimentos (SDR). A MUSLE é representada pela seguinte equação.

$$E = \alpha \cdot (Q \cdot q_p)^\beta \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (2)$$

onde, E [t] é o aporte de sedimentos produzidos por uma chuva isolada; α e β [-] são coeficientes de ajuste característicos da região onde se encontra a bacia; Q [m^3] é o volume de escoamento superficial gerado no evento; q_p [m^3/s] é a vazão de pico do evento; K [(t.h/MJ).mm] é a erodibilidade média dos solos da bacia; C [-] é o fator médio de uso e manejo do solo da bacia; LS [-] é o fator de comprimento de rampa declividade das vertentes da bacia; P [-] é o fator de práticas conservacionistas.

Segundo Carvalho (2008), a produção específica de sedimentos, também conhecida como descarga sólida específica, representa o rendimento sólido da área de drenagem considerada. Pode ser calculada pela Equação 3 (MAHMOOD, 1987):

$$P_s = \frac{D_s}{A} \quad (3)$$

onde, P_s [$t/km^2.\text{ano}$] é a produção sólida específica de sedimentos relativa a um ano específico ou a valores médios de vários anos; D_s [t/ano] é o deflúvio sólido, isto é, a geração anual de sedimentos de uma bacia; A [km^2] é a área da bacia contribuinte.

Após o desprendimento do solo, o sedimento é transferido para o curso d'água, onde é transportado. De acordo com Carvalho (2008), é nos períodos chuvosos, principalmente durante eventos de grandes precipitações, que ocorre o transporte de 70% a 90% dos sedimentos. Os sedimentos, dependendo de suas características, podem continuar seu trajeto pelos rios ou podem se depositar nos leitos e nas planícies de inundação.

Apesar do transporte de sedimentos ser melhor representado por modelos 3D, contudo é comumente utilizado os modelos unidimensionais, uma vez que são mais simplificados e demandam menos tempo de processos computacionais. Os modelos unidimensionais conseguem avaliar o perfil longitudinal das propriedades médias da seção transversal do escoamento e transporte de sedimentos no curso d'água (WU, 2008). Segundo Buarque (2015), são utilizadas as equações de conservação de massa e de momento para resolver os modelos hidrodinâmicos unidimensionais, mais conhecidas como equações de Saint Venant, para fornecer as variáveis do escoamento no espaço e no tempo (Equação 4 e 5).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_l \quad (4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left(\frac{\alpha \cdot Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + g \cdot A \cdot S_f = q_l \quad (5)$$

onde, x [m] é a coordenada espacial na direção do escoamento; A [ha] é a área da seção; Q [m^3/s] é a vazão; h [m] é o nível d'água; α [-] é o fator de correção da não uniformidade da velocidade na seção.

Contudo, as equações de Saint Venant não apresentam alterações que possam ocorrer no leito de rios de fundo móvel no tempo e no espaço, assim, primeiro são resolvidas as equações da fase líquida, considerando o leito fixo e mantendo constantes os valores das variáveis da seção. Após, com as novas características hidráulicas determinadas, é aplicada a equação da continuidade de sedimentos para determinar desde o volume de erosão até o depósito de sedimentos, determinando a nova configuração do leito (BUARQUE, 2015). Segundo Buarque (2015), equação da continuidade simplificada é conhecida como equação de Exner (CHANG, 1988):

$$(1 - \lambda) \cdot \frac{\partial A_b}{\partial t} + \frac{\partial Q_s}{\partial x} = q_s \quad (6)$$

onde, λ [-] é a porosidade do material de fundo; A_b [ha] é a área da seção transversal; Q_s [t/d] é a descarga sólida; q_s [t/d] é a contribuição lateral de sedimentos por unidade de largura.

3.4 Modelos Integrados de Geração e Transporte de Sedimentos

De acordo com Buarque (2015), modelos de geração e transporte de sedimentos aplicados em grandes bacias possuem duas etapas: a primeira, na qual ocorre a aplicação do modelo de erosão e transferência de sedimentos nos elementos discretizados da bacia, e a segunda etapa é referente à produção total de sedimentos na bacia em estudo. A produção de sedimentos pode ser calculada de duas maneiras, geralmente, aplica-se o cálculo da taxa de transferência de sedimentos ou propaga-se o transporte de sedimentos gerados na bacia através dos trechos de rios que interconectam os elementos discretizados. Para que os processos de erosão e deposição possam ser simulados, adota-se uma relação de capacidade de transporte do rio. Ao utilizar

modelos que integrem a geração e o transporte de sedimentos, pode-se obter a dinâmica de sedimentos que ocorre tanto na bacia, quanto nos rios (BUARQUE, 2015).

Em Aksoy & Kavvas (2005), é realizada uma revisão dos diversos modelos integrados para geração e transporte de sedimentos. Os modelos podem ser divididos em conceituais, quando a bacia hidrográfica é representada por um sistema de armazenamento, e empíricos, quando são limitados pelas condições as quais foram desenvolvidos. Além disso, um modelo também pode ser físico, nos casos em que é desenvolvido a partir das equações de conservação de massa dos sedimentos (AKSOY & KAVVAS, 2005).

O modelo AGNPS (YOUNG, *et al.*, 1989) é um modelo empírico e modificado da equação USLE. Esse modelo é capaz de simular escoamento da água e transporte de nutrientes e de sedimentos de bacias hidrográficas com grandes áreas de agricultura. Aplicado em bacias pequenas de aproximadamente 80 até 130 km² (AKSOY & KAVVAS, 2005).

O modelo ANSWERS (BEASLEY, *et al.*, 1980) é composto por um modelo hidrológico conceitual e um modelo de geração de sedimentos físico. O processo erosivo é realizado tanto pela chuva, quanto pelo escoamento nesse modelo, contudo só pode ser transportado pelo escoamento. Em seguida, foi desenvolvido um modelo que simula um único evento e inclui a componente de erosão do canal (AKSOY & KAVVAS, 2005).

O modelo EUROSEM (MORGAN, *et al.*, 1998) foi desenvolvido para simular a erosão do solo causada pela água em pequenas bacias. É um modelo físico, o qual suas simulações são baseadas em um evento de precipitação, e não seria possível calcular muitos de seus parâmetros para uma simulação contínua. O modelo simula o escoamento total, a perda total de solo, os hidrogramas e os gráficos de sedimentos. Os parâmetros hidrológicos são os mais importantes, no entanto a vegetação possui um efeito insignificante (AKSOY & KAVVAS, 2005).

O modelo LASCAM (VINEY & SIVAPALAN, 1999) é contínuo, isto é, a simulação é realizada em intervalos de tempo diário, e conceitual. Inicialmente, o modelo foi desenvolvido para prever as mudanças na produção e qualidade de água em bacias com áreas majoritárias de florestas, a partir de alterações de uso do solo e do clima, após, foi desenvolvido um módulo de sedimentos. A seguir, foi acoplado um modelo conceitual de mobilização e transporte de nutrientes (AKSOY & KAVVAS, 2005).

O modelo SedNET (PROSSER, *et al.*, 2001) é capaz de simular a geração e deposição de sedimentos da bacia e margens de rios, além disso, é acoplado a SIG e pode ser utilizado para gestão do uso do solo em pequenas, médias e grandes bacias, além disso, utiliza a equação da

USLE acoplada com a Taxa de Transferência de Sedimento (SDR) (BUARQUE, 2015). Segundo Merrit, *et al.* (2003), a maior vantagem do modelo é a capacidade de representação das fontes e depósitos de sedimentos em uma bacia, contudo o modelo se torna complexo por apresentar uma grande quantidade de rios que se conectam na bacia e exigir quantidade acumulada de parâmetros, que geralmente necessitam de caracterização *in situ*, inviabilizando a modelagem de grandes bacias.

O modelo SWAT (ARNOLD, *et al.*, 1998) é semi-distribuído, contínuo e de escala de bacia, que possui a capacidade de analisar os impactos de práticas de manejo em bacias hidrográficas. Nesse modelo, a bacia é dividida em sub-bacias, que se transformam em unidades menores, denominadas Unidades de Resposta Hidrológica (URH), as quais realizam o balanço hídrico, somando os escoamentos em cada sub-bacia. O aporte de sedimentos é calculado pela MUSLE e o método de propagação de vazões pode ser o método de armazenamento da taxa variável (variable-rate method) ou a metodologia de Muskingum desenvolvida por Neitsch, *et al.* (2005). Devido à utilização de uma metodologia simplificada de propagação de vazões, não é o modelo mais indicado para bacias onde características hidráulicas como efeitos de remanso e planícies de inundação são importantes (BUARQUE, 2015).

O modelo SWAT-G (ECKHARDT, *et al.*, 2002) é uma versão modificada da SWAT99.2. Sua aplicação é majoritariamente para bacias com encostas íngremes e solos rasos sobre aquíferos rochosos. O intervalo de tempo é contínuo e pode simular o impacto de práticas de manejo sobre o escoamento de água e aporte de sedimentos (BUARQUE, 2015).

O modelo SWIN, de Krysanova, *et al.* (1998; 2000), é um modelo acoplado em SIG para modelagem hidrológica e de sedimentos, para bacias médias e grandes. Contudo, seus parâmetros podem ser atribuídos em escala regional e utiliza informações de hidrologia, vegetação, erosão e dinâmica de nutrientes, sendo as bacias divididas em bacia, sub-bacias e URHs. O módulo de sedimentos é calculado pela MUSLE e a propagação de sedimentos na rede de drenagem é igual ao da SWAT (BUARQUE, 2015).

O modelo WASA-SED (GUNTNER, 2002; GUNTNER & BRONSTERT, 2004; MUELLER, *et al.*, 2010) é semi-distribuído, desenvolvido principalmente para regiões semiáridas e de grandes bacias, seu uso é indicado para avaliar análise de manejo de uso do solo e sedimentação em reservatórios. A bacia é subdividida em sub-bacias, que são divididas em unidades de paisagem. As unidades de paisagem se subdividem em terras baixas, encosta e terras altas, de acordo com a caracterização do terreno, relacionado à declividade, ao comprimento e às características de solo e de vegetação. Possui quatro equações disponíveis

para o cálculo da geração de sedimentos, a USLE e suas derivações. A propagação de vazão, no modelo, é pelo método Muskingum, enquanto o transporte de sedimentos se divide em duas metodologias: transporte de fundo, que utiliza a capacidade de transporte, e transporte em suspensão, que utiliza a concentração máxima encontrada de acordo com a função de potência da velocidade máxima do canal (BUARQUE, 2015).

3.5 Modelos Hidrossedimentológicos aplicados em estudos no Brasil

A América Latina está em crescente desenvolvimento econômico e, em conjunto com o desafio de planejar de forma estratégica os recursos ambientais, há um aumento do desenvolvimento de ferramentas voltadas para aspectos regionais (COLLISCHONN & TUCCI, 2001). Em níveis de planejamento de bacia hidrográfica, além de realizar estudos sobre a dinâmica hidrológica, há uma crescente demanda pelo planejamento hidrossedimentológico, não apenas pelos problemas decorrentes dos sedimentos, mas também por sua importância econômica. Os estudos de modelagem de sedimentos se destacam nesse cenário, sendo sua utilização majoritariamente nas áreas relacionadas com a caracterização hidrossedimentológica, estudos de reservatórios e pesquisas relacionadas a portos.

No Brasil, podemos encontrar alguns estudos relacionados com a simulação de sedimentos, desde trabalhos mais localizados com aplicação de modelos de sedimentos em pequenas bacias, até trabalhos mais complexos com desenvolvimento de modelos integrados de geração e transporte de sedimentos.

Lacerda, *et al.* (2017) utilizaram o modelo Delft3D para analisar os impactos do aprofundamento de um canal estuarino na região da baía de Vitória, no Espírito Santo. Segundo os autores, foi possível obter valores próximos de valores já medidos em outros estudos para a região. Contudo, alguns parâmetros que são fixos ao longo do tempo, no modelo utilizado, representam uma limitação para o estudo de caso, uma vez que não é possível diferenciar os ciclos de sizígia e quadratura.

Foi realizado na bacia do Ribeirão do Cipó, em Poço de Caldas/MG, um mapeamento da erosão hídrica, de acordo com Ferreira, *et al.* (2017). O estudo utilizou a equação USLE, com a distribuição espacial em SIG, com objetivo de identificar as áreas mais vulneráveis à erosão hídrica, utilizando sua aplicação para perdas de solo média anual. Foi possível determinar as áreas mais vulneráveis à erosão, contudo a metodologia é bem simplificada, uma vez que atende

apenas ao critério de geração de sedimentos e não há nenhuma análise de transporte do mesmo pela bacia.

No estudo realizado por Santos, *et al.* (2015), foi utilizado o modelo SWAT (ARNOLD, *et al.*, 1998) para analisar a dinâmica hidrossedimentológica da bacia do Rio Tapacurá, integrante da Rede de Hidrologia do Semiárido (REHISA), na porção litorânea do Estado de Pernambuco, após alterações no uso e ocupação da bacia. A calibração e validação do modelo foram satisfatórias para os dados hidrológicos simulados e os observados. Pode-se notar que houve alteração da dinâmica dos sedimentos com as modificações de uso e ocupação do solo ao longo do tempo.

O trabalho de Zanin & Bonumá (2015) apresenta mais uma utilização do modelo SWAT (ARNOLD, *et al.*, 1998) em bacias brasileiras, com simulação de alterações hidrodinâmicas e hidrossedimentológicas em bacias embutidas com a presença de reservatórios (atualmente) e sem a presença de reservatórios (cenário anterior). O modelo foi aplicado com passo de tempo mensal, com calibração e validação apresentando resultados satisfatórios para o índice de Nash-Sutcliffe. O estudo apresenta a dificuldade de realizar simulações hidrossedimentológicas em bacias que possuem represamento, uma vez que o modelo simulou de forma satisfatória para o cenário sem reservatórios e, no cenário com reservatório, há um comportamento não linear nos meses com menores produções de sedimentos.

Em Gomes & Paiva (2010), é realizado um estudo com a utilização do modelo SWMM (JAMES, *et al.*, 2003), desenvolvido pela US EPA entre 1969 e 1971. O trabalho faz uma análise dos processos de acumulação e propagação dos sedimentos que são provenientes de superfícies impermeáveis, realizado em uma área urbana, localizada em uma bacia de micro drenagem na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Para realizar as simulações, foram escolhidos seis eventos que ocorreram na bacia e foi realizada a calibração para cada evento individualmente.

Araújo (2003) apresenta, em seu trabalho, o modelo HidroSed, que permite estimar o transporte difuso de sedimentos pelos métodos de Maner, Roehl e Williams-Berndt. Após a elaboração do modelo, foi realizada a simulação do processo em sete bacias do semiárido e sua validação através de levantamentos de campo. A modelagem é realizada em termos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos, dessa forma, os dados observados utilizados foram os valores de assoreamento de reservatórios das bacias. O modelo é simulado em passos mensais e seus resultados preliminares, sem calibração, são satisfatórios.

Dantas, *et al.* (2015) utiliza o modelo SWAT (ARNOLD, *et al.*, 1998) para realizar uma estimativa da produção de sedimentos em grandes bacias, utilizando a bacia do Rio Taperoá, localizado na região semiárida do Estado da Paraíba, como estudo de caso. A calibração do modelo foi realizada comparando os dados simulados de vazão com os dados mensais observados na estação fluviométrica Poço de pedras. Segundo os autores, o modelo apresentou um bom desempenho para área da bacia de estudo no período de calibração, contudo para o período de validação a simulação não foi muito satisfatória. A incoerência entre os dois períodos foi explicada pelo aumento de barramentos na bacia, após o período de calibração.

Venâncio (2009) utilizou o modelo MIKE 21C para simular o assoreamento do reservatório Represa Velha, localizado na bacia hidrográfica do Mogi Guaçu. O modelo, apesar de gerar resultados de assoreamento semelhantes aos observados em campo, possui muitas limitações e dificuldades para a calibração, além disso, os dados de saída do modelo não são muito satisfatórios, dificultando a interpretação dos mesmos.

Um trabalho de grande importância é o realizado por Buarque (2015), onde é desenvolvido um modelo de geração e transporte de sedimentos integrados, acoplado ao modelo MGB-IPH, com enfoque para as bacias da América Latina, que possuem características hidráulicas distintas. Nesse trabalho, além de apresentar o modelo, ainda é aplicado ao estudo de caso da bacia do Rio Madeira, principal tributário do sul da bacia Amazônica. Segundo Buarque, *et al.* (2016), os resultados foram satisfatórios, representando desde os principais locais de geração de sedimentos até a sazonalidade do transporte de sedimentos em suspensão e, ainda, os dados simulados estão de acordo com os dados observados.

Além dos estudos realizados na bacia do Rio Madeira, o modelo MGB-SED foi utilizado para simular a geração e transporte de sedimentos na bacia do Rio Doce, como pode ser observado em Fagundes, *et al.* (2017), que possui características distintas da bacia de aplicação original. O trabalho apresenta uma simulação preliminar, isto é, sem calibração dos parâmetros sedimentológicos. A bacia do Rio Doce apresentou recentemente desastres ambientais catastróficos relacionados aos sedimentos, que ocorreu na cidade de Mariana, em novembro de 2015. Como estudo preliminar, o modelo apresentou resultados satisfatórios de acordo com os autores, com mais de 70% das estações fluviométricas apresentando valores de Nash-Sutcliffe acima de 0,5.

3.6 O Modelo de Grandes Bacias (MGB)

De especial interesse para o presente trabalho, é utilizado o modelo hidrossedimentológico de grandes bacias MGB-SED (BUARQUE, 2015). Esse modelo foi desenvolvido a partir da introdução do módulo de sedimentos no modelo hidrológico de grandes bacias MGB-IPH (COLLISCHONN, *et al.*, 2007). O conceito do MGB-IPH se baseia em três aspectos: simular processos hidrológicos em bacias com mais de 10^4 km^2 , descrever a distribuição espacial os processos hidrológicos em bacias dessa escala e descrever a influência da vegetação no contexto da bacia (COLLISCHONN & TUCCI, 2001).

3.6.1 *Modelo MGB-IPH*

O modelo hidrológico MGB-IPH, foi desenvolvido por Collischonn (2001) no Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Desde então, vem sendo aprimorado e validado em diversos estudos como nos trabalhos realizados por Paiva (2009), Fan & Collischonn (2014), Pontes, *et al.* (2015), Fan (2015), Fleischmann, *et al.* (2017) e Lopes (2017). O modelo tem foco nas grandes bacias hidrográficas da América Latina, por causa da baixa e limitada distribuição espacial dos dados hidrológicos, e utiliza como parâmetros o uso e os tipos de solo, a topografia e a vegetação (COLLISCHONN, *et al.*, 2007).

Modelos hidrológicos, como o MGB-IPH, realizam uma transformação chuva-vazão, simulando a descarga fluvial gerada por um evento de precipitação e suas interações com os aspectos bióticos e abióticos da bacia hidrográfica (LOPES, 2017). Preliminarmente, a estrutura do modelo foi baseado no modelo LARSIM (BREMICKER, 1998), com simplificação do seu módulo de balanço de água no solo, o módulo de evapotranspiração seguiu o modelo de Shuttleworth (1993) e Wigmosta, *et al.* (1994) e o módulo de escoamento foi desenvolvido a partir da metodologia de Muskingum-Cunge, descrita por Tucci (1998), que segundo Paiva (2009), é muito eficiente em casos onde os efeitos de jusante e de armazenamento nas planícies de inundação não são importantes. A bacia sofre uma subdivisão em células quadradas, ligadas entre si por canais de drenagem (COLLISCHONN & TUCCI, 2001). A simulação inclui os processos de balanço de água no solo, precipitação, interceptação, evapotranspiração, infiltração, escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos, além de armazenamento de água no solo, que fazem parte do ciclo hidrológico (LOPES, 2017).

O MGB-IPH foi desenvolvido e aperfeiçoado nos aspectos de discretização da bacia hidrográfica, ou seja, a etapa de divisão da bacia em áreas menores (FAN & COLLISCHONN, 2014), e na propagação de vazões. Após as modificações do modelo, a bacia passou a ser discretizada em minibacias, nas quais cada uma possui um trecho de rio correspondente (PAIVA, 2009), além disso, as minibacias são subdivididas em Unidades de Respostas Hidrológicas (URH ou HRU – Hydrological Response Unit), isto é, áreas que possuem comportamento hidrológico similar, devido a características físicas relacionadas ao solo e à cobertura vegetal (FAN & COLLISCHONN, 2014). Assim, os processos hidrológicos verticais são simulados em níveis de URH, os volumes gerados são somados e propagados pelas minibacias e, posteriormente, propagados pela rede de drenagem (PAIVA, 2009). Em Paiva (2009), é realizado o aperfeiçoamento do método de propagação de vazões, que pode ser o Muskingum-Cunge e o modelo hidrodinâmico, e a utilização de cada método depende de três aspectos: locais de interesse (aqueles os quais se deseja resultados mais precisos, como hidroelétricas, hidrovias e cidades), locais com características físicas que exigem um modelo mais complexo (por exemplo, locais de baixa declividade ou efeitos de remanso) e esforço computacional (aqueles os quais são selecionadas muitas minibacias para serem representadas pelo modelo e as simulações podem durar longos intervalos de tempo).

Em Pontes, *et al.* (2015), é proposto um método de propagações de vazões de complexidade intermediária, o modelo inercial, que realiza uma aproximação das equações de Saint Venant ao desprezar o termo de inércia advectiva, a perda de energia por atrito é estimada pela equação empírica de Manning e o raio hidráulico é aproximado pela altura da profundidade (PONTES, *et al.*, 2015). Além disso, o modelo desenvolveu uma conexão lateral entre as unidades de discretização, sem ter a necessidade de estarem interligadas por algum trecho de rio, sendo considerado um modelo pseudo-bidimensional (LOPES, 2017).

Recentemente, Fleischmann, *et al.* (2017) incorporou, ao modelo de propagação inercial, infiltração de água das planícies de inundação, assim como a representação dos efeitos de remanso e armazenamento de água em áreas de várzea.

3.6.2 *Modelo MGB-SED*

O modelo MGB-SED, desenvolvido por Buarque (2015), é um módulo de sedimentos acoplado ao modelo hidrológico de grandes bacias, o MGB-IPH (COLLISCHONN, 2001;

COLLISCHONN, *et al.*, 2007), que foi aplicado na bacia do Rio Madeira com versão de propagação de vazões desenvolvida por Paiva (2009).

Segundo Buarque (2015), um dos grandes desafios encontrados na simulação hidrossedimentológica de grandes bacias é devido ao fato de haver um grande percurso entre a geração de sedimentos e sua chegada ao exutório, de forma que parte desses sedimentos são depositados ao longo do curso d'água. Assim, é necessário haver uma integração entre os processos de erosão e de transporte dos sedimentos (BUARQUE, 2015). A seguir, é apresentado resumidamente os processos matemáticos que envolvem o modelo MGB-SED, mais detalhes podem ser encontrados em Buarque (2015) e Buarque, *et al.* (2016).

3.6.2.1 Módulo bacia

Segundo Buarque (2015), é nessa etapa que ocorre a estimativa da geração e o aporte de sedimentos da camada superficial do solo das minibacias para a rede de drenagem. A erosão, medida por minibacia para cada URH, é estimada através da equação MUSLE (WILLIAMS & BERNDT, 1972), que utiliza o volume de escoamento superficial e a taxa de pico de escoamento, a partir do módulo hidrológico MGB-IPH. Ainda, é utilizado o conceito de reservatório linear simples, para simular o retardo dos sedimentos, gerados nas minibacias, para a rede de drenagem.

A equação MUSLE (WILLIAMS, 1975) é aplicada a cada pixel que compõe as URHs de uma minibacia, de acordo com Buarque (2015). Assim, são calculados parâmetros diretamente do MDE, que traz informações topográficas em formato raster, uma vez que sua representação espacial é dada na forma de uma matriz com l linhas e c colunas, onde as $l \times c$ posições são definidas como pixels (BUARQUE, 2015). A equação é dada por:

$$SED_{i,j}^k = 11,8 \cdot (Dsup_{i,j}^k \cdot qpico_{i,j}^k \cdot Apm_{i,j}^k)^{0,56} \cdot K_j \cdot C_j \cdot P_j \cdot LS_{i,j}^k \cdot FG_j \quad (7)$$

onde, SED [t] é a carga de sedimentos resultante da erosão do solo; $Dsup$ [mm/ha] é o volume de escoamento superficial; $qpico$ [m^3/s] é a taxa de pico do escoamento superficial; Apm [ha] é a área do pixel; K [$0,013 \cdot t \cdot m^2 \cdot h / (m^3 \cdot t \cdot cm)$] é o fator de erodibilidade do solo; C [-] é o fator de cobertura e manejo do solo; P [-] é o fator de práticas conservacionistas; LS [-] é o fator topográfico; FG [-] é o fator que considera a existência de fragmentos grosseiros ou rochas; i e

j [-] são índices que indicam a minibacia e a URH, respectivamente; k [-] é o pixel ao qual a equação está sendo aplicada.

A taxa de pico do escoamento superficial, em cada pixel, é dada considerando um volume de escoamento uniforme diário e o volume de escoamento é fornecida pelo módulo hidrológico MGB-IPH (BUARQUE, 2015), como é apresentado a seguir.

$$qpico_{i,j}^k = \frac{Dsup_{i,j}^k \cdot A_{i,j}^k}{86,4} \quad (8)$$

onde, $qpico$ [m³/s] é a taxa de pico do escoamento superficial; $Dsup$ [mm/ha] é o volume de escoamento superficial; A [ha] é a área de cada pixel para cada minibacia em uma URH.

Segundo Buarque (2015), o fator de erodibilidade do solo (K) é calculado a partir da Equação 9, originalmente implementada no modelo EPIC (WILLIAMS, 1995) e, também, utilizada no modelo SWAT (ARNOLD, *et al.*, 1998). Para utilizar essa equação, são necessárias informações sobre s porcentagens de silte, de argila, de areia e de matéria orgânica em cada tipo de solo da bacia, como é apresentado a seguir:

$$K_j = Fag_j \cdot Fcs_j \cdot Forg_j \cdot Fa_j \quad (9)$$

onde, K [-] é o fator de erodibilidade do solo; Fag [-] é o fator de areia grossa; Fcs [-] é o fator argila-silte; $Forg$ [-] é o fator carbono orgânico; Fa [-] é o fator areia; j [-] é o índice que indica a URH. As equações de Williams (1995) que calculam esses fatores são descritas por Buarque (2015) e apresentadas a seguir, através das Equações 10, 11, 12 e 13:

$$Fag_j = 0,2 + 0,3 \cdot \exp \left[-0,256 \cdot SAN_j \cdot \left(1 - \frac{SIL_j}{100} \right) \right] \quad (10)$$

$$Fcs_j = \left(\frac{SIL_j}{ARG_j + SIL_j} \right)^{0,3} \quad (11)$$

$$For_{gj} = 1 - \frac{0,25 \cdot orgC_j}{orgC_j + exp(3,72 - 2,95 \cdot orgC_j)} \quad (12)$$

$$Fa_j = 1 - \frac{0,7 \cdot \left(1 - \frac{SAN_j}{100}\right)}{\left(1 - \frac{SAN_j}{100}\right) + exp\left[-5,51 + 22,9 \cdot \left(1 - \frac{SAN_j}{100}\right)\right]} \quad (13)$$

onde, $SAN [\%]$ é a porcentagem de areia presente na camada superior do solo; $SIL [\%]$ é a porcentagem de silte presente na camada superior do solo; $ARG [\%]$ é a porcentagem de argila presente na camada superior do solo; $orgC [\%]$ é a porcentagem de carbono orgânico presente na camada superior do solo; $j [-]$ é o índice que indica a URH.

O fator de cobertura e manejo do solo (C) é utilizado na equação MUSLE para expressar o ciclo de manejo de determinado uso do solo, como o preparo do solo, a cobertura vegetal e a sequencia de plantios a serem feitos, apresentando uma relação entre as perdas de solo que ocorrem em determinadas condições e as perdas de solo que ocorrem quando o mesmo solo permanece continuamente sem cobertura vegetal (CARVALHO, 2008). De acordo com Carvalho (2008), o fator C não possui um valor único, ele pode variar de 1,0 (áreas sem nenhuma vegetação) até 0,0001 (áreas de florestas virgens). O ciclo de determinada planta e a geração de resíduos causada por ela determinam a proteção que determinada cultura apresentará no solo, assim, o valor deve ser estimado a partir do uso e cobertura vegetal do solo da região (BUARQUE, 2015). No modelo, o valor C deve ser estimado de acordo com as classes de URHs.

O fator de práticas conservacionistas (P) determina como o plantio foi realizado, mostrando uma relação entre plantios com práticas conservacionistas e plantios em encostas íngremes. Plantio morro abaixo apresenta o valor de P igual a 1,0, plantio em contorno é 0,5, alternância de capinas em conjunto com plantio de contorno é igual a 0,4, cordões de vegetação permanente apresenta o valor 0,2 e terraço apresenta o valor 0,1 (CARVALHO, 2008). Para áreas onde não há práticas conservacionistas, pode-se utilizar o parâmetro P igual a 1,0 (BESKOW, *et al.*, 2009).

O fator topográfico (LS) é a combinação do fator comprimento de rampa (L) com a declividade do terreno (S) (BUARQUE, 2015). Segundo Minella, *et al.* (2010), quando se utiliza o fator LS , na equação MUSLE, ele se torna uma unidade hidrológica representativa da Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

bacia, apresentando uma dimensão de área, isto é, onde ocorre o escoamento superficial da água. Essa característica torna mais difícil de calcular o fator L , quanto mais complexo for o relevo de uma bacia. Assim, determinar o parâmetro LS apresenta limitações em áreas de relevo complexo ou em grandes extensões (MINELLA, et al., 2010). Para o modelo MGB-SED, como apresentado em Buarque (2015), foram acopladas equações para determinar automaticamente o fator LS , em cada pixel do MDE. Segundo Buarque (2015), as informações obtidas na etapa de discretização das minibacias são utilizadas para o cálculo do fator LS , como o Modelo Digital de Elevação, o Plano de Direções de Escoamento, o Plano das Minibacias e o Plano de URHs.

O fator de fragmentação grosseira esparsa (FG) é utilizado para considerar se há possibilidade da existência de rochas na camada superior do solo, que afetariam a erosão. Segundo Buarque (2015), é calculado pela Equação 14:

$$FG = \exp(-0,053 \cdot frocha) \quad (14)$$

onde, $frocha [\%]$ é a porcentagem de rocha a camada superior do solo.

Os sedimentos que chegam à rede de drenagem não acompanham o intervalo de tempo de geração do sedimento, isto é, em cada passo de tempo é gerada uma quantidade estimada de sedimentos, contudo eles sofrem um retardamento do escoamento superficial até chegarem à rede de drenagem (BUARQUE, 2015). Dessa forma, para considerar esse retardamento, o modelo utiliza um reservatório linear, semelhante ao modelo hidrológico, como pode ser observado na Figura 4.

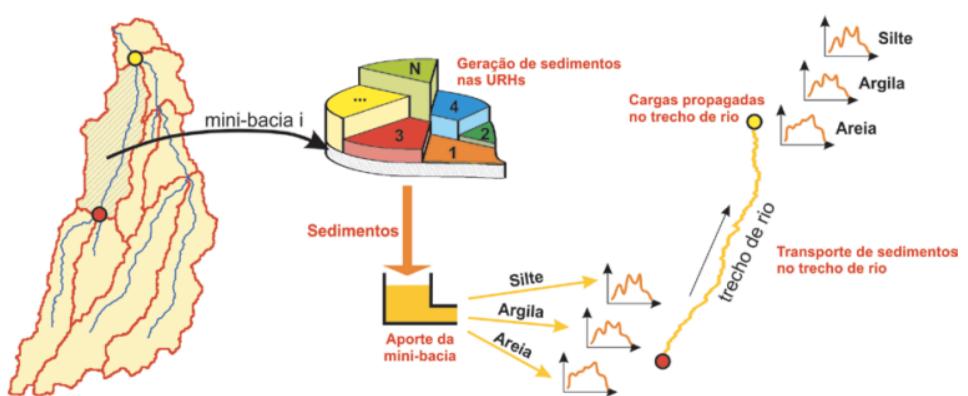


Figura 4. Aporte de sedimentos gerados na bacia até a rede de drenagem (Fonte: BUARQUE, 2015).

Assim, o volume total de sedimentos gerados ($VSED$) em cada URH de cada minibacia e armazenado no reservatório é calculado a partir da Equação 15, enquanto a descarga sólida total (QS) de saída do reservatório linear é função da carga armazenada e do tempo de retardo do reservatório superficial (BUARQUE, 2015), expressa pela Equação 16, e representa a quantidade de sedimentos que está sendo liberada para a rede de drenagem.

$$VSED_{i,j}^t = VSED_{i,j}^{t-1} + \sum_{k=1}^{NPj} SED_{i,j}^k \quad (15)$$

onde, $VSED$ [t] é o volume de sedimentos no reservatório linear; NP [-] é o número de pixels da URH; i e j [-] são índices que indicam a minibacia e a URH, respectivamente; t e $t-1$ [s] indicam os passos de tempo atual e anterior.

$$QS_{i,j}^t = \frac{1}{TKS_i} \cdot VSED_{i,j}^t \quad (16)$$

onde, QS [t/s] é a descarga sólida total de saída do reservatório linear; $VSED$ [t] é o volume de sedimentos no reservatório linear; TKS [s] é o tempo de retardo do reservatório superficial; i e j [-] são índices que indicam a minibacia e a URH, respectivamente.

3.6.2.2 Módulo rio

O transporte de sedimentos, no rio, do modelo MGB-SED ocorre através da propagação da carga de sedimentos por trecho de rio em cada minibacia. Nas minibacias de cabeceira, não há propagação de sedimentos no trecho de rio, uma vez que a carga do reservatório linear é direcionada diretamente para o exutório da minibacia, enquanto as minibacias de jusante, a propagação de sedimentos é dada a partir do somatório da carga de sedimentos gerada na minibacia com a carga de montante do rio. O modelo apresenta duas formas de transporte: para o material fino (silte e argila), o material é transportado em suspensão, de forma contínua ou intermitente, pelo escoamento, sem que haja deposição ou erosão dessas partículas no leito do

rio; para o material grosso (areia), o material é transportado como carga de fundo, isto é, através da interação entre as partículas de fundo do leito e o escoamento (BUARQUE, 2015).

O transporte em suspensão, de acordo com Buarque (2015), ocorre para as partículas finas e a equação que simula esses processos em cada trecho de rio é representada pela Equação 17, que é resolvida numericamente para cada classe de partícula em suspensão (argila e silte) em cada trecho, de montante para jusante, seguindo progressivamente no tempo e no espaço. Em todas as seções e intervalos de tempos, as vazões Q são conhecidas, e são provenientes do módulo hidráulico; as áreas molhadas (A) são calculadas para um canal retangular, estimando o h através de Manning ou estimado pelo modelo de propagação de vazões hidrodinâmico; a concentração C é conhecida no tempo inicial em todas as seções e no tempo final apenas na seção de montante. Dessa forma, a concentração C_i^t , ou seja, a concentração na seção de jusante no tempo final é o único termo desconhecido da equação. Assim, isolando-se a concentração C , como na Equação 19, é possível se obter a resolução da equação.

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial AUC}{\partial x} = q_{sm} - q_{sfl} \quad (17)$$

onde, A [m^2] é a área molhada da seção; C [t/m^3] é a concentração média de sedimento; U [m/s] é a velocidade média do escoamento na seção; x [m] é a distância na direção do escoamento; t [s] é o tempo; q_{sm} [$\text{t}/(\text{m.s})$] é a contribuição lateral dos sedimentos da minibacia; q_{sfl} [$\text{t}/(\text{m.s})$] é a descarga de troca de sedimentos entre o rio e a planície de inundação por unidade de comprimento, considerada diferente de zero apenas nos trechos com propagação de vazões pelo modelo hidrodinâmico (PAIVA, 2009), isto é, quando a propagação é dada pelo modelo original de Muskingum-Cunge (COLLISCHONN, 2001) esse parâmetro é igual a zero.

$$C_i^t = \frac{\theta \cdot Q_{i-1}^t \cdot C_{i-1}^t - (1 - \theta) \cdot (Q_i^{t-1} \cdot C_i^{t-1} - Q_{i-1}^{t-1} \cdot C_{i-1}^{t-1})}{\frac{Vol^t}{\Delta t} + \theta \cdot Q_i^t} + \frac{\frac{Vol^{t-1}}{\Delta t} \cdot C_i^{t-1} + QS_m^t - QS_{fl}^t}{\frac{Vol^t}{\Delta t} + \theta \cdot Q_i^t} \quad (19)$$

onde, C_i^t [t/m^3] é a concentração média de sedimento do rio a jusante no final do intervalo de tempo; Vol [m^3] é o volume médio de água no trecho e é calculado por $Vol = A \cdot \Delta x$; QS_m [t/s] é a descarga sólida (silte ou argila) proveniente da minibacia associada ao trecho de rio, pode se

calcular a partir de $QS_m = q_{sm} \cdot \Delta x$; QS_{fl} [t/s] é a descarga sólida entre o rio e a planície de inundação, sendo calculada por $QS_{fl} = q_{sfl} \cdot \Delta x$.

3.6.2.3 Módulo planície

O modelo permite a troca de sedimentos entre os rios e as planícies de inundação, nos trechos onde o método de propagação adotado é o hidrodinâmico (PAIVA, 2009), assumindo uma mistura completa de sedimentos nas planícies. Além disso, nas planícies só é permitida a deposição de sedimentos finos, funcionando como área de armazenamento desses sedimentos.

3.7 Considerações Finais: A Escolha do Modelo MGB-SED aplicado para a bacia da Laguna dos Patos

Para o desenvolvimento do presente trabalho, optou-se por utilizar o modelo MGB-SED, uma vez que ele apresenta grande potencial para aplicações na América Latina, principalmente no Brasil. Com o modelo hidrológico MGB-IPH, em conjunto com o módulo de sedimentos estudado, pode-se analisar futuramente os efeitos de remanso e as trocas de água e de sedimentos entre as planícies de inundação, apresentando modelagens muito mais coerentes e possíveis de serem utilizadas em estudos sobre previsões de sedimentos.

A bacia escolhida para aplicação do modelo é a bacia da Laguna dos Patos, pois há poucos estudos sobre modelagem hidrossedimentológica de grandes bacias no Brasil. A maioria dos estudos são para pequenas bacias ou para sub-bacias dentro de uma bacia maior. Além disso, a bacia escolhida já possui a etapa prévia de calibração e modelagem hidrológica, como pode ser visto no trabalho de Lopes (2017), possibilitando o avanço para estudos de modelagem de sedimentos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 5 apresenta um fluxograma com as etapas da metodologia desenvolvida no presente trabalho. Na primeira etapa é detalhado o modelo hidrossedimentológico escolhido (MGB-SED) e, após, a bacia hidrográfica utilizada no estudo (Bacia da Laguna dos Patos), com os aspectos mais importantes da caracterização da bacia. Na terceira etapa, é determinado como foi obtido o banco de dados. A seguir, é detalhado como foi realizada a calibração e validação dos resultados. Por fim, é apresentado as métricas de desempenho utilizadas para avaliar a calibração. Os resultados obtidos são apresentados a seguir, na seguinte ordem: calibração por estação, calibração geral, validação geral, análise integrada para todos os anos de simulação e análise hidrossedimentológica.

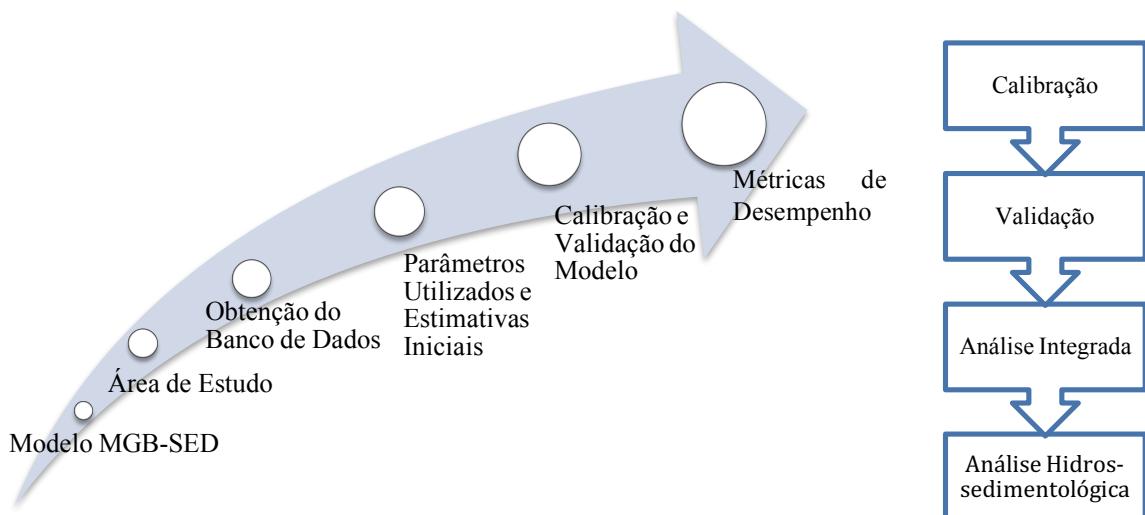


Figura 5. Fluxograma da metodologia desenvolvida.

4.1 O modelo hidrossedimentológico MGB-SED

Para o desenvolvimento do presente trabalho, é utilizado o modelo hidrossedimentológico de grandes bacias MGB-SED, desenvolvido por Buarque (2015). A metodologia de propagação de vazão e de sedimentos utilizada é a Muskingum-Cunge, escolhida por ser mais simplificada e otimizar o tempo de cálculo do modelo. O modelo permite, contudo, análises futuras dos aspectos hidrodinâmicos dos sedimentos, ao modificar o método de propagação. A equação principal do modelo é a MUSLE e os parâmetros calibrados, no presente trabalho, pertencem a esta equação.

4.2 Área de estudo: a bacia da Laguna dos Patos

Lagunas costeiras são definidas como corpos de água no interior do continente que, geralmente, são paralelos à costa e separados do oceano por uma barreira, além disso, são conectados ao oceano por um ou dois canais restritos. A formação das lagunas é referente ao período do Holoceno ou Pleistoceno, devido ao aumento do nível do mar e, consequentemente, a construção de barreiras costeiras por processos marinhos (KJERFVE, 1994).

A Laguna dos Patos, considerada a maior laguna estrangulada do mundo por Kjerfve (1986), ou seja, sua saída é controlada por um canal, localiza-se na região litorânea do Estado do Rio Grande do Sul, no Brasil. Como pode ser observado na Figura 6, a bacia hidrográfica da Laguna dos Patos está inserida, a maior parte, no Rio Grande do Sul e no sudeste do Uruguai.

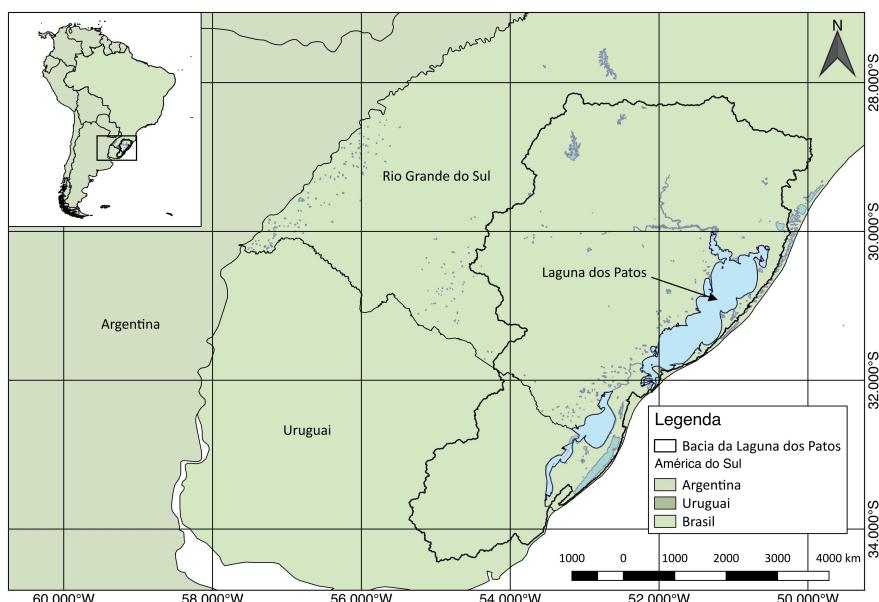


Figura 6. Localização da Bacia da Laguna dos Patos.

Por se tratar de uma bacia hidrográfica que possui uma área de drenagem muito grande e, ainda, localiza-se em dois países distintos, há uma carência de estudos hidrológicos e hidrodinâmicos que analisem de forma espacial as características da bacia hidrográfica em toda sua extensão. No entanto, por causa de sua importância econômica, ambiental e social no contexto da América Latina, destaca-se atualmente a análise integrada da bacia da Laguna dos Patos, como é apresentado em Lopes (2017).

Segundo Lopes (2017), a Laguna dos Patos possui um curso navegável de 258 km e, com isso, possui um papel estratégico no comércio do Rio Grande do Sul, uma vez que está inserida em zonas industriais e agrícolas. Essa hidrovia é essencial na economia da região sul da América Latina, uma vez que é responsável pela conexão entre o município de Porto Alegre e região metropolitana ao Porto de Rio Grande, o quarto maior porto do Brasil, que escoa aproximadamente 6,80% dos produtos de exportação do Brasil (AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS, 2017). Além disso, o estuário da Laguna dos Patos contribui para a dinâmica comercial da área, já que é nesse local onde ocorre a desova dos camarões, que é a principal espécie de pesca da região (BARENHO, 2005). Essa bacia está inserida nos biomas Mata Atlântica e Pampa, sendo esses biomas responsáveis por mais de 70% do PIB nacional e, ainda, possuem as maiores extensões de solos férteis do Brasil (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002).

Além de sua importância econômica, destaca-se o papel ambiental dessa bacia hidrográfica. Em toda sua extensão, há diversas unidades de conservação ambiental, como o Parque Estadual Delta do Jacuí, Reserva Biológica da Serra Geral, Estação Ecológica do Taim e Parque Nacional da Lagoa do Peixe, esses últimos considerados reservas da biosfera pela UNESCO (LOPES, 2017). Em conjunto com a grande biodiversidade da região, ainda há diversas espécies endêmicas ou ameaçadas de extinção, como a floresta de araucária, que ocorre praticamente apenas no sul do país e que, atualmente, sua distribuição é de menos de 5% da superfície original. Além disso, a bacia possui diversas áreas de ações de conservação prioritárias para invertebrados, répteis, anfíbios, aves e mamíferos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002). Segundo Prates, *et al.* (2012), localiza-se no Rio Grande do Sul 97% das áreas de lagunas do Brasil, no entanto, o seu percentual de conservação é de apenas 2,40%, ou seja, 35.238 hectares.

A bacia da Laguna dos Patos também possui importância no contexto social, uma vez que sofre forte pressão antrópica sobre seus ecossistemas, incidência de fogo, introdução de espécies exóticas, atividades agropecuárias (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2002), aumento da frequência e intensidade de eventos extremos registrados principalmente em municípios costeiros e regiões de entorno da Laguna dos Patos (SILVA, *et al.*, 2015) e, principalmente, cheias e inundações (G1, 2017a). Por causa do uso inadequado do solo, que o deixa mais exposto, há o agravamento dos processos erosivos durante as precipitações, aumentando a produção de sedimentos nas bacias hidrográficas. No “Diagnóstico Preliminar - Rolante”, realizado pela SEMA & GPDEN (2017), pode-se notar o enorme impacto causado

pelas chuvas e inundações, somados à produção e ao transporte de sedimentos nas bacias hidrográficas.

Em relação à caracterização da dinâmica de sedimentos da bacia da Laguna dos Patos, pode-se encontrar alguns estudos importantes sobre a sedimentação da laguna (TOLDO, *et al.*, 2006), descarga sólida em suspensão no sistema fluvial do Guaíba (ANDRADE NETO, *et al.*, 2012), fluxo e transporte de sedimentos no Rio Jacuí (HARTMANN, *et al.*, 2010), caracterização e qualidade dos sedimentos (MEDEANIC, *et al.*, 2007; OLIVEIRA, 2015; WINCK, *et al.*, 2014). No entanto, a região hidrográfica carece de estudos sobre a dinâmica e produção de sedimentos de forma sistemática, bem como não foram encontrados estudos sobre modelagem hidrossedimentológica da bacia.

4.2.1 Caracterização hidrológica

A Laguna dos Patos, segundo Toldo, *et al.* (2006), possui um comprimento de aproximadamente 240 km, uma largura média de 40 km e uma profundidade média de 6 m, sendo que sua superfície ocupa quase um terço de toda a planície costeira do Estado do Rio Grande do Sul. Além disso, sua bacia de drenagem possui cerca de 180.000 km² (LOPES, *et al.*, 2015), recebendo água diretamente de seus afluentes ou da Lagoa Mirim, através do Canal de São Gonçalo (ASMUS, 1998).

A importância hidrológica da bacia decorre do fato de representar uma zona de convergência das redes de drenagem da Bacia de Sudeste do Estado do Rio Grande do Sul e das redes de drenagem da região nordeste do Uruguai (TOLDO, *et al.*, 2006). Esses dois grandes complexos se originam de diversas sub-bacias. O Complexo Patos é formado pelos rios Taquari, Jacuí, Caí, Sinos, Gravataí, Lago Guaíba, Vacacaí e Camaquã sendo sua área de drenagem de aproximadamente 150.432 km². O Complexo Mirim é formado pela Lagoa Mirim, rios Jaguarão, Piratini, Tacuari, Cebollati e pelo canal de São Gonzalo, sua área de drenagem é de aproximadamente 51.194 km² (VAZ, *et al.*, 2006). A Figura 7 apresenta um mapa com os principais afluentes (LOPES, 2017) e as sub-bacias que compõem o sistema hidrológico da Bacia da Laguna dos Patos.

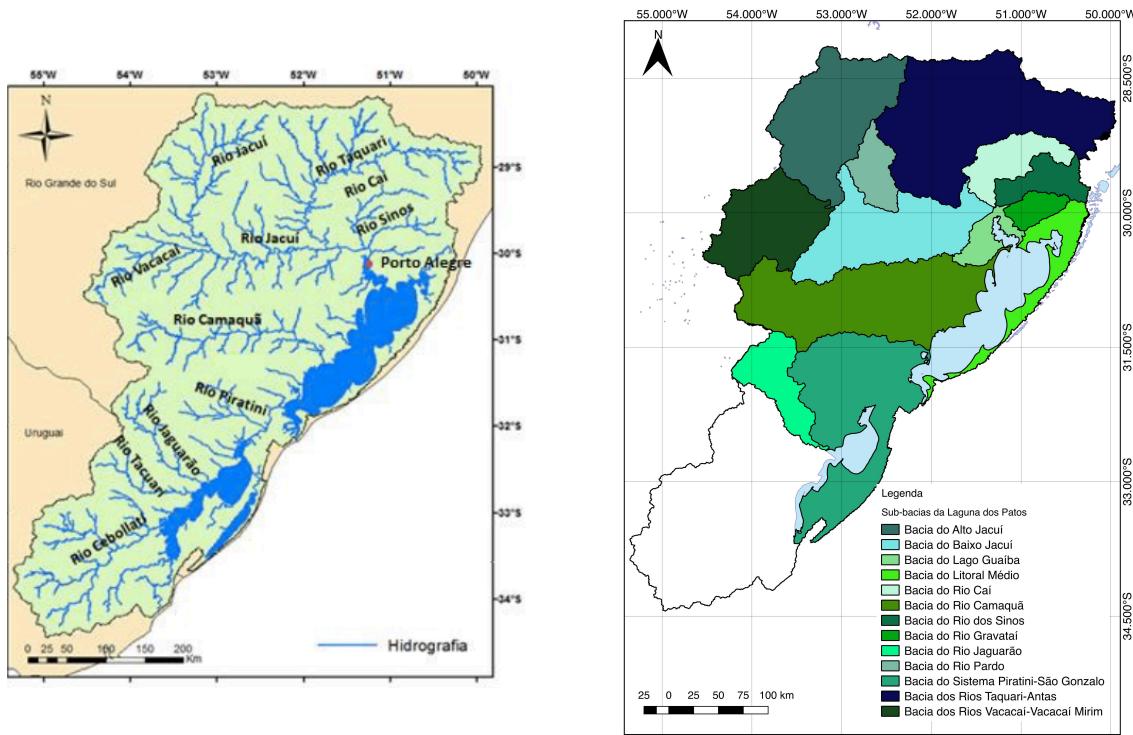


Figura 7. Caracterização hidrográfica da Bacia da Laguna dos Patos.

A bacia do Rio Taquari-Antas possui uma área de drenagem de aproximadamente 26,5 mil km², o que equivale a 9% do Estado do Rio Grande do Sul. Sua nascente se encontra no município de São Valentim do Sul, no extremo leste do Planalto dos Campos Gerais, e recebe a denominação de Rio das Antas. Mais a jusante, é denominado Rio Taquari e, próximo à cidade de Triunfo, deságua no Rio Jacuí. Sua caracterização hidrológica é marcada por regimes torrenciais, escoamentos superficiais rápidos e bruscos, variações de descargas, declividade média elevada, pouca cobertura vegetal e baixa permeabilidade dos solos (FEPAM, 2017b). Segundo Vaz, *et al.* (2006), os maiores fluxos de água ocorrem entre maio a outubro, chegando a 706 m³/s em agosto. A bacia do Rio Jacuí possui aproximadamente 81 mil km², sendo a sua cabeceira caracterizada por possuir maiores declividades, enquanto o trecho mais a jusante possui uma importante planície de inundação (LOPES, 2017). Os maiores valores de descarga ocorrem principalmente de junho a outubro, podendo chegar a máximas de aproximadamente 1.263 m³/s (julho) e mínimas de 377 m³/s em janeiro (VAZ, *et al.*, 2006). Com aproximadamente 5.000 km², a bacia do Rio Caí possui um trecho alto, com cotas elevadas, grandes declividades (entre 0,15 e 3,5% (FEPAM, 2017a)) e barragens, no trecho médio há uma forte pressão ambiental, por causa da urbanização e industrialização, além disso, o

escoamento é lento e há trechos com corredeiras (FEPAM, 2017a), enquanto seu trecho baixo sofre pela ocorrência de inundações e forte influência do Rio Jacuí (PROFILL, 2007). O curso inferior do Rio Caí é caracterizado por ser uma região plana e de várzea, assim, apesar de possuir uma maior vazão nesse trecho, sua velocidade é inferior, além disso, em épocas de estiagem pode haver refluxo (FEPAM, 2017a). Os usos da água são diversificados na bacia, no curso superior se encontra o sistema Salto de geração de energia elétrica, com duas pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) em funcionamento e duas desativadas, além das 3 barragens de acumulação, que possuem a função de transportar água para o Rio dos Sinos. No curso médio, há um forte lançamento de carga orgânica em esgotos pluviais e nos rios próximos, sem tratamento, uma vez que se encontram localizadas cidades populosas, como Caxias do Sul e Farroupilha. No trecho inferior, as cidades se encontram mais próximas do rio principal, aumentando a pressão antrópica no trecho e a carga de esgotos domésticos, além de usos como irrigação, navegação e abastecimento público (FEPAM, 2017a).

O Rio do Pardo, que deságua no Rio Jacuí, possui uma bacia com características naturais que propiciam vazões elevadas imediatamente após, e durante, as precipitações, sem que o solo tenha tempo suficiente para adequada infiltração e retenção (ECOPLAN, 2005). Segundo Lopes (2017), o Rio dos Sinos possui uma área de drenagem de aproximadamente 3.700 km². A nascente do rio fica localizada na cidade de Caraá e sua foz é localizada no Delta do Jacuí, sendo os principais usos da água atribuídos ao abastecimento público, uso industrial e irrigação (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2017a). A bacia do Rio Gravataí, uma das mais afetadas pela aglomeração urbana e pressão antrópica, possui uma área de drenagem de quase 2.000 km² (SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE, 2017b), abrange municípios importantes como Porto Alegre e Região Metropolitana, além de abrigar áreas de proteção ambiental, como o Banhado dos Pachecos – que sofre problemas de erosão – e o Parque Estadual de Itapuã. O Lago Guaíba possui cerca de 50 km de comprimento e 470 km² de superfície, sua profundidade média é de 2 m, chegando a 31 m em alguns trechos (MENEGAT, 1999). Segundo Herz (1977) *apud* Torres (2000), os rios Taquari e Jacuí contribuem com 85% do volume de água do Guaíba, assim Vaz, *et al.* (2006), estimaram que o sistema Jacuí-Taquari contribui com um volume de água de 1.253 m³/s, enquanto os demais rios desse complexo (Sinos, Gravataí e Caí) são responsáveis por aproximadamente 230 m³/s. Esse volume total de água que chega à Laguna através do Lago Guaíba representa aproximadamente 58% do volume de água na Laguna dos Patos (HERZ, 1977 *apud* TORRES, 2000).

Além do complexo do Lago Guaíba, a Laguna dos Patos recebe aporte de água diretamente do Rio Camaquã. Segundo Herz (1977) *apud* Torres (2000), este representa 13,2% do volume de água da Laguna dos Patos. Além disso, ele se encontra numa região de terreno mais suave, apresentando uma amplitude de vazões entre 5.300 m³/s e 6 m³/s. A sua vazão média é aproximadamente 307 m³/s (VAZ, *et al.*, 2006).

O restante do volume que deságua na Laguna dos Patos (28,8%) é devido à contribuição da Lagoa Mirim, através do canal de São Gonzalo (HERZ, 1977 *apud* TORRES, 2000). O valor médio anual da vazão do canal é de 700 m³/s (BORDAS, *et al.*, 1984 *apud* VAZ, *et al.*, 2006). Os principais rios que contribuem para o aporte de água na Lagoa Mirim são: Rio Jaguarão, Rio Piratini, Rio Cebollati e Rio Tacuari. Essa Lagoa se localiza numa região de alta complexidade, em conjunto com suas áreas úmidas, forma um dos maiores complexos hidrológicos da América do Sul, apresentando importância política e econômica, ligada à indústria, à agricultura e à pecuária. A média de descarga do Rio Cebollati é de aproximadamente 1.377 m³/s, enquanto a do Rio Tacuari é de aproximadamente 587 m³/s (OLIVEIRA, *et al.*, 2015). Como a vazão de descarga na Lagoa Mirim é superior à vazão estimada no Canal de São Gonzalo, Oliveira, *et al.* (2015) indicam que a lagoa atua como um grande reservatório de água doce. Dessa forma, é estimado que o aporte de descarga médio anual na Laguna dos Patos, segundo Vaz, *et al.* (2006), é de aproximadamente 2.400 m³/s.

Uma das características hidrodinâmicas mais marcantes da Laguna dos Patos é que sua circulação e dispersão são controlados pelo vento (KJERFVE, 1986). Há diversos estudos sobre o assunto, como em Moller, *et al.* (1996) – que, também, enfatiza a importância da descarga dos afluentes para a circulação da laguna, Vaz, *et al.* (2006) e Lopes (2017).

A região, de forma geral, apresenta um clima Mesotérmico do tipo Temperado. Sua precipitação média anual é espacialmente uniforme, variando de 1.200 mm até 2.000 mm de chuva. Há uma diferença acentuada entre as temperaturas do inverno e verão, sendo a média nos meses mais frios entre 13°C e 15°C, enquanto as máximas podem chegar a 40°C ou mais nos meses de verão (IBGE, 1977). Além disso, há diversos estudos, como o de Grimm, *et al.* (1998), que analisam a forte relação entre precipitações anômalas associadas com eventos de longo período, como El Niño e La Niña.

4.2.2 Caracterização geológica, geomorfológica e pedológica

Segundo Villwock & Tomazelli (2007), a origem da planície costeira, na qual se encontra a bacia da Laguna dos Patos, tem início no período Jurássico. Os acontecimentos tectônicos, que se estenderam até o período Terciário, caracterizam-se por serem mais brandos e de menor intensidade regional. Dessa forma, a região é marcada pelo aplainamento do seu embasamento rochoso, o aperfeiçoamento da depressão periférica e, ainda, o desenvolvimento da planície costeira, que possui complexos de barreiras arenosas, campos de dunas e lagunas.

O sistema de barreiras arenosas protege a laguna da atividade marinha do Oceano Atlântico. A maior influência do oceano ocorre na porção sul, onde as águas invadem a laguna pelo canal que realiza a ligação entre ambos, caracterizando como micro marés a atividade oceânica (TOLDO, *et al.*, 2006). A região da laguna é caracterizada por sistemas deposicionais do tipo Laguna-Barreira, onde cada sistema marca uma transgressão, seguida de um evento regressivo (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007).

A geologia local é caracterizada por diversos Grupos e Formações. Entre eles, os que mais se destacam são: Grupo Rosário do Sul, Grupo Passa Dois e Formação Serra Geral (Figura 8). O Grupo Rosário do Sul é composto pela Formação Caturrita, Formação Santa Maria e Formação Sanga do Cabral. Esse Grupo é majoritariamente arenito, arenito conglomerático, caracterizado por siltito arenoso-argiloso, folhelho, siltito argiloso maciço, siltito e raro argilito. O Grupo Passa Dois é caracterizado por arenitos médio a finos, argilito e siltito não betuminosos, folhelho e calcário, em muitas regiões o ambiente é lacustre, deltaico e marinho. A Formação Serra geral tem sua origem a partir de derrames basálticos, onde se intercalam o arenito Botucatu na base e os sedimentos vulcanogênicos da porção mediana ao topo (CPRM, 2008).

A área da bacia possui duas regiões geomorfológicas principais: Terras Altas e Terras Baixas. O primeiro abrange o Escudo Sul-Rio-Grandense, a Depressão Central Gaúcha e o Planalto das Araucárias. O segundo é constituído pela Planície Costeira e Plataforma Continental. Os sedimentos, produzidos nas sub-bacias da região Terras Altas, sofrem ação de processos costeiros, ventos, ondas correntes e variações das marés até chegarem à segunda região geomorfológica, onde se acumulam em ambientes deposicionais (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007).

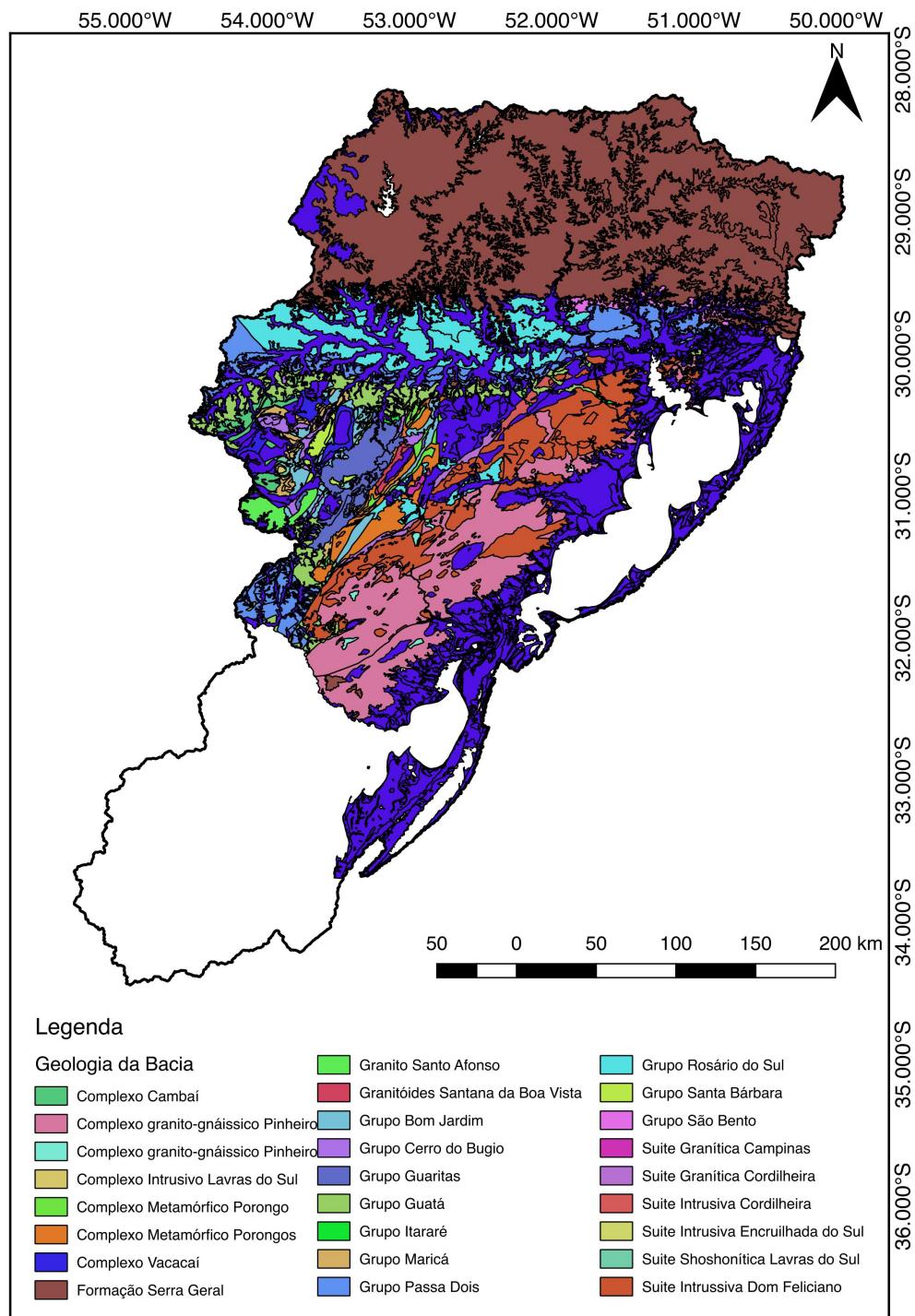


Figura 8. Geologia da bacia da Laguna dos Patos (Adaptado de: CPRM, 2008).

De acordo com o mapa desenvolvido pela FAO (2007), existem oito tipos de solo principais na bacia da Laguna dos Patos, caracterizados a seguir segundo Lepsch (2010):

- *Argissolos: solos normalmente muito intemperizados, com horizonte A marcante e escuro. São caracterizados por possuírem uma marcante diferença*

entre os horizontes, com acúmulo de argila em profundidade. Podem ser arenosos ou argilosos em superfície. Além disso, possuem maior suscetibilidade à erosão quando o horizonte A é arenoso, com aumento abrupto de argila em profundidade;

- *Chernossolos: solos típicos da região da campanha gaúcha, apresentam um horizonte superficial espesso, escuro e rico em bases e argilas de alta atividade. São solos de textura argilosa;*
- *Gleissolos: possui uma cor característica acinzentada, uma vez que é comum em zonas saturadas por períodos suficientes para reduzir o ferro. A maioria dos gleissolos se situam em várzeas e, em alguns locais, atuam como depósitos argilosos;*
- *Latossolos: solos muito intemperizados, alta porosidade e textura relativamente uniforme em todo perfil, variando de média a muito argilosa. Possui boas propriedades internas, pela alta friabilidade e permeabilidade, além de serem pouco suscetíveis à erosão hídrica;*
- *Luvissolos: solos poucos ou medianamente intemperizados, com um horizonte A moderado e um b textural, e se situam em regiões com leve deficiência hídrica;*
- *Neossolos: têm um perfil típico com um horizonte A assentado diretamente sobre uma rocha ou sobre um horizonte C, sendo caracterizados por terem pouca ou nenhuma evidência de horizontes subsuperficiais. Podem ser muito arenosos, apresentar suscetibilidade à erosão e estarem sujeitos a inundações;*
- *Nitossolos: possuem uma profundidade mediana, muito intemperizados e fraca diferenciação entre horizontes. A textura desses tipos de solo varia entre argilosa e muito argilosa, sem aumento significativo de argila no perfil;*
- *Planossolos: seu horizonte superficial é caracterizado por possuir uma textura mais arenosa, aumentando abruptamente para uma textura bem argilosa e pouco permeável no horizonte subsuperficial. Localizam-se principalmente nas baixadas do Rio Grande do Sul.*

A Figura 9 apresenta o mapa dos tipos de solo encontrados na bacia da Laguna dos Patos.

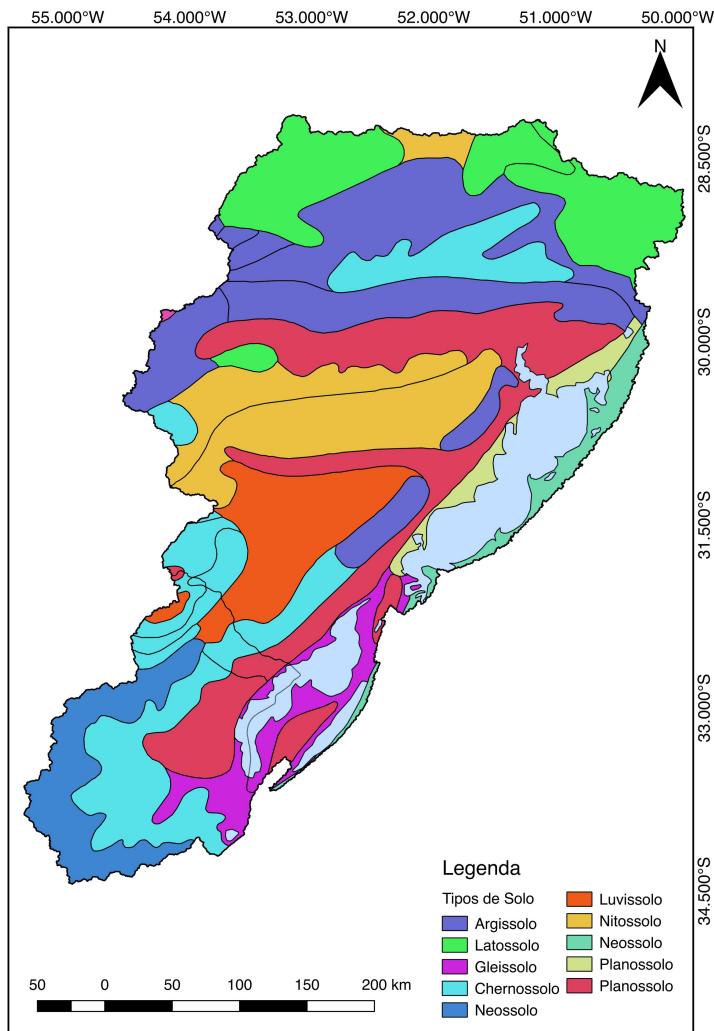


Figura 9. Tipos de solo da bacia da Laguna dos Patos (Adaptado de: FAO, 2007).

A textura é referente às frações de areia, de silte e de argila presentes no solo (LEPSCH, 2010). A Figura 10 representa as texturas encontradas no Rio Grande do Sul, para a região da bacia hidrográfica. Na região norte, localizada principalmente na sub-bacia dos Rios Taquari-Antas e na sub-bacia do Alto Jacuí, os solos são predominantemente argilosos a muito argilosos. Na região mais central da bacia, na área da sub-bacia do Rio Camaquã, a textura do solo vai alterando de argilosa para uma textura média. Na região sudoeste, os solos são mais argilosos, chegando a muito argilosos em alguns pontos.

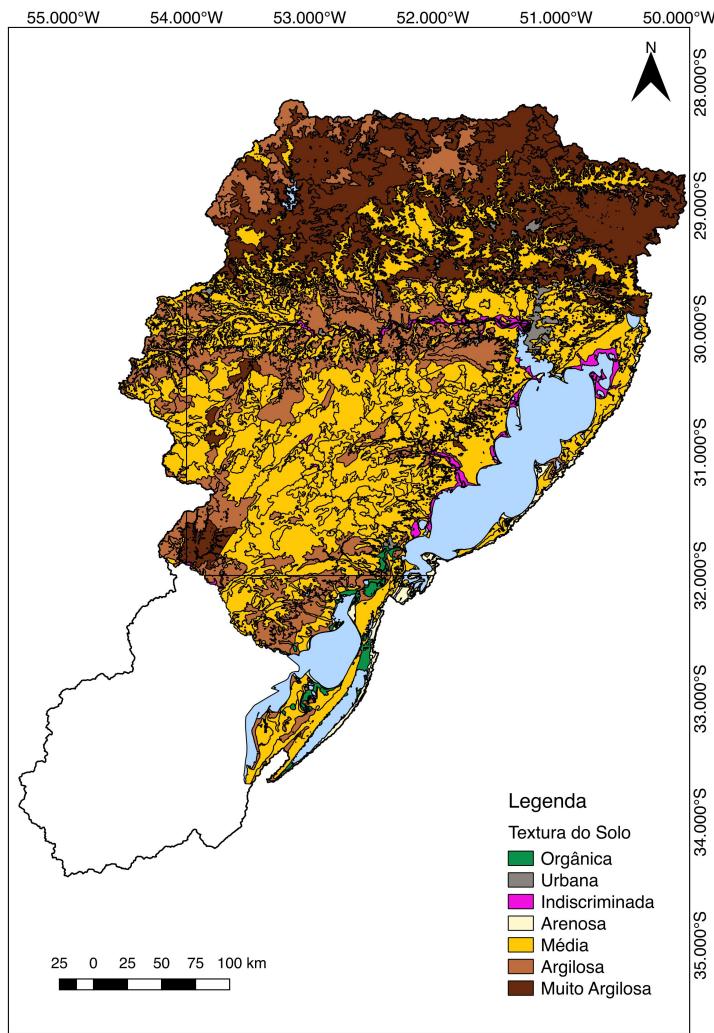


Figura 10. Textura de solo na bacia da Laguna dos Patos (Adaptado de: IBGE, 2000).

4.2.3 Caracterização hidrossedimentológica

O ciclo de erosão, transporte e deposição dos sedimentos na dinâmica costeira da Laguna dos Patos é caracterizado pela atuação do vento, que gera as ondas, e pelas correntes litorâneas sobre o material sedimentar, em conjunto com as marés e ressacas produzidas pelas tempestades (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007). A laguna apresenta uma região morfológica nas suas margens, caracterizada por sedimentos arenosos, que representa aproximadamente 40% da área da laguna, enquanto o fundo é plano e lamoso (TOLDO, *et al.*, 2006). Além disso, segundo Toldo, *et al.* (2006), o piso lagunar possui aproximadamente 4% de areia, o restante é constituído por silte e silte argiloso na região norte, já na metade sul é caracterizado por

constituir argila siltosa. A Tabela 1 apresenta as porcentagens da composição granulométrica encontrada no estuário da Laguna dos Patos.

Tabela 1. Composição granulométrica dos sedimentos encontrados no Estuário da Laguna dos Patos
(Adaptado de: CALLIARI & TAGLIANI, 1997 apud TORRES, 2000).

Profundidade (m)	Cascalho (%)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0 – 1	2,01	87,78	3,31	6,83
1 – 3	3,89	79,97	6,70	9,27
3 – 5	3,74	66,85	12,37	16,68
5 – 10	1,89	54,43	21,03	22,53
> 10	0,42	53,32	27,36	18,79

A bacia do Rio Jacuí possui uma área de drenagem caracterizada predominantemente pelo uso intensivo do solo, destinado à agricultura e à pecuária. Além disso, seu trecho superior predomina o aproveitamento energético e reservatórios de água, onde estão instaladas uma série de usinas hidrelétricas (FEPAM, 2017c). Esses reservatórios são os maiores responsáveis pelas alterações dos regimes de vazão e descarga sólida de sedimentos. Além disso, o Rio Jacuí é o principal fornecedor de areia para a região metropolitana de Porto Alegre, só no ano de 2011 foi responsável pela produção de 7,1 milhões de toneladas, o que representa metade da produção mineral de areia do Estado do Rio Grande do Sul (SUL21, 2013).

Na bacia do Rio Taquari-Antas a montante, encontra-se uma região bastante preservada, com inúmeras áreas de proteção ambiental (FEPAM, 2017b), sendo muito importante para diminuir os níveis de sedimentos gerados na bacia. A partir dos Rios Carreiro, Forqueta e das Antas, há um aumento das culturas de milho e soja, além do cultivo de arroz nas áreas mais planas ao sul da bacia. Essas áreas de cultivo geram diversos problemas relacionados aos sedimentos, como a contaminação por defensivos agrícolas, processos erosivos e assoreamento (FEPAM, 2017b).

A bacia do Rio Caiá é caracterizada por sua pressão antrópica, o que gera uma grande quantidade de lançamentos de carga orgânica dos esgotos domésticos e industriais em seus cursos d’água. Referente aos sedimentos da bacia, o seu trecho inferior se destaca pela mineração intensificada, principalmente a extração de argila, areia e cascalho, localizada majoritariamente nos municípios de Monte Negro e Triunfo (FEPAM, 2017a).

De acordo com Baisch (1994) *apud* Torres (2000), a contribuição da descarga sólida do Lago Guaíba e Rio Camaquã, na Laguna dos Patos, é da ordem de 5,3 milhões de toneladas por ano e, desse valor, aproximadamente 82% é de origem do Guaíba, enquanto 18% provém do Rio Camaquã.

Segundo Torres (2000), dos sedimentos que chegam à Laguna, há um transporte preferencial de sedimentos finos na direção sul, uma vez que os ventos de NE, predominantes na região, geram correntes no sentido NE-SW na maior parte do ano. Essas correntes são responsáveis pela manutenção dos sedimentos finos, carregados da rede de drenagem, ao longo da laguna, e sofre deposição ao aportar na região sul, promovida pelo processo de floculação que ocorre com o aumento da salinidade (VILLWOCK & TOMAZELLI, 2007). Quando os ventos de quadrante sul atuam na área, são geradas correntes no sentido contrário, que apresentam eficiência para remobilizar os sedimentos arenosos, apresentando um transporte preferencial na direção norte da Laguna (TORRES, 2000). Além disso, do total de sedimentos que são aportados na Laguna dos Patos, apenas 25% consegue atingir a região estuarina (BAISCH, 1994 *apud* TORRES, 2000).

Em estudo realizado por Toldo, *et al.* (2006), para a Laguna dos Patos, foram estimadas taxas de sedimentação holocênica de aproximadamente 0,75 mm/ano, em contraste com a taxa de sedimentação de curto período de aproximadamente 3,5 e 8,5 mm/ano, quase 10 vezes maior. Taxas superiores a 5,6 mm/ano são características de lagunas com ativa sedimentação deltaica. Esses valores podem resultar da falta de manejo adequado ao longo da bacia, além de desmatamento intenso.

4.2.4 Caracterização da etapa prévia de modelagem hidrológica

Para etapa de simulação hidrológica, foi utilizado o modelo MGB-IPH com a metodologia de propagação de vazões Muskingum-Cunge, desenvolvido por Collischonn (2001). O estudo, realizado por Lopes (2017), realizou a simulação integrada de grandes bacias e sistemas lagunares, verificando a influência do vento, no estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Os dados de vazão encontrados, no estudo de Lopes (2017), foram utilizados como dados de entrada da etapa de pré-processamento do modelo MGB-SED. Dessa forma, a Figura 11 apresenta os valores de Nash-Sutcliffe encontrados na bacia da Laguna dos Patos, para a

calibração realizada no estudo de caso. Como pode ser observado, cada ponto possui um código de identificação das estações fluviométricas, atribuídos por Lopes (2017), que varia de 1 a 33. Além disso, as estações estão apresentadas por cores da ordem desempenho do modelo hidrológico. O modelo apresentou um desempenho satisfatório, ao realizar a simulação hidrológica, apresentando valores médios de NS de 0,63. A bacia do Rio Taquari-Antas e a região mais a jusante do rio Jacuí apresentaram os melhores desempenhos. A região sul da bacia, principalmente na região do Uruguai, apresentou um pior desempenho, visto que há uma menor quantidades de dados pluviométricos disponíveis e a resolução do mapa das URHs da região do Uruguai é menor, gerando maiores incertezas (LOPES, 2017). A região do Alto Jacuí foi a que apresentou o pior resultado de NS, de valor 0,11. Lopes (2017) atribui o resultado à existência de barragens a montante da estação fluviométrica, que alteram os regimes hidrológicos do Rio Jacuí, como pode ser observado em Dulac, *et al.* (2010). Para os valores do logaritmo de NS, os resultados são semelhantes aos de NS, apresentando bom desempenho pelo modelo na maioria das sub-bacias, com piores resultados nas mesmas estações.

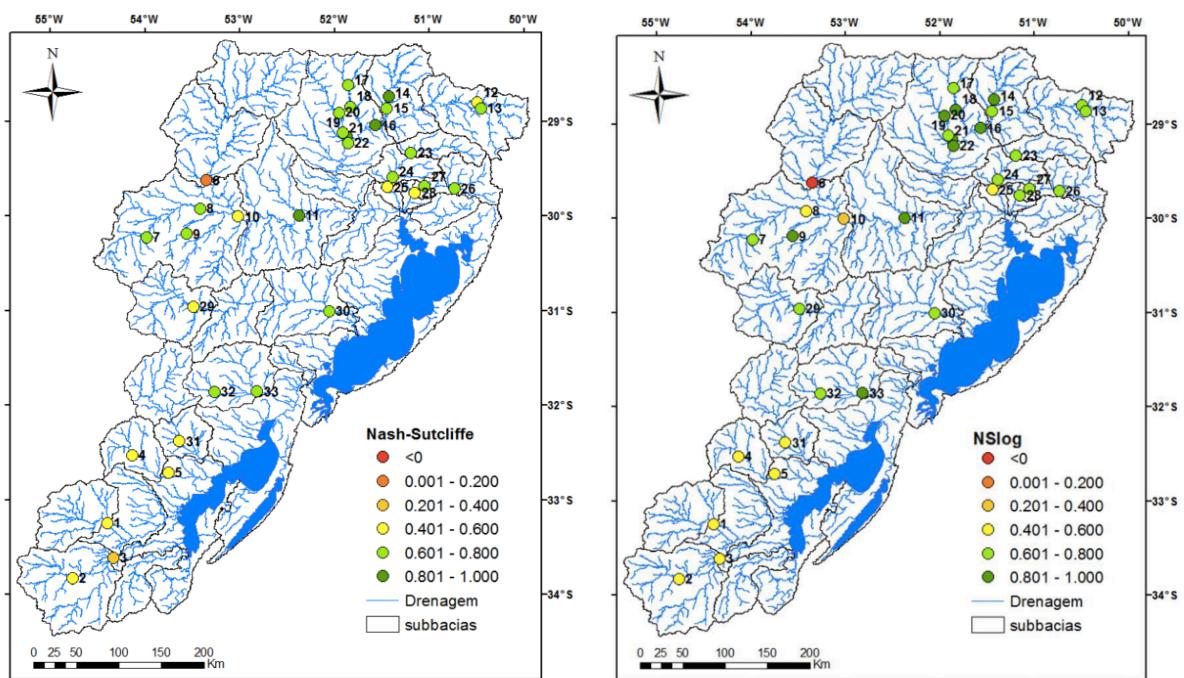


Figura 11. Valores de Nash-Sutcliffe e logaritmo de Nash-Sutcliffe obtidos na calibração hidrológica (Fonte: LOPES, 2017).

A seguir (Tabela 2), é apresentado os valores de r para a correlação realizada entre os valores de vazão simulada e vazão observada nos pontos onde há dados de sedimentos

observados, para a calibração do modelo. A maioria dos postos possui uma boa correlação entre a vazão simulada e a vazão observada. Os postos 86410000 (Sub-bacia dos rios Taquari-Antas), 87380000 (jusante da sub-bacia do Rio dos Sinos), 88176000 e 88177000 (ambas à montante da sub-bacia do Rio Jaguarão) ficaram com valores de correlação intermediários. Contudo, os postos 85400000 (sub-bacia do Alto Jacuí) e 88181000 (jusante da sub-bacia do Rio Jaguarão) apresentaram valores de correlações baixas.

Tabela 2. Valores de correlação entre vazões simuladas e observadas.

Estação fluviométrica	r	Estação fluviométrica	r
86100000	0,949	87380000	0,401
86410000	0,368	85735000	0,819
86470000	0,743	85900000	0,692
86500000	0,788	85600000	0,864
86560000	0,732	85623000	0,718
86510000	0,887	87590000	0,652
85400000	0,062	87905000	0,835
87170000	0,912	88176000	0,240
87270000	0,815	88177000	0,369
87374000	0,952	88181000	0,024

Em seu estudo, Lopes (2017), ainda, definiu oito classes de URHs para a região da bacia da Laguna dos Patos: floresta em solo raso, floresta em solo profundo, agricultura em solo raso, agricultura em solo profundo, campo em solo raso, campo em solo profundo, várzeas e florestas inundáveis e áreas semipermeáveis. A Figura 12 apresenta o mapa das Unidades de Resposta Hidrológica para a bacia da Laguna dos Patos, que será utilizada para realizar a calibração do módulo de sedimentos.

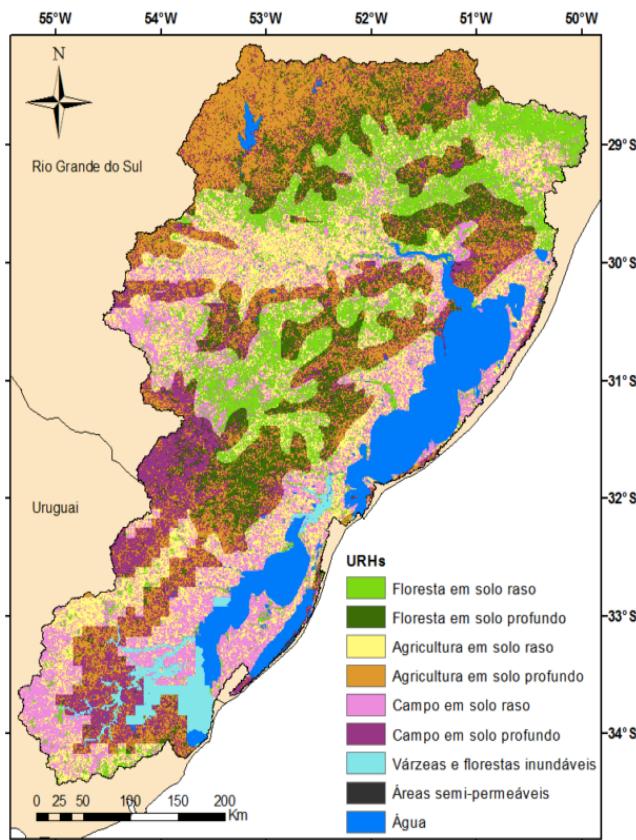


Figura 12. Unidades de Respostas Hidrológicas (URHs) (Fonte: LOPES, 2017).

4.3 Obtenção do banco de dados

Os dados utilizados, nesse trabalho, foram coletados na Agência Nacional de Águas, através do portal “*Hidroweb*”, e referem-se aos valores de concentração, em mg/L, de sedimentos finos (argila e silte) na seção transversal do rio e de vazão do curso d’água. Ao todo, foram utilizados dados de 20 estações fluviométricas, descritas na Tabela 3 e localizadas de acordo com a Figura 13. Essas estações fluviométricas foram escolhidas por possuírem dados de medições de sedimentos em todos os anos simulados escolhidos para realizar a calibração. Dessas 20 estações fluviométricas utilizadas na etapa de calibração, apenas 13 possuíam dados nos anos simulados utilizados para realizar a validação. As estações utilizadas para realizar a validação são: 86410000, 86470000, 86500000, 86560000, 86510000, 85400000, 87270000, 87380000, 85900000, 85600000, 85623000, 87590000 e 87905000.

Tabela 3. Estações fluviométricas

Sub-bacia Hidrográfica	Região Hidrográfica	Sub-bacia MGB	Código Estação	Coordenada da Estação	Nº Estação	Código Minibacia	Quantidade de dados por estação
1	Sub-bacia do Rio Taquari-Antas	10	8	50,49°S; 28,83°W	1	2149	22
			9	51,42°S; 28,73°W	2	2261	24
			86470000	51,60°S; 29,04°W	3	2482	16
			86500000	51,83°S; 28,83°W	4	2268	24
			86560000	51,93°S; 28,93°W	5	2294	21
			86510000	51,84°S; 29,19°W	6	2514	19
			-	-	-	-	-
2	Sub-bacia do Alto Jacuí	12	-	-	-	-	-
		13	85400000	53,32°S; 29,60°W	7	2093	20
3	Sub-bacia do Rio Caí	5	-	-	-	-	-
		6	87170000	51,40°S; 29,59°W	8	2348	5
		7	87270000	51,45°S; 29,71°W	9	2382	23
4	Sub-bacia do Rio dos Sinos	2	87374000	50,72°S; 29,73°W	10	1998	7
		3	87380000	51,02°S; 29,68°W	11	2232	22
		4	-	-	-	-	-
5	Sub-bacia do Rio do Pardo e do Baixo Jacuí	15	85735000	52,74°S; 29,66°W	12	2197	20
			85900000	52,34°S; 29,98°W	13	2575	19
		16	-	-	-	-	-
6	Sub-bacia do Rio Vacacaí	14	85600000	53,34°S; 29,89°W	14	2440	25
			85623000	53,53°S; 30,28°W	15	2021	25
7	Sub-bacia do Rio Gravataí, Lagoa Guaíba, Rio Camaquã, Litoral Médio e Sistema Piratini-São Gonzalo	1	-	-	-	-	-
		17	87590000	53,46°S; 30,97°W	16	2342	15
		18	-	-	-	-	-
		19	87905000	52,05°S; 31,01°W	17	2519	22
		20	-	-	-	-	-
		21	-	-	-	-	-
		22	-	-	-	-	-
		31	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-
8	Sub-bacia do Rio Jaguarão	23	88176000	53,72°S; 31,44°W	18	721	11
			88177000	53,60°S; 31,48°W	19	624	8
			88181000	53,67°S; 31,56°W	20	1445	12
		24	-	-	-	-	-
9	Região do Uruguai ¹	25	-	-	-	-	-
		26	-	-	-	-	-
		27	-	-	-	-	-
		28	-	-	-	-	-
		29	-	-	-	-	-
		30	-	-	-	-	-

¹ Não há dados disponíveis de estações fluviométricas da região do Uruguai.

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

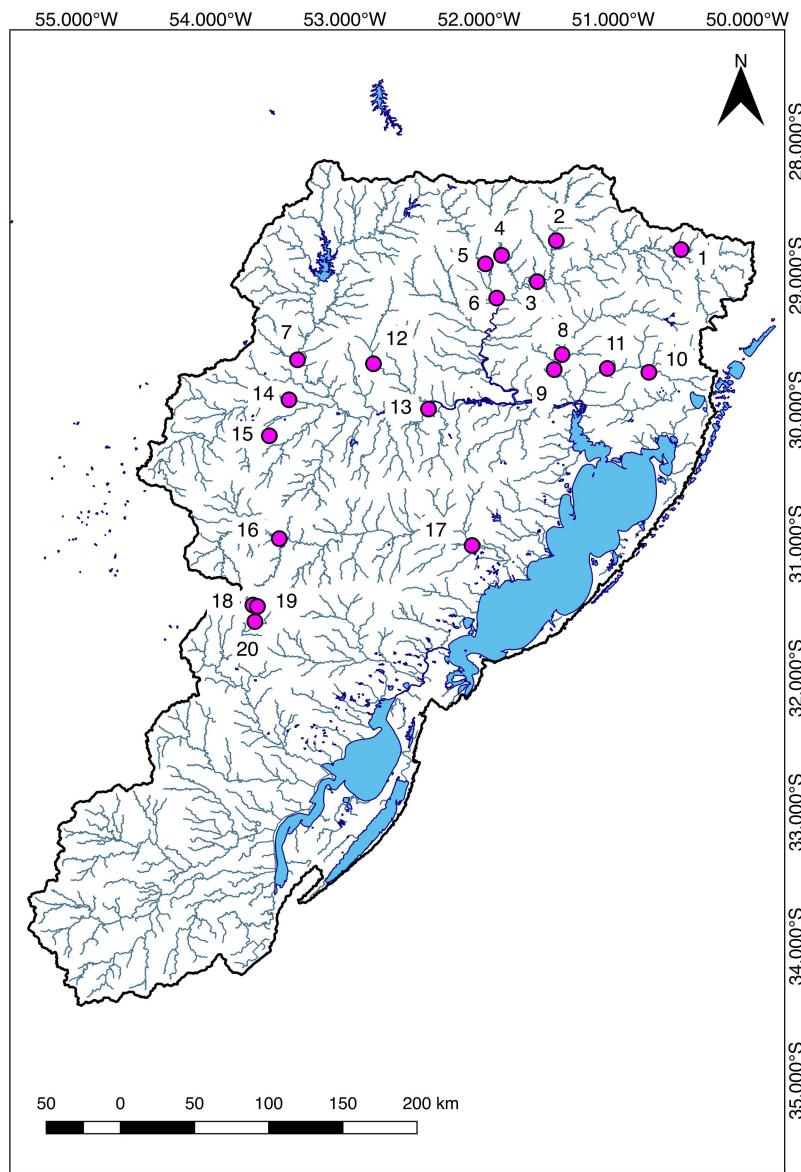


Figura 13. Localização das estações fluviométricas.

4.4 Parâmetros de calibração e estimativas iniciais

A calibração é realizada a partir da modificação dos parâmetros da equação MUSLE (Equação 20). Os parâmetros $Dsup$ e $qrico$ são obtidos a partir do modelo hidrológico. Apm é a área do pixel e LS é o fator topográfico, ambos calculados diretamente pelo modelo, sendo o último calculado a partir do MDE de entrada do modelo. Dessa forma, o modelo possibilita a alteração dos parâmetros P (práticas conservacionistas), FG (fator de fragmentos grosseiros), K (fator de erodibilidade do solo) e C (fator de cobertura e manejo do solo).

$$SED_{i,j}^k = 11,8 \cdot (Dsup_{i,j}^k \cdot qpico_{i,j}^k \cdot Apm_{i,j}^k)^{0,56} \cdot K_j \cdot C_j \cdot P_j \cdot LS_{i,j}^k \cdot FG_j \quad (20)$$

O parâmetro P (fator de práticas conservacionistas) manteve o valor igual a 1,0, como apresentado no trabalho de Buarque (2015). Esse valor é utilizado, segundo Beskow, *et al.* (2009), nos casos onde não há práticas conservacionistas na bacia. Como não há informações na bacia sobre essas práticas de manejo e, ainda, a escala de trabalho é muito grande, optou-se por utilizar esse valor como sendo o pior caso. O fator FG (fator de fragmentos grosseiros) foi alterado em algumas simulações, no entanto não ocorreram alterações nas simulações realizadas, optando-se por manter o valor 1,00, como utilizado em Buarque (2015). Dessa forma, os parâmetros escolhidos para realizar a calibração do modelo, no presente trabalho, foram o fator de erodibilidade do solo (K) e o fator de cobertura e manejo do solo (C).

4.4.1 Fator de erodibilidade do solo (K)

Como os solos para as URHs estão divididos em solos profundos, solos rasos e florestas inundáveis, foi realizada uma caracterização mais detalhada para estimar as porcentagens de argila, silte e areia de cada tipo de solo. Essas porcentagens permitem o cálculo do parâmetro K (erodibilidade do solo) a partir da Equação 9, apresentada anteriormente. Dessa forma, utilizou-se o “Mapa de Solos do Mundo” da FAO (2007) para obter quais solos e suas porcentagens dentro de cada sub-bacia de calibração do MGB. No Anexo I, encontra-se o mapa com a numeração de cada sub-bacia. Além disso, utilizou-se o “Apêndice I” do “Sistema Brasileiro de Classificação de Solos” da EMBRAPA (2006) para realizar a correspondência aproximada entre o tipo de solo obtido no mapa da FAO e o tipo de solo brasileiro em questão. A Tabela 4 apresenta um exemplo de como foi identificada a textura para cada sub-bacia. No Anexo II, é apresentada a tabela completa de todas as sub-bacias.

Após determinar os tipos de solo em cada sub-bacia, foi feita uma caracterização aproximada das variações de textura encontradas em cada tipo de solo através do livro “Formação e Conservação dos Solos” (LEPSCH, 2010). Ainda, utilizou-se os conceitos definidos por Fan, *et al.* (2015) de solos profundos, rasos e de várzea, como apresentados na Tabela 5, para agrupar os diversos tipos de solo de acordo com as URHs definidas para a bacia

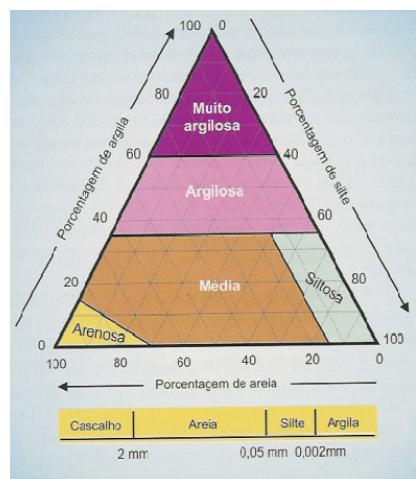
Tabela 4. Caracterização da textura de cada tipo de solo.

Sub-bacia MGB	Solo FAO	Solo EMBRAPA	% Solo	Textura LEPSCH
2	Humic Ferralsols	Latossolo	7,68	Argilosa
	Luvic Phaeozems	Chernossolo	1,37	Muito argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolo	87,92	Argilosa
	Eutric Regosols	Neossolo Regolítico	0,57	Média
	Mollic Solonetz	Planossolo Nátrico	2,46	Média

Para estimar uma faixa de valores de textura presente no tipo de solo, utilizou-se o diagrama triangular generalizado dos cinco grupamentos texturais principais de solo (Figura 14). Dessa forma, estimou-se porcentagens iniciais de areia, silte e argila para cada tipo de solo.

Tabela 5. Caracterização de solos profundos, rasos e várzea.

Tipo de Solo	Solo EMBRAPA	Textura	% Argila	% Silte	% Areia
Solos Profundos	Latossolo	Arenosa a muito argilosa	25% - 80%	5% - 30%	5% - 70%
	Nitossolo				
	Chernossolo				
	Argissolo				
Solos Rasos	Neossolo	Arenosa a Média	15% - 45%	10% - 25%	30% - 75%
	Luvissolo				
Solos Saturados/Várzea	Gleissolo	Média	15% - 50%	10% - 35%	20% - 60%
	Planossolo				

**Figura 14.** Diagrama triangular generalizado para determinação dos cinco principais grupamentos texturais de solo (Fonte: LEPSCH, 2010).

4.4.2 Fator de cobertura e manejo do solo (C)

Em bacias muito grandes e com informações pouco detalhadas, como para a bacia da Laguna dos Patos, é muito difícil determinar valores exatos para o parâmetro C. Dessa forma, houve uma análise de diversos estudos, como o de Buarque (2015), Farinasso, *et al.* (2006), entre outros, de forma a se obter valores iniciais para estimar o parâmetro (Tabela 6). Assim, após determinar os valores iniciais, eles foram ajustados, de forma a ficar o mais coerente possível, contudo priorizando encontrar os melhores valores para as métricas de desempenho.

Tabela 6. Valores encontrados na literatura para estimar o parâmetro C.

Tipo de cobertura	Valores de C	Referência
Floresta	Floresta de cultivo (0,30) ¹ , mata atlântica (0,02) ¹ , floresta virgem (0,0001) ² , florestas implantadas (0,124 e 0,017) ³ , florestas nativas (0,016) ³ , floresta médio (0,001) ⁴ , floresta (0,0001 até 0,003) ⁴ , eucalipto (0,047) ⁷ , mata e vegetação nativa (0,0004) ⁷ , mata ciliar (0,012) ⁸ , transição (0,087) ⁸ .	
Agricultura	Culturas (0,11) ⁴ , cana de açúcar (0,15 até 0,001) ⁴ , milho (0,3 até 0,01) ⁴ , dependendo do tipo e % de cobertura (0,45 até 0,003) ⁴ , atividades agrícolas e pecuárias (0,114) ⁵ , cana de açúcar (0,1124) ⁷ , citros (0,1350) ⁷ , agricultura irrigada e sequeiro (0,018) ⁸ .	¹ Martins, <i>et al.</i> (2010); ² Carvalho (2008); ³ Frizzarin, <i>et al.</i> (2015); ⁴ Branco (1998); ⁵ Silva, <i>et al.</i> (2011); ⁶ Santos, <i>et al.</i> (2014); ⁷ Minoti (2006); ⁸ Farinasso, <i>et al.</i> (2006).
Campo	Pastagens (0,022) ⁴ , campos limpos (0,038) ⁴ , pasto (0,4 até 0,004) ⁴ , dependendo de tipo e % de cobertura (0,42 até 0,003) ⁴ , atividades agrícolas e pecuárias (0,114) ⁵ , capim (0,0084) ⁶ , pastagem com manejo (0,001) ⁷ , pastagem nativa (0,005) ⁷ .	
Várzea	Como não foram encontrados valores específicos para várzea, foram utilizados valores de acordo com o tipo de uso “floresta”.	
Área Semi-Impermeável	Área urbana (0,001) ⁸ , solo exposto (1,0) ⁸ .	

4.5 Calibração e validação do modelo MGB-SED

Ao todo, foram simulados 20 anos de dados de concentração de sedimentos finos, entre 1990 até 2010. A calibração do modelo foi realizada entre os anos 2001 e 2010, uma vez que possuía mais dados nesse período, tornando a calibração mais confiável. A calibração foi feita de forma manual, por tentativa e erro, comparando os resultados simulados pelo modelo com os dados observados nas estações fluviométricas da ANA. Após modificar os parâmetros K e C, o modelo levava aproximadamente entre 20 e 30 minutos para realizar os cálculos internos. Os resultados finais eram disponibilizados em arquivos de texto, que eram convertidos em tabelas de “*Excel*” para melhor manuseio dos dados. As tabelas eram programadas para gerar os sedimentogramas de cada estação e calcular as métricas de desempenho. Após aproximadamente 50 calibrações, foram obtidos os resultados apresentados no presente trabalho. Para determinar os valores finais dos parâmetros, primeiro eram analisadas as concentrações e as descargas sólidas de sedimentos finos ao mesmo tempo, através dos sedimentogramas, verificando a coerência dos gráficos. Após, era feito uma análise das métricas de desempenho, visando melhores resultados para as métricas que eram mais importantes na análise.

É importante destacar que o procedimento de calibração, ou seja, a modificação dos parâmetros, era realizada em cada sub-bacia (1 a 31 – Anexo I) para cada URH. Após calcular as estimativas iniciais, para ambos os parâmetros K e C (como descrito nos itens 4.4.1 e 4.4.2), os parâmetros foram ajustados dentro da faixa de valores, de forma que os valores finais ajustados fossem coerentes com as características da região, apresentadas anteriormente na caracterização da área de estudo. Além disso, as sub-bacias que não haviam dados observados, foram calibradas de acordo com as sub-bacias mais próximas que apresentassem maior similaridade entre as características físicas da região. Os valores de alfa (α) e beta (β) da equação MUSLE não foram calibrados no presente estudo, pois eles são parâmetros internalizados dentro do código do modelo nas equações do MGB-SED. Dessa forma, seria necessário alterar o código do modelo matemático proposto por Buarque (2015), o que ficou fora do escopo da presente aplicação. Porém pode ser feito em aplicações futuras.

A validação foi realizada para os anos de 1990 até 2000, uma vez que apenas 13 das 20 estações fluviométricas apresentavam dados nesse período. Nessa etapa, os resultados foram analisados para os anos de simulação sem alterar os parâmetros de calibração, já definidos pela etapa anterior.

4.6 Verificação e análise dos dados calibrados

Com o objetivo de verificar os resultados obtidos com a calibração e validação do modelo de sedimentos, foram realizadas duas análises: a) Análise qualitativa, que se utilizou a verificação visual dos gráficos de concentração e descarga sólida diária de sedimentos e de concentração e descarga sólida dos dados simulados em comparação com os dados observados; b) Análise quantitativa, que analisou métricas de desempenho.

As métricas utilizadas são descritas a seguir.

4.6.1 Coeficiente de correlação de Pearson

De acordo com Moriasi, *et al.* (2007), o coeficiente de correlação de Pearson, representado pela letra r , descreve o grau de colinearidade entre os dados simulados e os dados observados, variando entre -1 e 1. O valor de $r = 0$ significa que não há nenhuma relação linear existente entre os dados observados e os dados simulados. Quanto mais próximo de 1 e -1, significa que há uma correlação perfeita, positiva ou negativa, respectivamente.

No presente estudo, foram gerados gráficos de correlação entre as concentrações simuladas e observadas e entre as descargas sólidas simuladas e observadas. O cálculo foi realizado através do “*Excel*” e é realizado pelo programa de acordo com a Equação 42:

$$r = \frac{\sum(x - X) \cdot (y - Y)}{\sqrt{\sum(x - X)^2 \cdot \sum(y - Y)^2}} \quad (42)$$

onde, x e y [-] são os valores das amostras; X e Y [-] são as médias das amostras.

Os valores de r , para avaliação de modelos, são muito sensíveis a valores extremos e insensível a diferenças proporcionais entre os valores simulados e observados (MORIASI, *et al.*, 2007). Foi determinado, para avaliação da calibração, o grau de satisfação do modelo de acordo com os valores de r . Para $r < 0,3$ é insatisfatório, $0,3 < r < 0,6$ é satisfatório e $r > 0,6$ é muito satisfatório.

4.6.2 Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) é uma estatística normalizada que determina a magnitude relativa da variância residual comparada a variância dos dados observados (MORIASI, *et al.*, 2007). O coeficiente NSE pode ser calculado a partir da Equação 43:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_{média})^2} \right] \quad (43)$$

Seus valores variam entre $-\infty$ e 1,0, sendo 1,0 considerado o valor ótimo. Valores variando entre 0,0 e 1,0 geralmente são aceitos como bons níveis de performance do modelo, enquanto valores menores do que 1,0 representam que a média dos valores observados consegue fazer melhores previsões do que o modelo (MORIASI, *et al.*, 2007). No presente estudo, baseado nos valores encontrados no estudo de Moriasi, *et al.* (2007), foi determinado que $NSE < 0$ é insatisfatório, $0 < NSE < 0,5$ é satisfatório, $NSE > 0,5$ é muito satisfatório. No mesmo estudo, para simulações diárias na área de sedimentos, foram encontrados valores de NSE mínimo de -2,50 e máximo de 0,11, para etapa de calibração. Para etapa de validação, os valores variaram entre -3,51 e 0,23.

4.6.3 Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe aplicado a logaritmos

O coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe aplicado aos logaritmos (NSE LOG) valoriza mais as vazões baixas do que o coeficiente de NSE, dessa forma é utilizada no presente estudo por ser uma métrica menos sensível a cheias e picos extremos (GUILHON, *et al.*, 2007). Assim como o coeficiente NSE, o NSE LOG varia entre $-\infty$ e 1,0 e quanto mais próximo de 1,0, melhores as previsões do modelo. Pode ser calculado a partir da Equação 44:

$$NSE LOG = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\log Q_{sim} - \log Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^N (\log Q_{obs} - \overline{\log Q_{obs}})^2} \quad (44)$$

Os valores adotados para avaliar a calibração são os mesmos do NSE. Assim, para os valores encontrados de NSE LOG < 0 é insatisfatório, 0 < NSE LOG < 0,5 é satisfatório, NSE LOG > 0,5 é muito satisfatório.

4.6.4 Porcentagem de BIAS

A porcentagem de BIAS, representado por PBIAS, mede a tendência média dos dados simulados serem maiores ou menores do que os dados observados. O valor ótimo de PBIAS é 0,0 e quanto menor a magnitude, maior a acurácia do modelo. Para valores positivos, indica que o modelo subestima os dados simulados em relação aos dados observados. Para valores negativos, significa que o modelo superestima os valores simulados (GUPTA, *et al.*, 1999 *apud* MORIASI, *et al.*, 2007). O PBIAS pode ser calculado de acordo com a Equação 45.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim}) \cdot (100)}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs})} \right] \quad (45)$$

No estudo realizado por Moriasi, *et al.* (2007), é indicado como satisfatório, para simulações de sedimentos, valores entre $\pm 55\%$. Dessa forma, para avaliar a calibração do modelo, foram adotados como insatisfatórios PBIAS > 70% e PBIAS < -70%, satisfatório PBIAS entre -70% e -50% e PBIAS entre 50% e 70% e muito satisfatório os valores de PBIAS entre $\pm 55\%$. O PBIAS foi escolhido como a métrica principal de avaliação da calibração realizada, pois o valor de r apresenta variações pouco significativas, uma vez que os parâmetros de calibração são lineares e os valores de NSE e NSE LOG são mais utilizados em séries históricas de dados, o que não ocorre com sedimentos, pois são poucos dados observados ao longo dos anos simulados. Assim, o PBIAS pode indicar de forma mais explícita a performance do modelo.

4.6.5 Taxa de desvio padrão

A taxa de desvio padrão é uma estatística criada a partir da padronização da estatística de erro RMSE, usando o desvio padrão dos dados observados, e é representada por RSR. Essa taxa incorpora, ao mesmo tempo, os benefícios de uma estatística de erros e a inclusão de um fator de normalização (MORIASI, *et al.*, 2007). O RSR pode ser calculado de acordo com a Equação 46.

$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_{média})^2}} \quad (46)$$

De acordo com o estudo de Moriasi, *et al.* (2007), o valor ótimo para o RSR é de 0,0, que indica zero variação residual, atribuindo esse valor a melhor performance do modelo. No estudo, é indicado que o modelo pode ser considerado satisfatório para valores menores ou iguais a 0,70. Assim, foi determinado para avaliação da calibração do modelo como insatisfatório para $RSR > 1,0$, satisfatório para $0,7 < RSR < 1,0$ (apesar de que valores de $RSR < 0,7$ são insatisfatórios para Moriasi, *et al.* (2007), como se trata de valores de simulação para sedimentos diários, optou-se por aumentar o valor de avaliação da métrica utilizada) e muito satisfatório para $RSR < 0,7$.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados gerados pelo modelo são apresentados na seguinte ordem: calibração por estação para cada sub-bacia, análise integrada da calibração para a bacia total, análise integrada da validação para a bacia total, análise integrada da bacia para o período total e análise hidrossedimentológica da bacia da Laguna dos Patos.

5.1 Análise da calibração por estação para cada sub-bacia

Ao todo, foram gerados resultados em oito sub-bacias para cada posto fluviométrico de controle, todas localizadas no Rio Grande do Sul: sub-bacia dos Rios Taquari-Antas (5.1.1), sub-bacia do Alto Jacuí (5.1.2), sub-bacia do Rio Caí (5.1.3), sub-bacia do Rio dos Sinos (5.1.4), sub-bacia do Rio do Pardo e do Baixo Jacuí (5.1.5), sub-bacia do Rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim (5.1.6), sub-bacia do Rio Gravataí, Lago Guaíba, Rio Camaquã, Litoral Médio e Sistema Piratini-São Gonzalo (5.1.7) e sub-bacia do Rio Jaguarão (5.1.8). No Anexo I, encontra-se os valores dos parâmetros de calibração para todas sub-bacias do MGB-SED.

5.1.1 Sub-bacia dos Rios Taquari-Antas

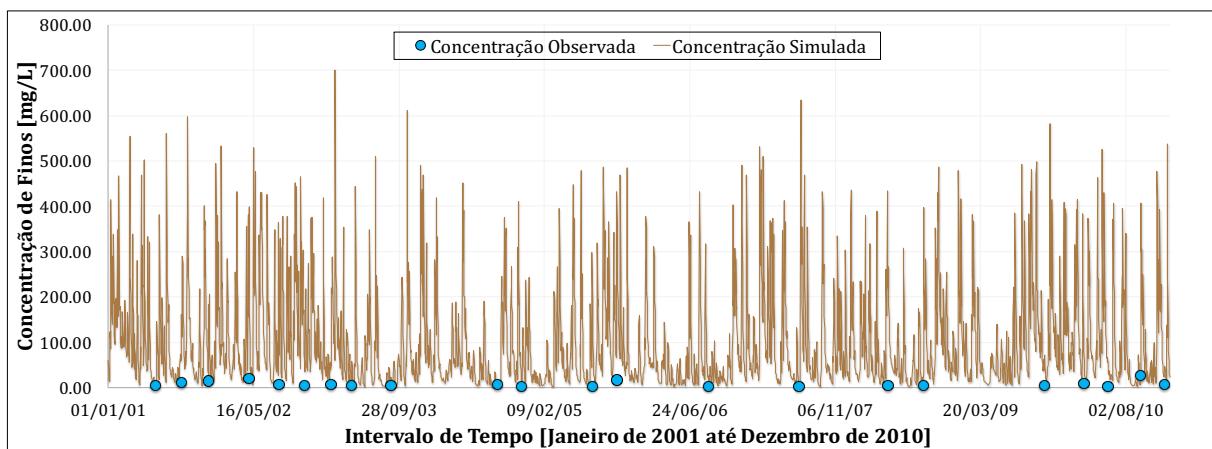
5.1.1.1 Estação fluviométrica Passo do Gabriel (86100000)

A estação fluviométrica Passo do Gabriel se encontra localizada na região mais a montante da bacia dos rios Taquari-Antas. Os parâmetros utilizados para realizar a calibração podem ser visualizados na Tabela 7.

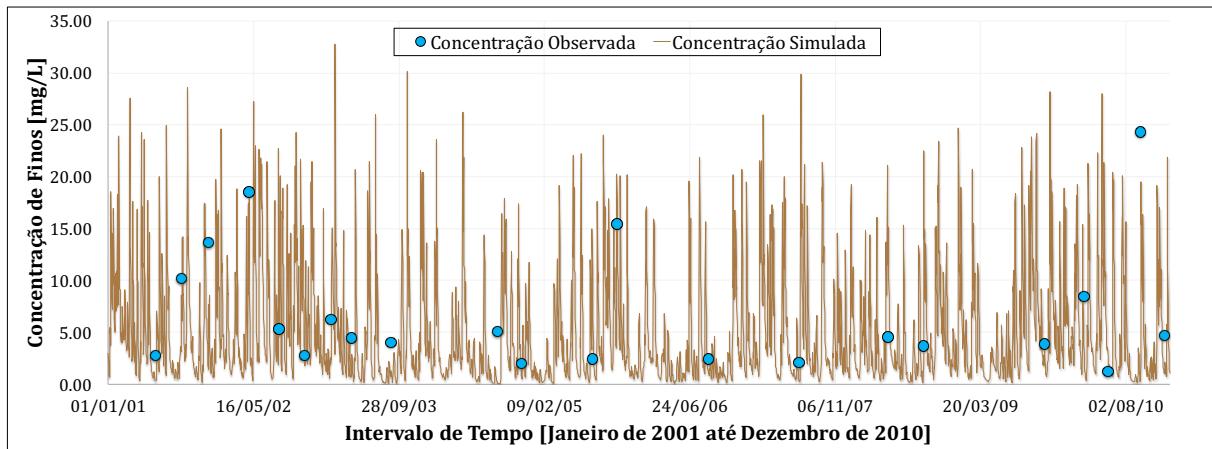
A Figura 15 apresenta os resultados antes e depois da calibração para as concentrações diárias de sedimentos, enquanto a Figura 16 mostra os resultados antes e depois da calibração para as concentrações de sedimentos nas datas simuladas, as quais apresentavam dados observados. Pode-se notar que, por se tratar de uma região de grandes declividades, o modelo superestimou as concentrações diárias de sedimentos na seção transversal do rio. Enquanto a média das concentrações observadas foi de 6,69 mg/L, a média das concentrações simuladas antes da calibração foi de 93,57 mg/L. Após a calibração, obteve-se uma média de 4,77 mg/L.

Tabela 7. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 8.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	25,00	10,00	65,00	3,00	0,00070
Floresta solo profundo	27,00	17,00	56,00	3,00	0,00070
Agricultura solo raso	25,00	10,00	65,00	2,00	0,00400
Agricultura solo profundo	23,00	14,00	63,00	2,00	0,00100
Campo solo raso	25,00	10,00	65,00	1,20	0,00150
Campo solo profundo	38,00	12,00	50,00	1,80	0,02500
Várzea	25,00	10,00	65,00	3,50	0,00090
Área semi-impermeável	25,00	10,00	65,00	1,00	0,00090

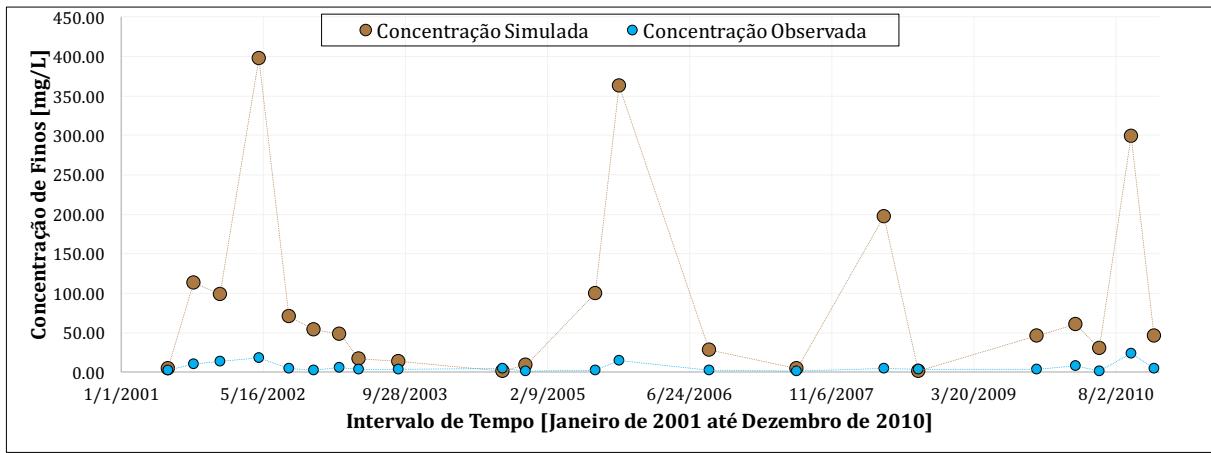


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

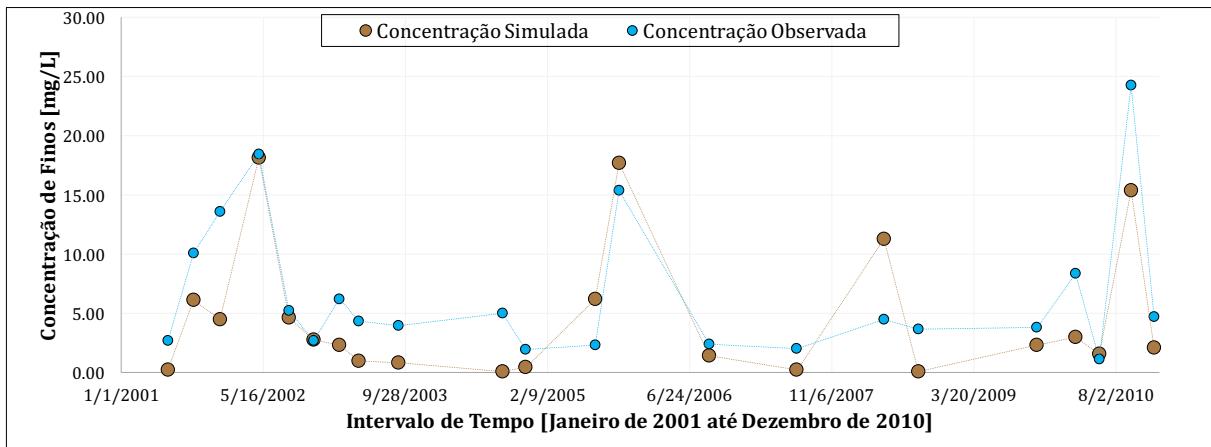


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 15. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).

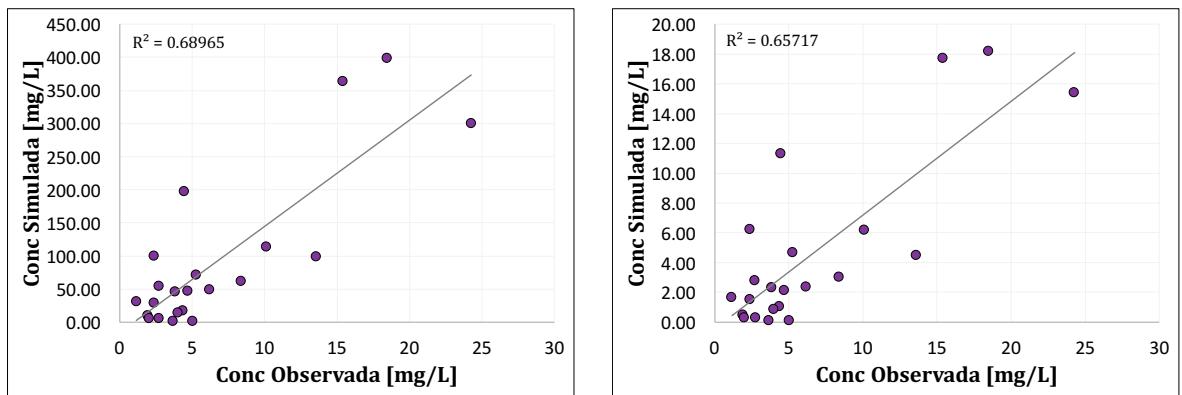


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 16. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 17. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

A partir dos gráficos apresentados, nota-se que a calibração reduziu proporcionalmente os valores simulados, sem grandes alterações nos vales e picos dos gráficos. Por isso, os valores de r , apresentados nos gráficos da Figura 17, não se alteram muito, sofrendo leve redução após a calibração. Além disso, na Tabela 8, encontram-se os valores de r , PBIAS, RSR antes e depois da calibração. As métricas apresentaram um desempenho muito bom após a calibração, principalmente o PBIAS, que é a principal métrica utilizada para definir a calibração da sub-bacia no presente trabalho.

Tabela 8. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo do Gabriel (86100000).

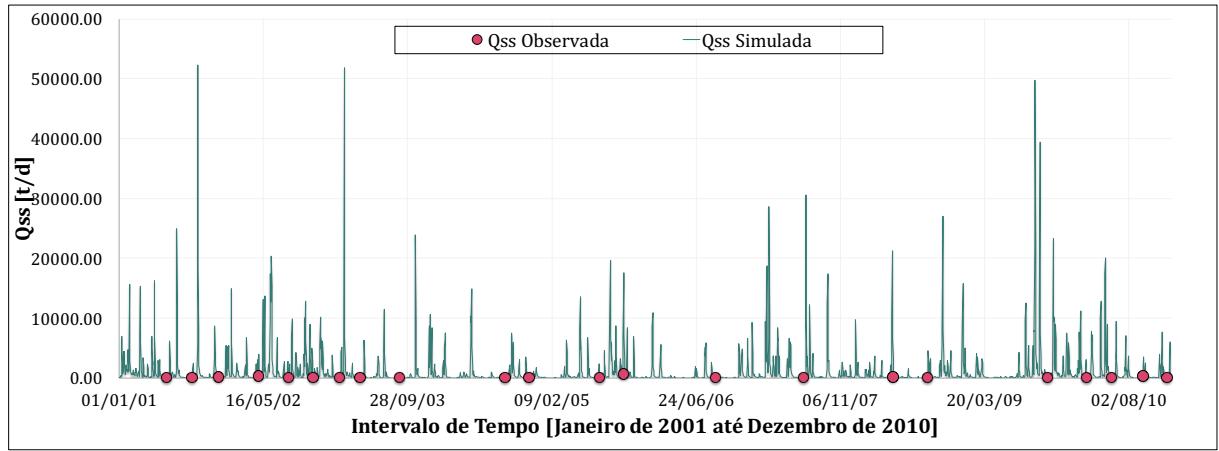
Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,690	0,657
PBIAS (%)	-1266,15	30,17
RSR	23,39	0,69

Além das concentrações de sedimentos, é apresentada a descarga sólida de sedimentos, antes e após a calibração (Figura 18 e Figura 19). A Figura 20 apresenta o gráfico de correlação entre as descargas sólidas simuladas e observadas, enquanto a Tabela 9 apresenta o desempenho das métricas.

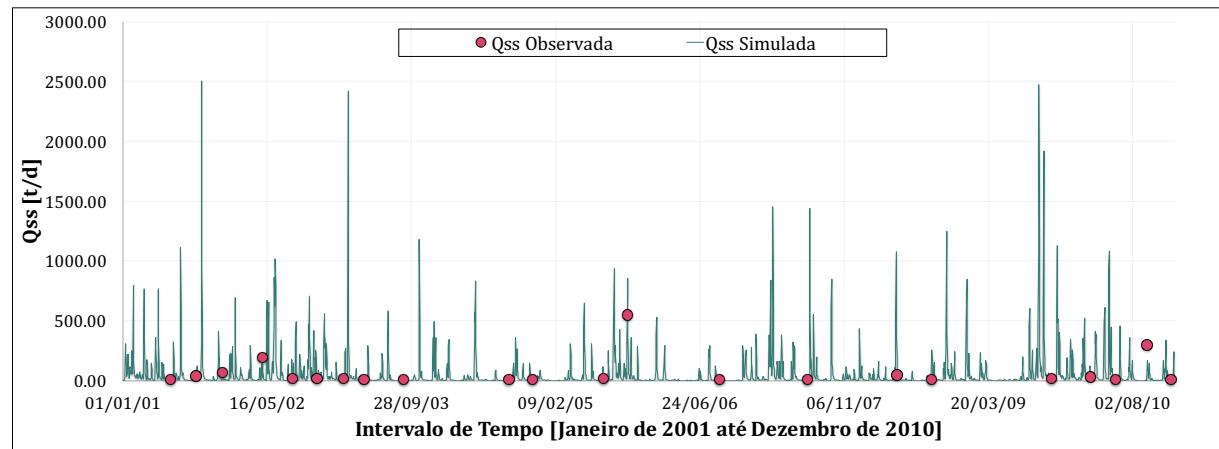
Como essa região possui uma modelagem hidrológica satisfatória ($r = 0,949$ e NSE superiores a 0,6), o modelo apresenta valores de desempenho de r bem satisfatórios, principalmente para a descarga sólida simulada. Além disso, após a calibração, todas as métricas avaliadas apresentaram melhorias, destacando-se os valores de NSE, que a princípio apresentava o valor -896,48 e, após, 0,58, e PBIAS, que passou de -2172,74% para -13,26%.

Tabela 9. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo do Gabriel (86100000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,851	0,843
NSE	-896,48	0,58
NSE LOG	-1,40	0,10
PBIAS (%)	-2172,74	-13,26
RSR	29,96	0,65

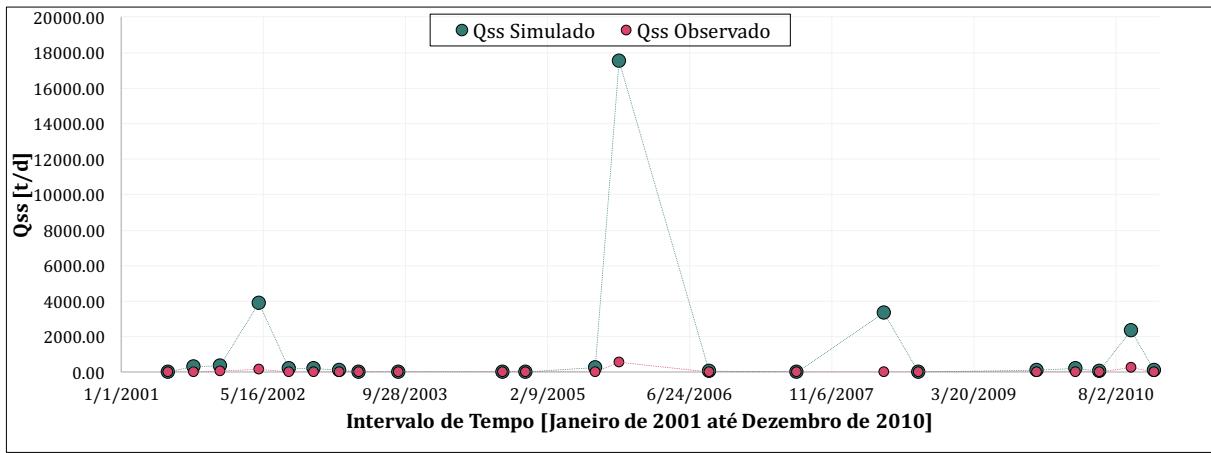


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

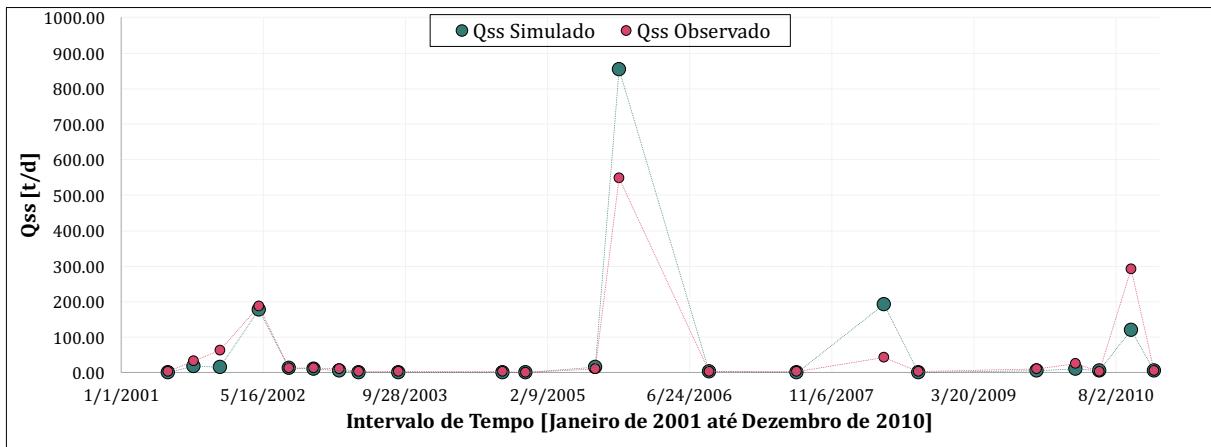


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 18. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).

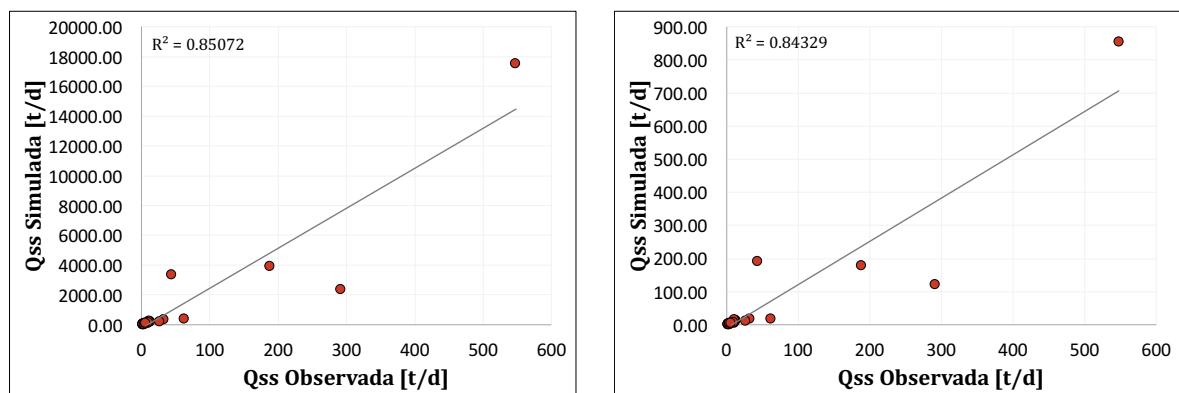


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 19. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 20. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo do Gabriel (86100000).

Renata Barão Rossoni. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2017.

5.1.1.2 Estação fluviométrica Passo Barra do Guaiaveira (86410000)

Os resultados apresentados a seguir, referem-se à estação Passo Barra do Guaiaveira, que se localiza à jusante da estação Passo do Gabriel. Na Tabela 10, pode-se observar os valores utilizados para calibrar o modelo de sedimentos. Assim como a estação Passo do Gabriel, por se localizar em uma região de grandes declividades, o modelo estimou concentrações muito elevadas de sedimentos, antes da calibração. Dessa forma, para manter a coerência com o tipo de solo e textura local (solo argiloso a muito argiloso), optou-se por reduzir os valores do parâmetro C. Dessa forma, foi possível obter valores médios de simulação mais coerentes com a realidade, tanto para as concentrações de sedimentos em suspensão no rio (Figura 21 e Figura 22), quanto para os valores de descarga sólida média diária (Figura 24 e Figura 25).

A análise hidrossedimentológica da estação apresenta dois problemas. Primeiro na Figura 22b, pode-se notar dois picos de sedimentos que estão muito acima dos valores médios observados. Isso pode ocorrer devido a uma inconsistência dos dados observados, bem como pode ser o registro de algum evento que gerou uma grande quantidade de sedimentos acima dos valores normais para a região, como uma chuva torrencial ou movimentos de massa, por se encontrar numa região de maiores inclinações. Segundo, na Figura 25b, há um pico de descarga sólida simulada muito superior do que a observada, apesar de coincidir com uma concentração mais alta de sedimentos. Isso ocorre, pois a vazão observada é de aproximadamente 163 m³/s enquanto a simulada é de aproximadamente 445 m³/s.

Tabela 10. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 9.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	32,00	15,00	53,00	3,00	0,00800
Floresta solo profundo	31,50	16,00	52,50	3,50	0,00400
Agricultura solo raso	34,00	14,00	52,00	1,50	0,03500
Agricultura solo profundo	31,50	15,00	53,50	1,50	0,01000
Campo solo raso	35,40	14,60	50,00	1,00	0,01000
Campo solo profundo	30,50	16,00	53,50	1,00	0,00700
Várzea	33,50	20,00	46,50	3,00	0,00700
Área semi-impermeável	33,50	20,00	46,50	1,00	0,01000

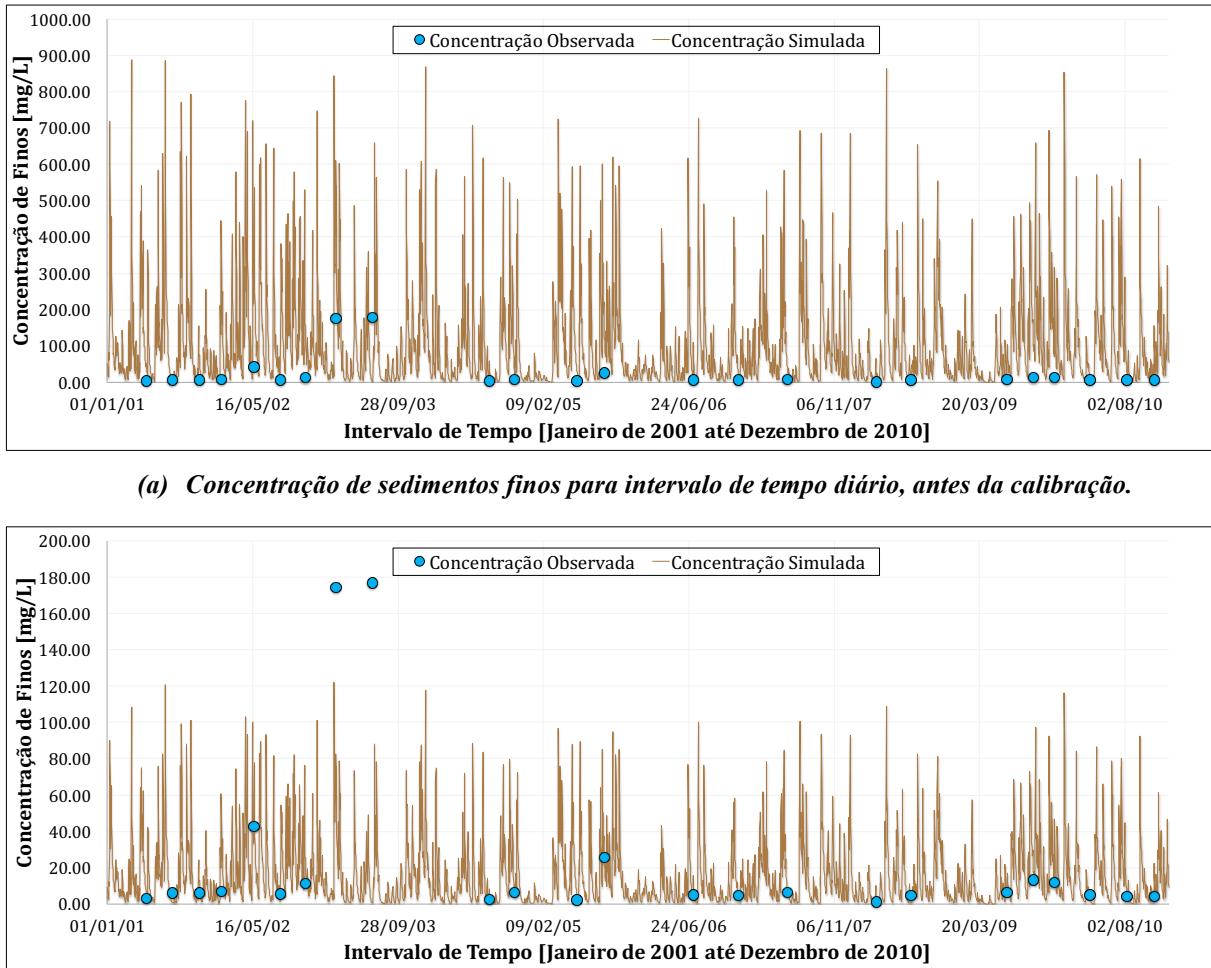
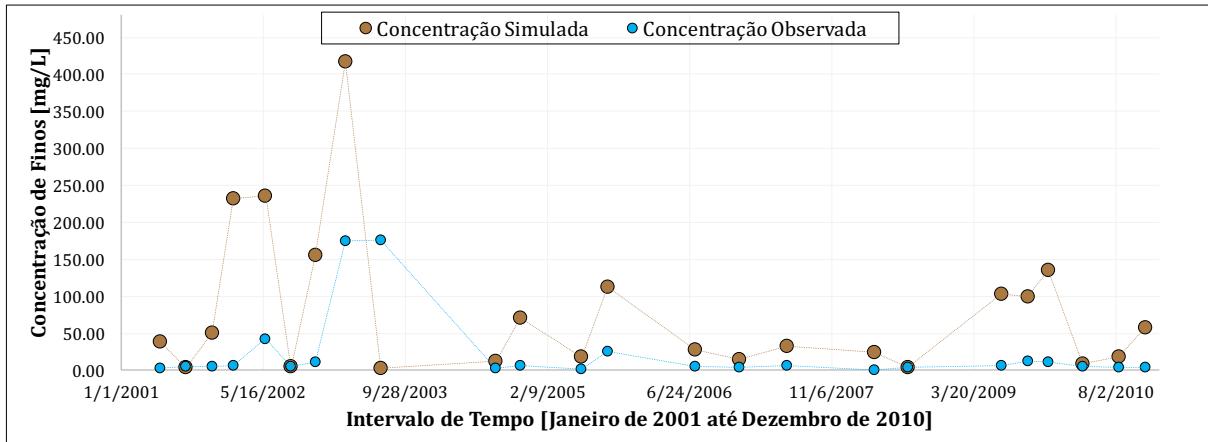
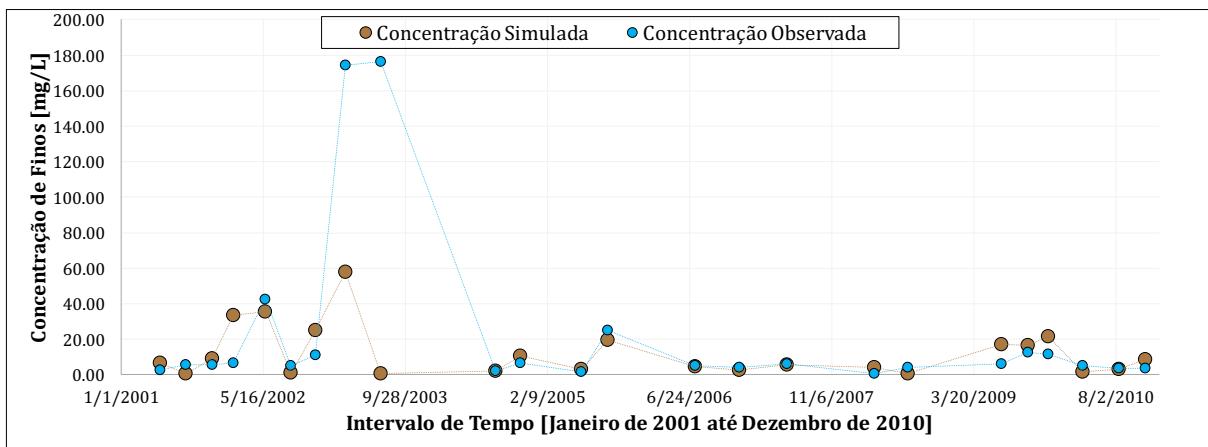


Figura 21. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barra do Guaiaveira (86410000).

À exceção dos valores de correlação das concentrações de sedimentos e correlação de descarga sólida, que apresentaram valores de r de aproximadamente 0,204 e 0,527, respectivamente após a calibração, todas as outras métricas apresentaram desempenho satisfatório. Destaca-se o valor de PBIAS da concentração e descarga sólida, 44,85% e -3,90%, respectivamente.

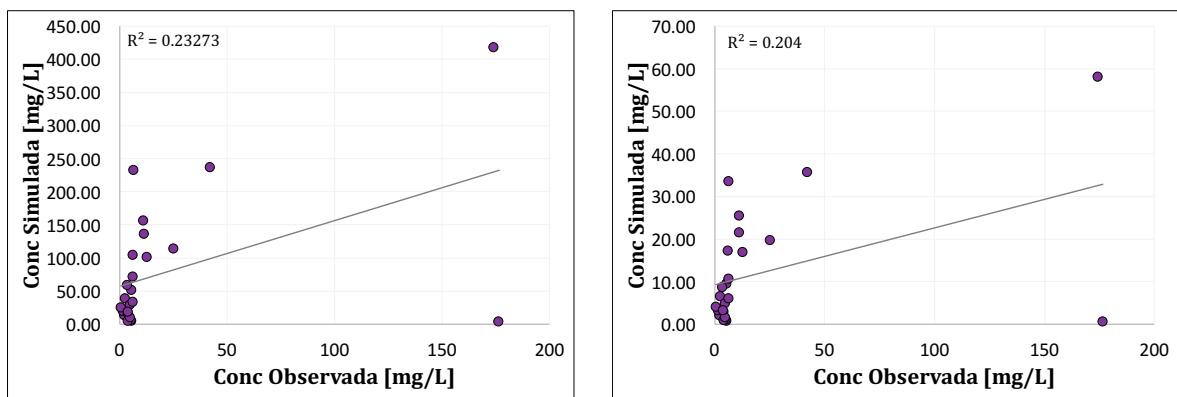


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 22. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Barra do Guaiaveira (86410000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

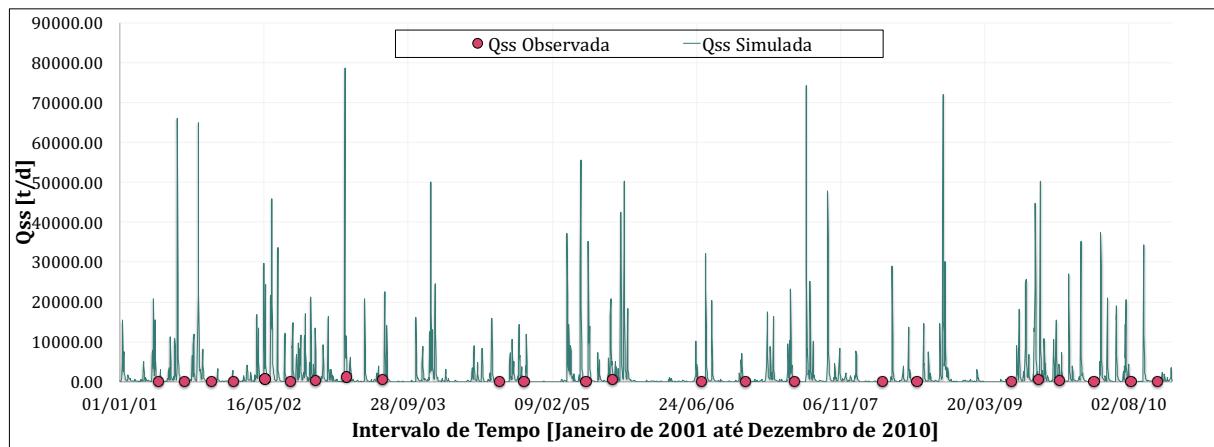
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 23. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).

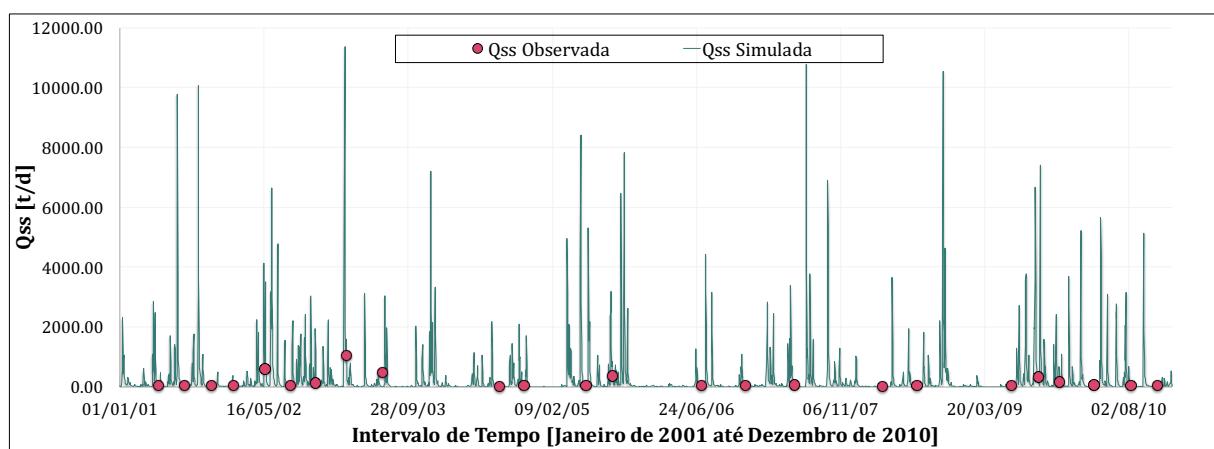
Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 11. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Barra Passo do Guaiaveira (86410000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
R^2	0,233	0,204
PBIAS (%)	-256,22	44,85
RSR	2,18	0,93

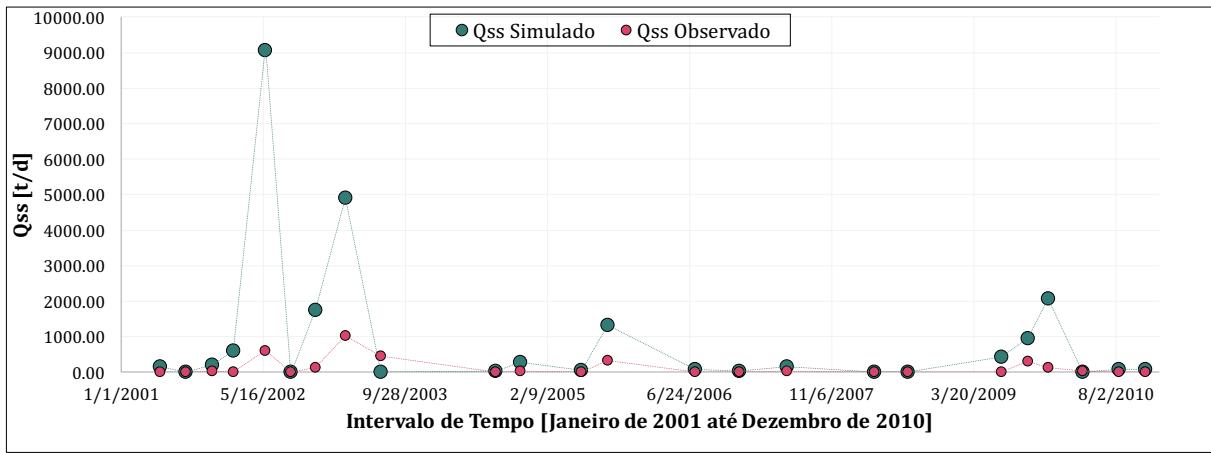


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

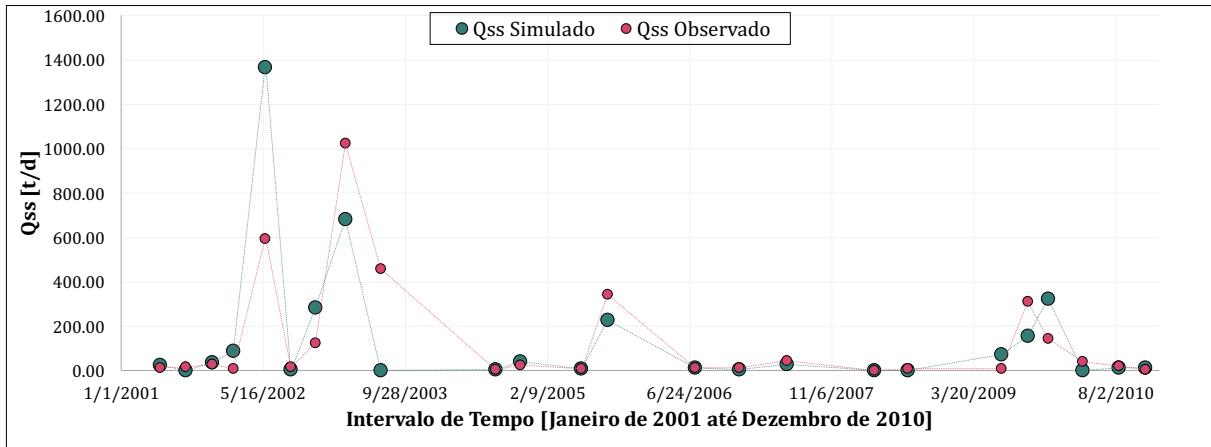


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 24. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).



(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 25. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).

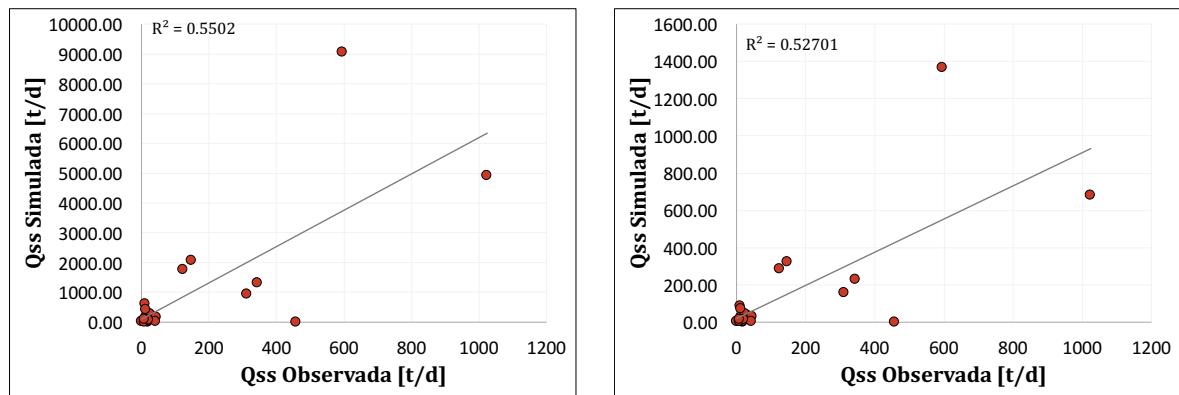


Figura 26. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Barra Passo do Guaiaveira (86410000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 12. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Barra Passo do Guaiaveira (86410000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
R ²	0,550	0,527
NSE	-66,33	0,28
NSE LOG	-0,62	0,13
PBIAS (%)	-580,34	-3,90
RSR	8,21	0,85

5.1.1.3 Estação fluviométrica Ponte do Rio das Antas (86470000)

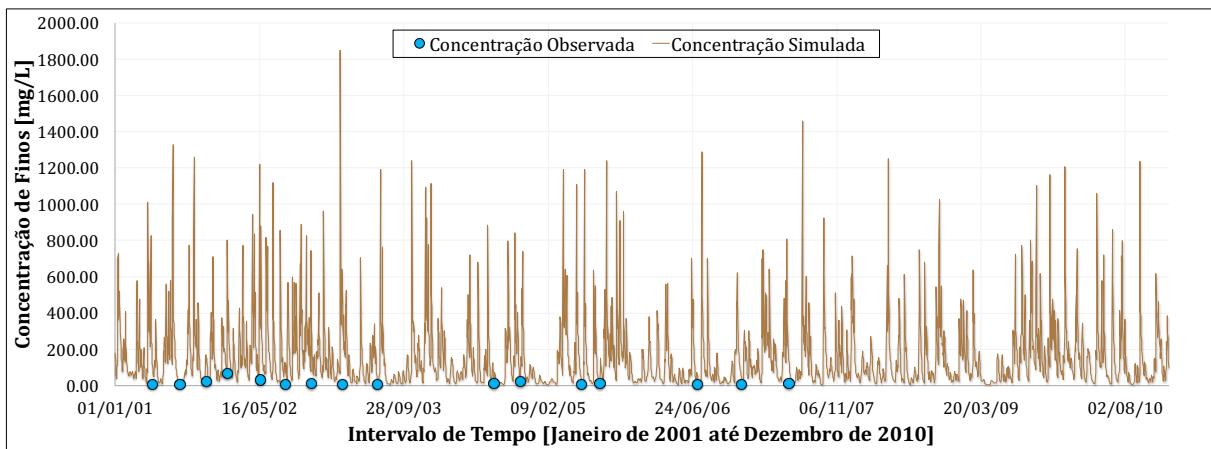
A Tabela 13 apresenta os valores definidos para a calibração da estação Ponte do Rio das Antas. Como pode ser observado pelas Figuras 27, 28, 30 e 31, após a calibração houve uma melhoria significativa da estimativa de concentração de sedimentos pelo modelo. Contudo, a correlação entre os dados simulados e observados, tanto para os valores de concentração, como para os valores de descarga sólida, diminuiu (Figura 29 e Figura 32). Isso pois, ao alterar os parâmetros estabelecidos, a redução ou aumento de sedimentos não ocorre apenas de forma proporcional, podendo alterar, mesmo que suavemente, os picos e os vales dos gráficos.

Ao analisar a Tabela 14 e a Tabela 15, notamos pelas métricas que a calibração do modelo não ficou muito satisfatório, apesar de melhor em comparação com o modelo sem calibração. No entanto, optou-se por manter essa calibração, uma vez que a presente estação se encontra dentro da sub-bacia 10, na qual estão inseridas, ao todo, quatro estações fluviométricas. Dessa forma, como a calibração é feita ao alterar os parâmetros para a sub-bacia inteira, foram utilizados valores que ficassem melhor para todas as estações.

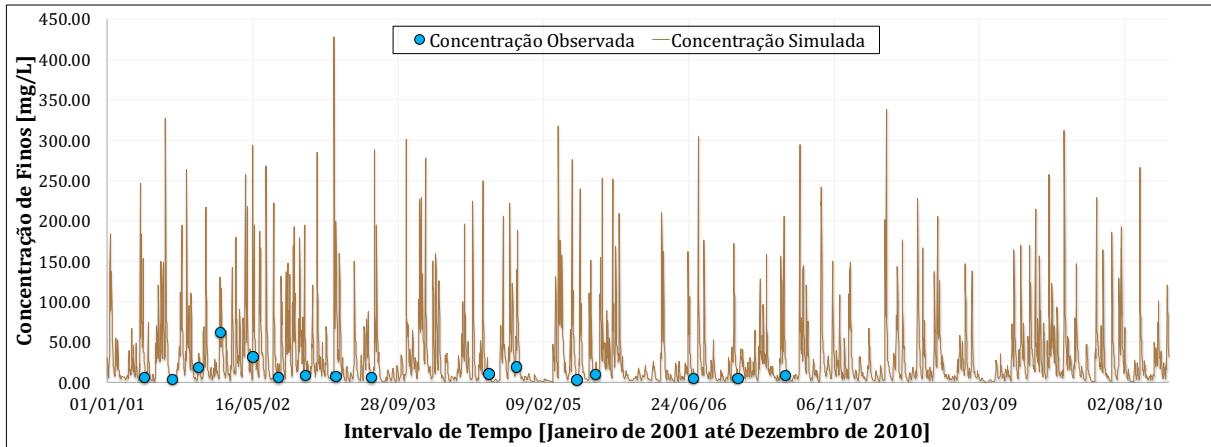
Um dos maiores fatores que pode ter contribuído para a geração em excesso de sedimentos nessa estação é devido à estimativa das quantidades de areia, silte e argila para cada tipo de URH da bacia. A maior parte da sub-bacia é composta por solos profundos, entre eles argissolo, chernossolo e nitossolo. Contudo, não é possível estimar de forma representativa um valor único dos parâmetros para solos profundos, uma vez que eles são divididos em três tipos de solo que possuem texturas diferentes entre si.

Tabela 13. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	55,00	9,00	36,00	2,60	0,00015
Floresta solo profundo	39,00	12,50	48,50	3,00	0,00250
Agricultura solo raso	53,00	8,00	39,00	1,80	0,00300
Agricultura solo profundo	40,00	13,00	47,00	2,20	0,00600
Campo solo raso	61,00	8,00	31,00	1,20	0,00400
Campo solo profundo	55,50	8,50	36,00	1,20	0,03500
Várzea	49,00	15,00	36,00	3,00	0,00300
Área semi-impermeável	49,00	15,00	36,00	0,80	0,00100

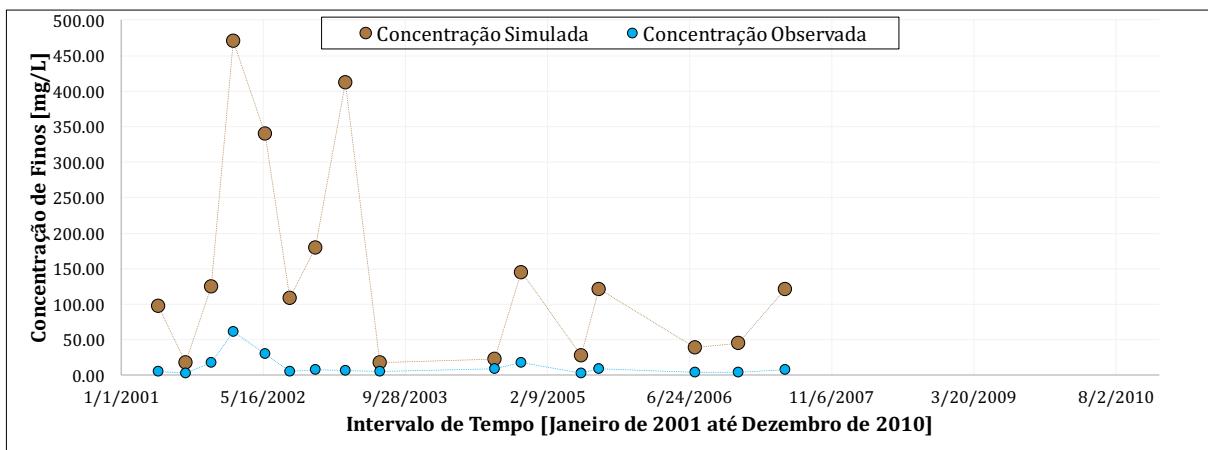


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

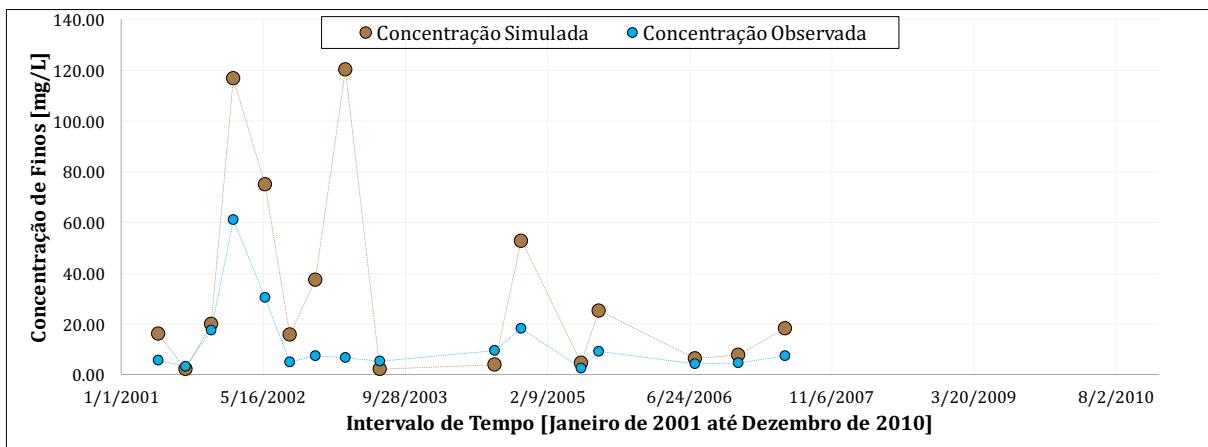


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 27. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).

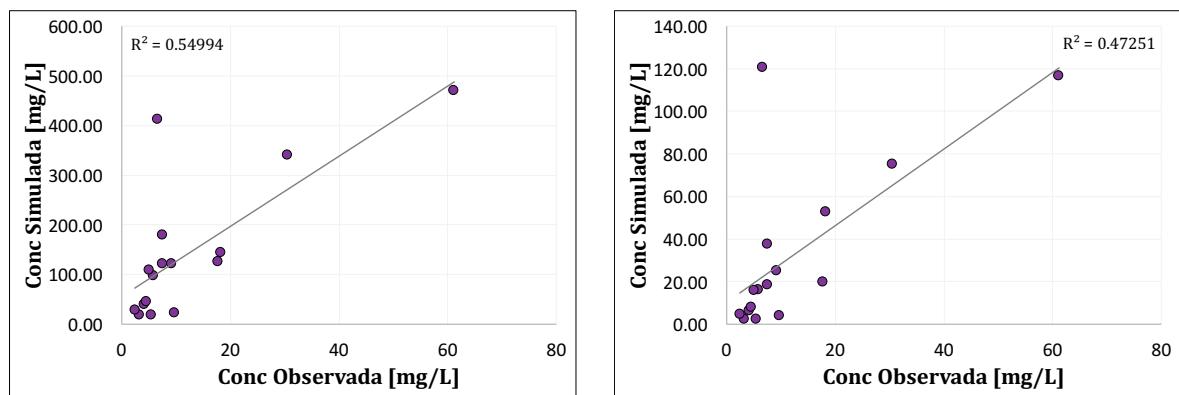


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 28. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

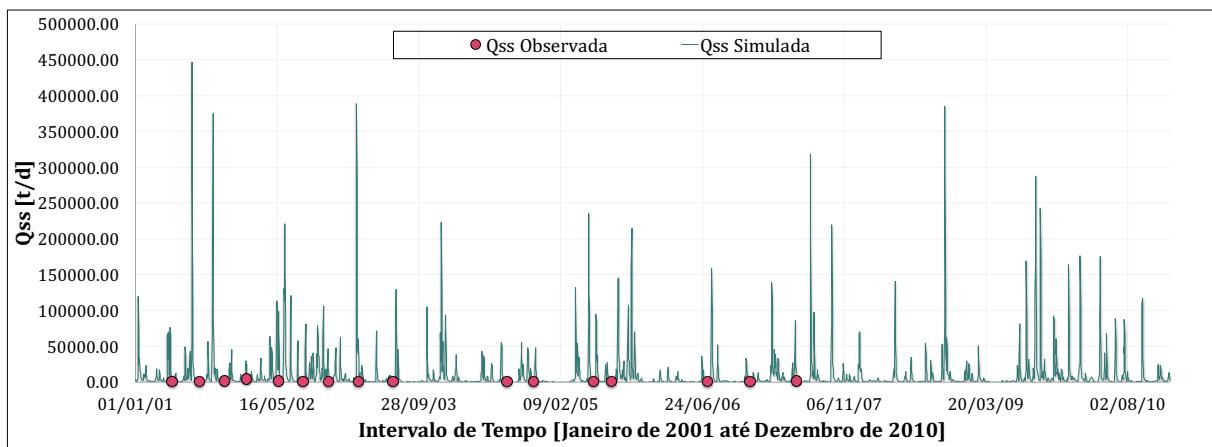
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 29. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).

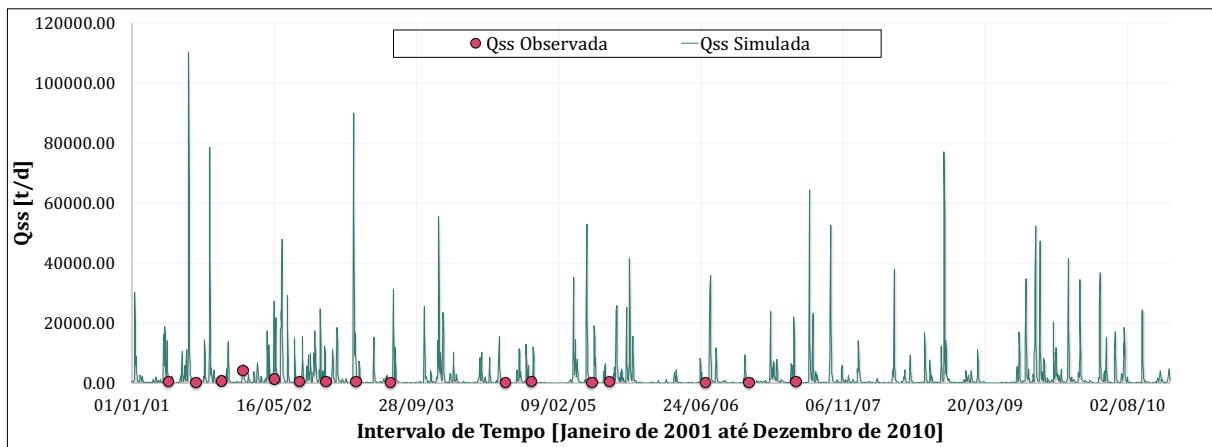
Tabela 14. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Ponte do Rio das Antas (86470000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,550	0,473
PBIAS (%)	-1049,53	-163,55
RSR	12,67	2,50

A correlação do modelo hidrológico é de aproximadamente 0,743, o que justifica os valores altos de correlação entre as concentrações simuladas e observadas e entre as descargas sólidas simuladas e observadas. Os valores negativos e elevados de PBIAS corroboram com a Figura 28b e a Figura 31b, que demonstra o excesso de sedimentos gerado pelo modelo para a calibração utilizada.

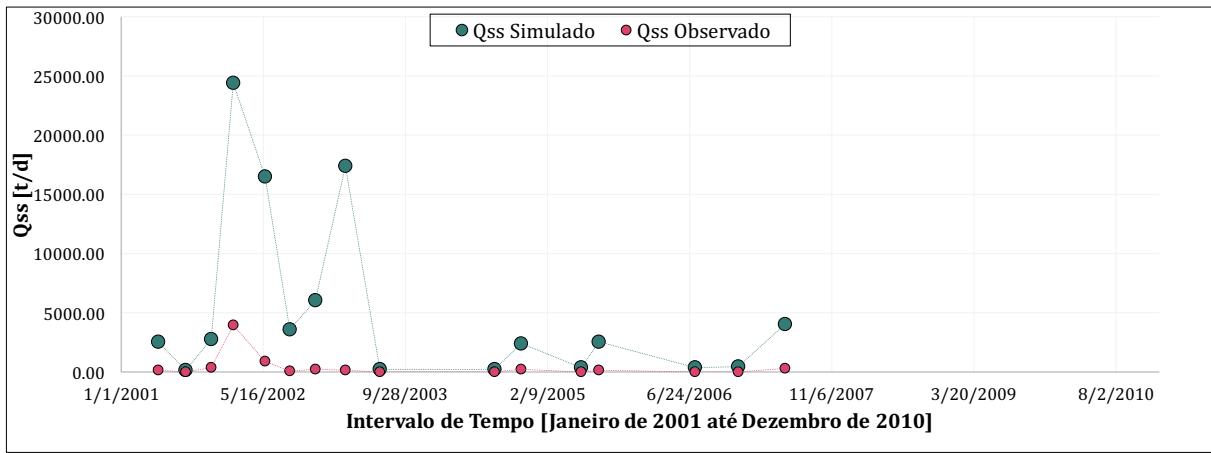


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

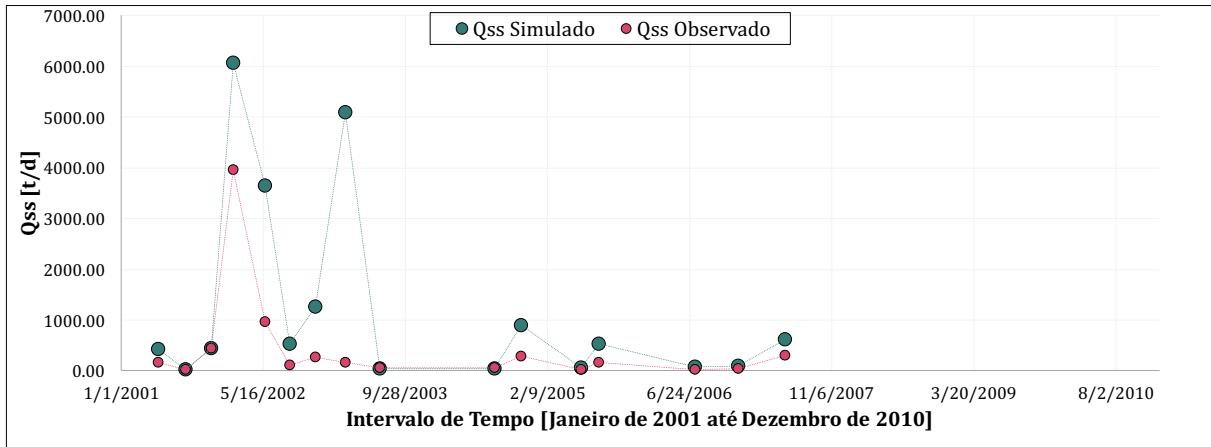


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 30. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).

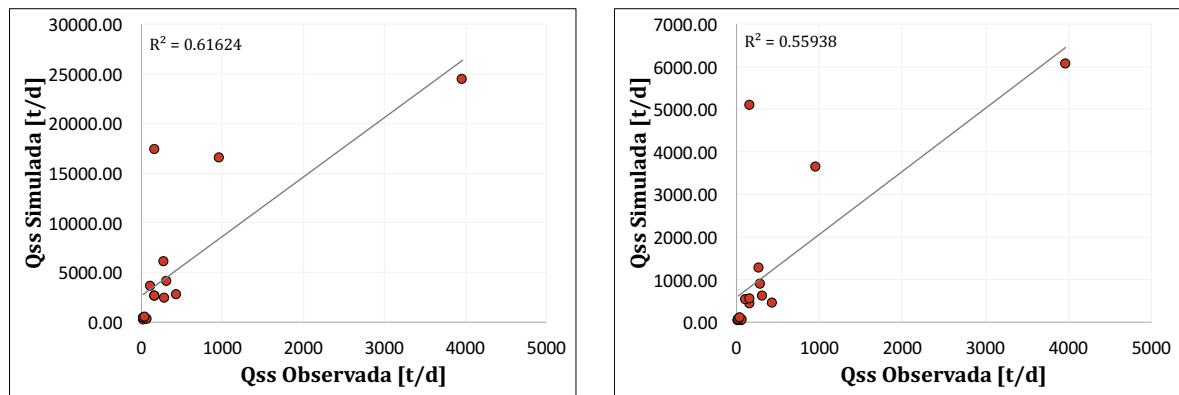


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 31. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 32. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Ponte do Rio das Antas (86470000).

Tabela 15. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Ponte do Rio das Antas (86470000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
<i>r</i>	0,616	0,559
NSE	-73,03	-1,68
NSE LOG	-2,96	0,14
PBIAS (%)	-1094,44	-180,12
RSR	8,60	1,46

5.1.1.4 Estação fluviométrica Passo Carreiro (86500000)

A estação Passo Carreiro está localizada na sub-bacia 10. A seguir, é apresentada a Tabela 16 com os valores utilizados para realizar a calibração da sub-bacia.

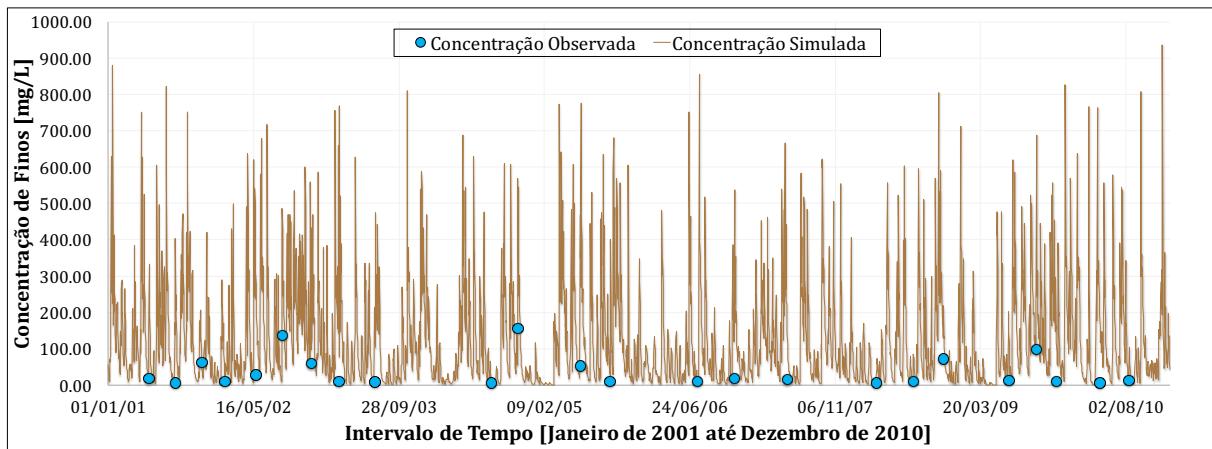
Tabela 16. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	55,00	9,00	36,00	2,60	0,00015
Floresta solo profundo	39,00	12,50	48,50	3,00	0,00250
Agricultura solo raso	53,00	8,00	39,00	1,80	0,00300
Agricultura solo profundo	40,00	13,00	47,00	2,20	0,00600
Campo solo raso	61,00	8,00	31,00	1,20	0,00400
Campo solo profundo	55,50	8,50	36,00	1,20	0,03500
Várzea	49,00	15,00	36,00	3,00	0,00300
Área semi-impermeável	49,00	15,00	36,00	0,80	0,00100

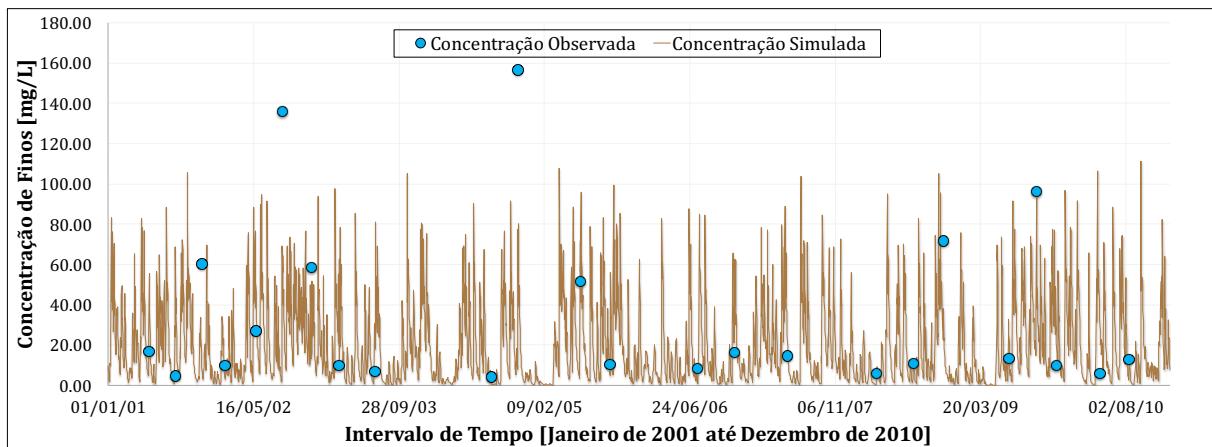
Inicialmente, foram estimadas grandes quantidades de sedimentos, assim como ocorre principalmente para toda bacia dos rios Taquari-Antas. Após a calibração, pode-se notar uma melhora nas estimativas previstas pelo modelo (Figura 33, Figura 34, Figura 36 e Figura 37), pois houve a diminuição das quantidades totais de sedimentos suspensos no rio e da descarga sólida de sedimentos no trecho.

Para a maioria dos dados observados, nota-se que há uma relação entre eles, principalmente na Figura 34b e na Figura 37b, onde os pontos de pico e de vale são coincidentes. Além disso, pode-se observar a melhoria da correlação entre as concentrações de

sedimentos e de descarga sólida, após a calibração, passando de 0,166 para 0,185 e de 0,192 para 0,227, respectivamente (Figura 35 e Figura 38).



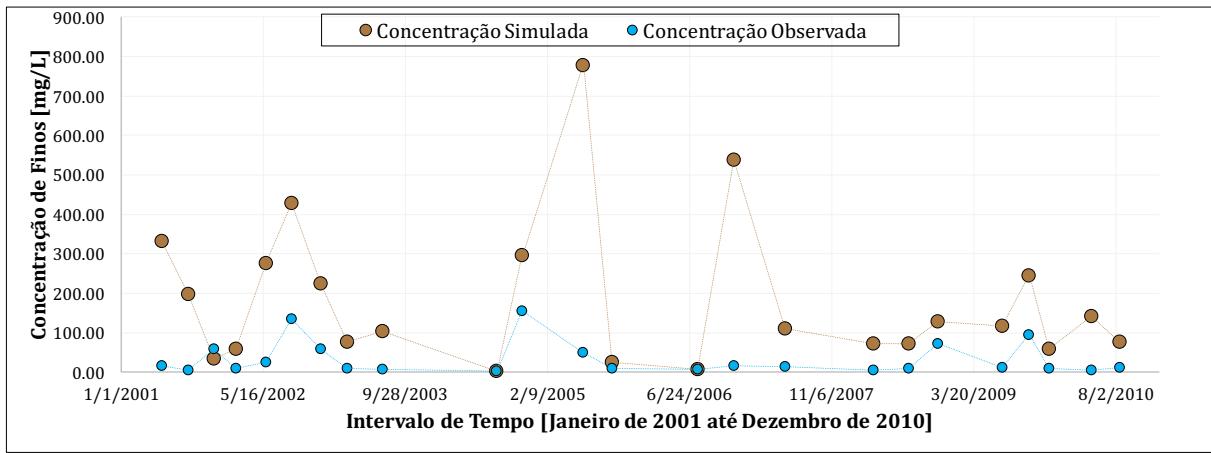
(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



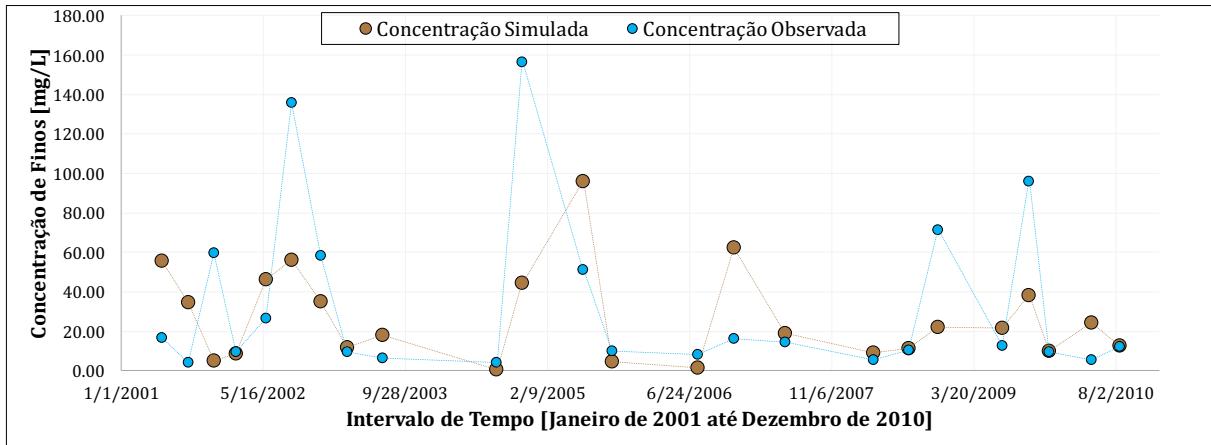
(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 33. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).

Não apenas os valores de correlação melhoraram após a calibração, mas também os valores de PBIAS, que passaram de -443,37% para 20,00% (concentração de sedimentos finos) e de -722,98% para -10,80% (descarga sólida de sedimentos). Ainda, o valor de NSE LOG passou de -0,33 para 0,63, demonstrando que há uma melhor calibração para os valores de descarga sólida mais baixos. O desempenho do coeficiente NSE apresentou o valor -0,45, corroborando com o fato da calibração não ser tão satisfatória para valores de descarga sólida maiores.

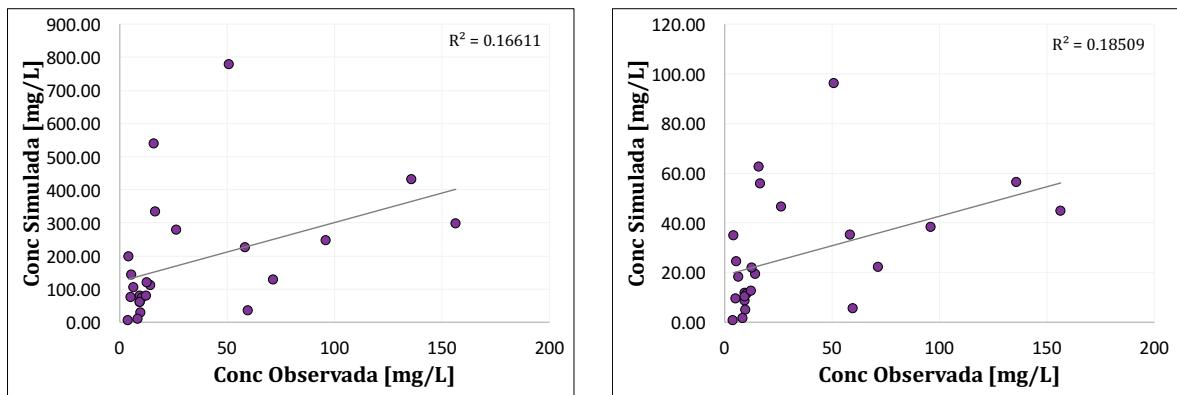


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 34. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

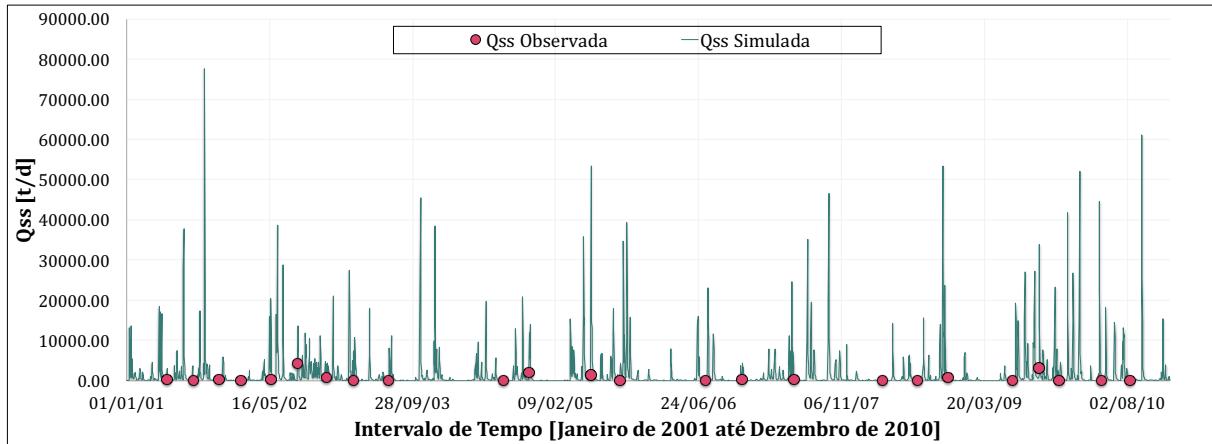
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 35. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).

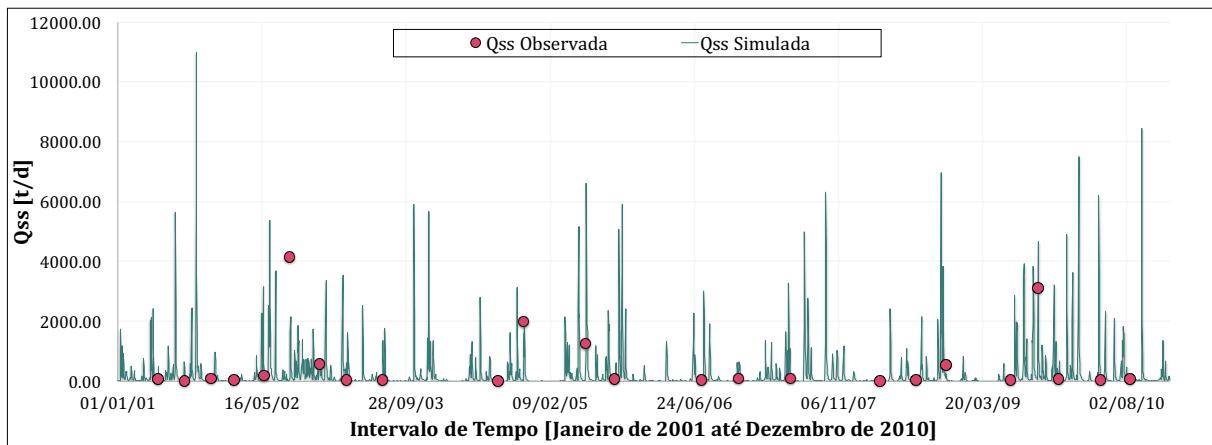
Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 17. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo Carreiro (86500000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,166	0,185
PBIAS (%)	-443,37	20,00
RSR	5,42	0,93

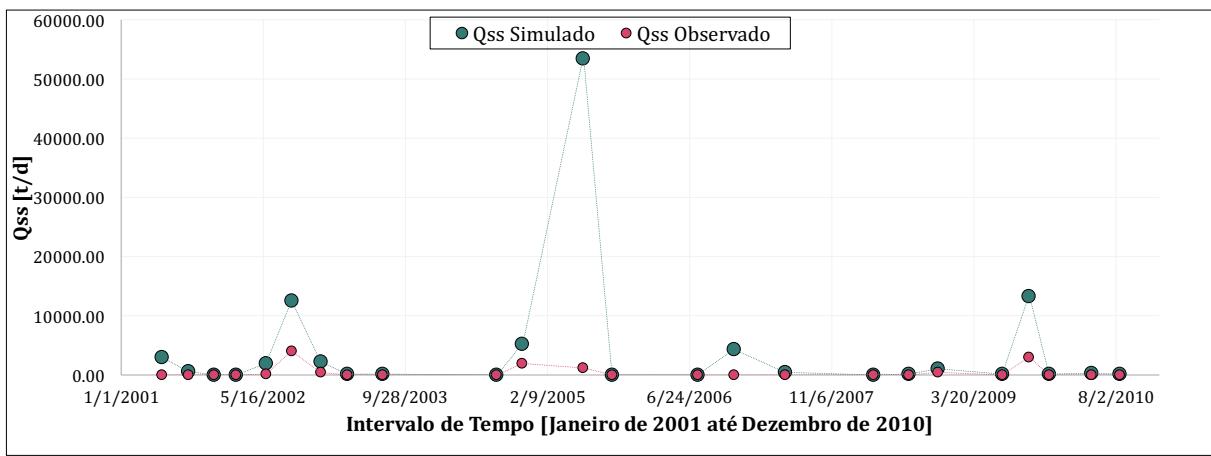


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

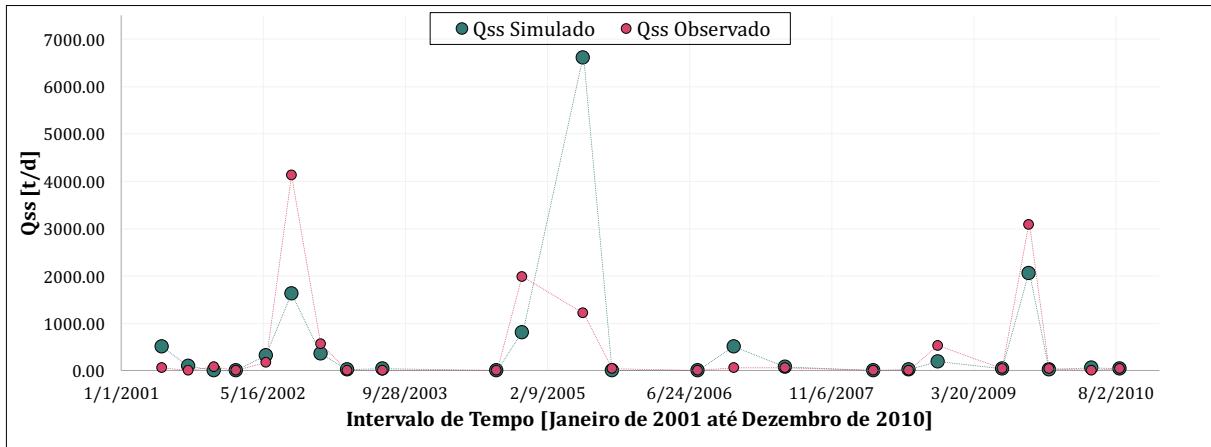


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 36. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).

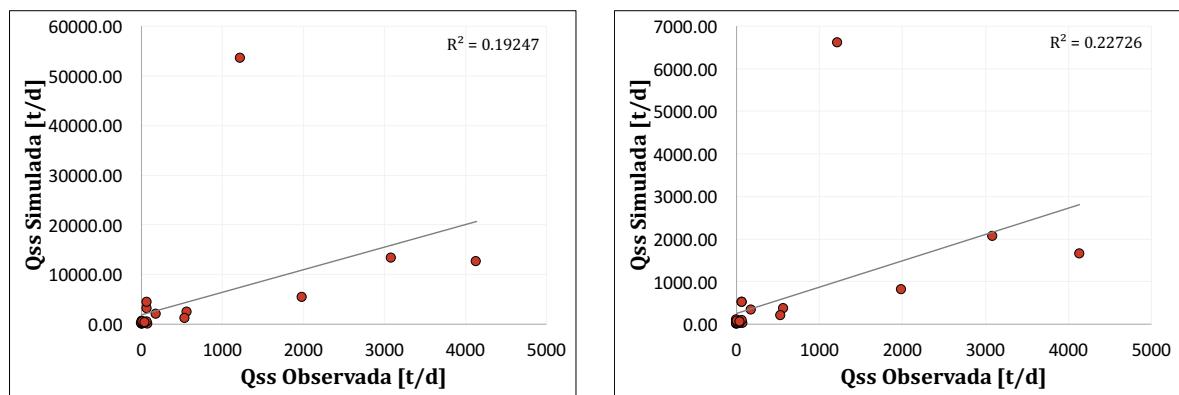


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 37. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 38. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo Carreiro (86500000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 18. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo Carreiro (86500000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
<i>r</i>	0,192	0,227
NSE	-110,59	-0,45
NSE LOG	-0,33	0,63
PBIAS (%)	-722,98	-10,80
RSR	10,56	1,20

5.1.1.5 Estação fluviométrica Linha Colombo (86560000)

A estação Linha Colombo está inserida na sub-bacia 10, do modelo MGB-SED. A Tabela 19 apresenta os valores utilizados para realizar a calibração da bacia.

Como foi exposto anteriormente, a maior dificuldade de calibração dessa sub-bacia foi devido ao fato de haver quatro estações distribuídas ao longo da área e, ainda, a dificuldade de estimar as quantidades de areia, silte e argila de forma mais representativa. Contudo, mesmo com as dificuldades apresentadas, pode-se encontrar bom desempenho para as métricas utilizadas.

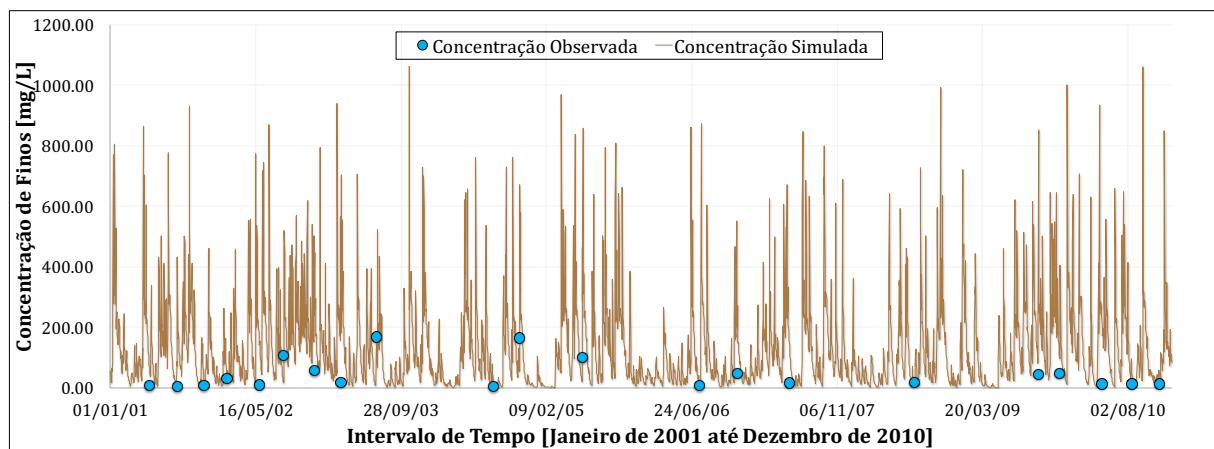
Tabela 19. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	55,00	9,00	36,00	2,60	0,00015
Floresta solo profundo	39,00	12,50	48,50	3,00	0,00250
Agricultura solo raso	53,00	8,00	39,00	1,80	0,00300
Agricultura solo profundo	40,00	13,00	47,00	2,20	0,00600
Campo solo raso	61,00	8,00	31,00	1,20	0,00400
Campo solo profundo	55,50	8,50	36,00	1,20	0,03500
Várzea	49,00	15,00	36,00	3,00	0,00300
Área semi-impermeável	49,00	15,00	36,00	0,80	0,00100

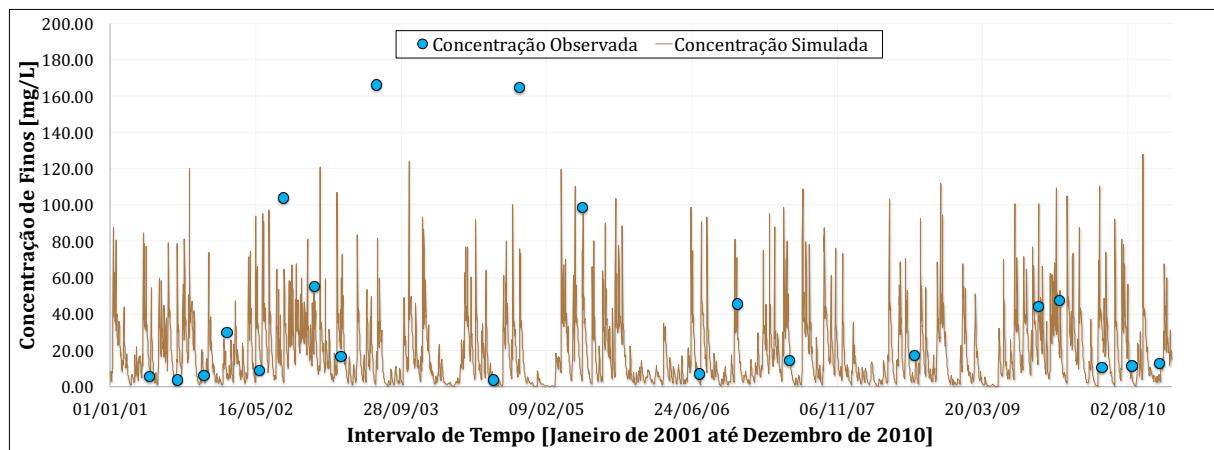
Os valores de concentração de sedimentos foram reduzidos após a calibração e o modelo foi capaz de manter a mesma proporção de vales e picos do gráfico. Na Figura 40, há um ponto em julho de 2003, onde foi observada uma concentração bem elevada de sedimentos finos, no

entanto o modelo não foi capaz de estimar esse pico, nem antes e nem depois da calibração. Mesmo apresentando essa incoerência, os valores de correlação para concentração de sedimentos suspensos (Figura 41), bem como a correlação das descargas sólidas (Figura 44), foram satisfatórios, reduzindo um pouco seu valor após a calibração, principalmente para a descarga sólida.

Apesar de haver essa diminuição na análise da correlação, ainda assim é possível notar pela Figura 40, e principalmente pela Figura 43, que houve uma melhoria nas estimativas após a calibração. Além disso, a Tabela 20 e a Tabela 21 apresentam as métricas antes e após a calibração, onde se pode destacar os valores de PBIAS, que passaram de -307,86 para 47,00 para valores de concentração de sedimentos finos, e de -498,63 para 20,94 para valores de descarga sólida.

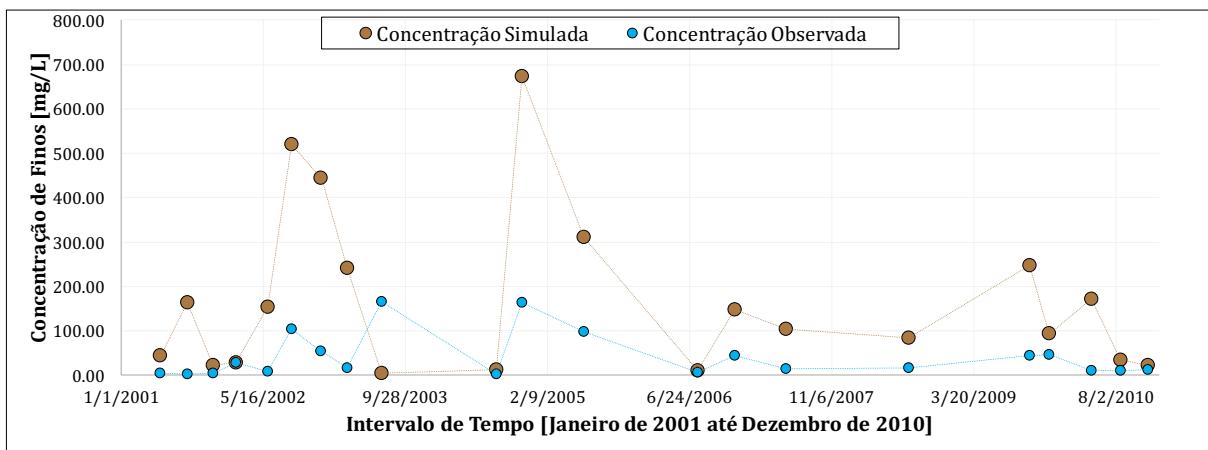


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

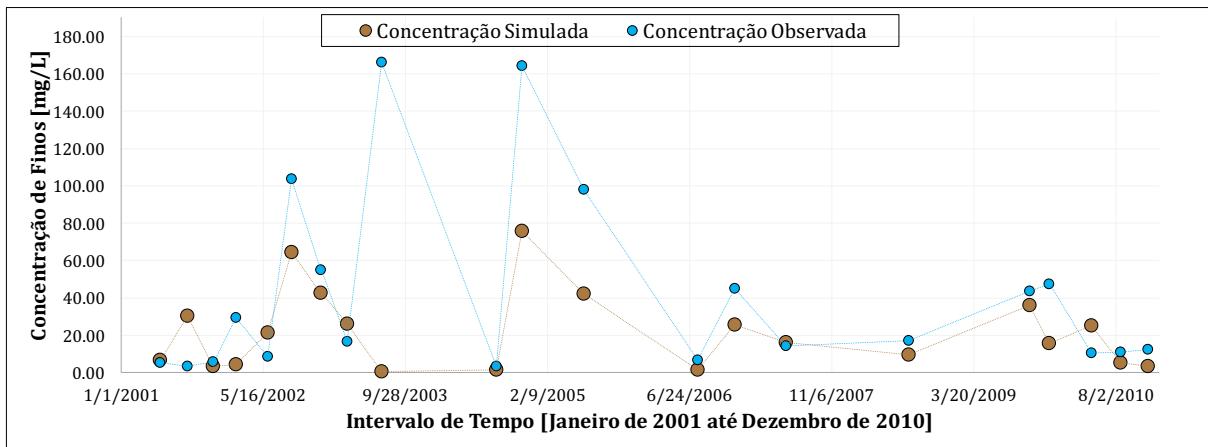


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 39. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Linha Colombo (86560000).

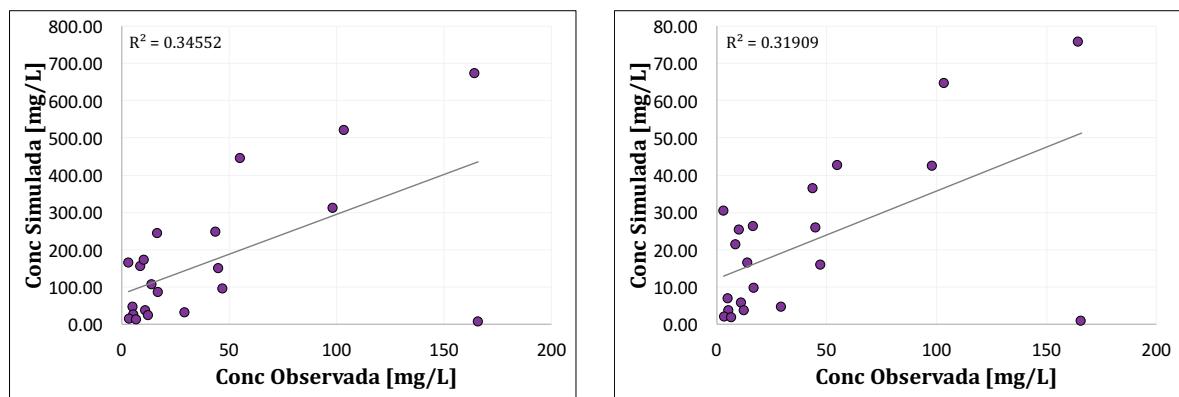


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 40. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluirométrico Linha Colombo (86560000).



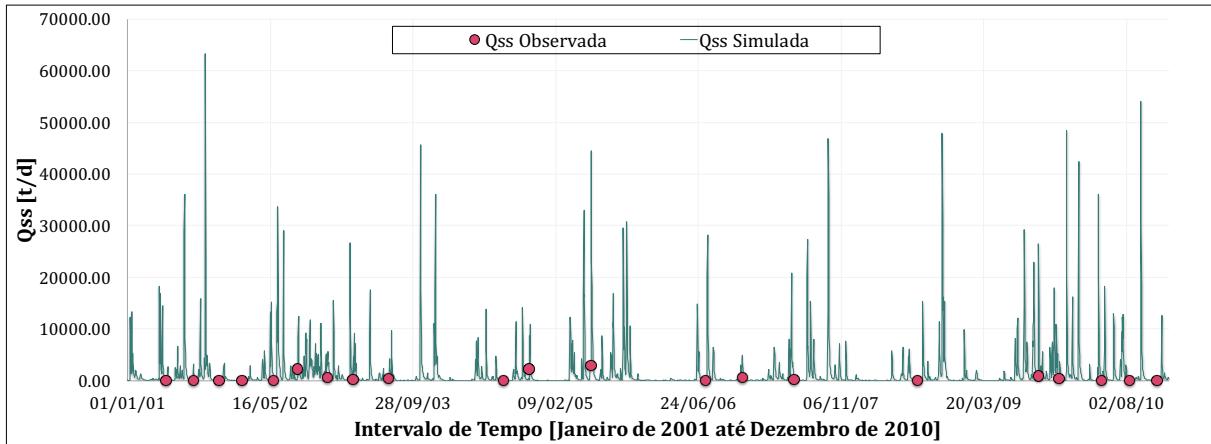
(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

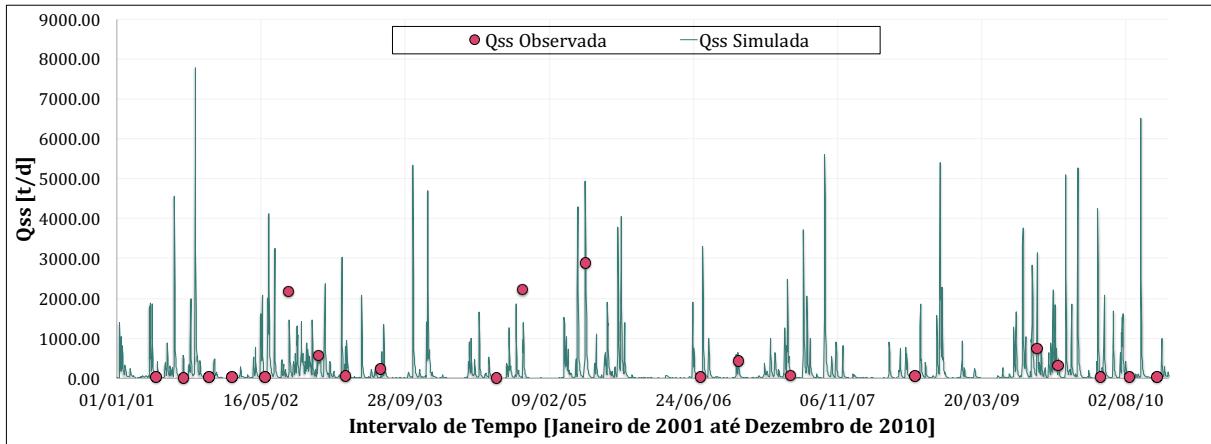
Figura 41. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluirométrico Linha Colombo (86560000).

Tabela 20. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Linha Colombo (86560000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,346	0,319
PBIAS (%)	-307,86	47,00
RSR	4,10	0,93



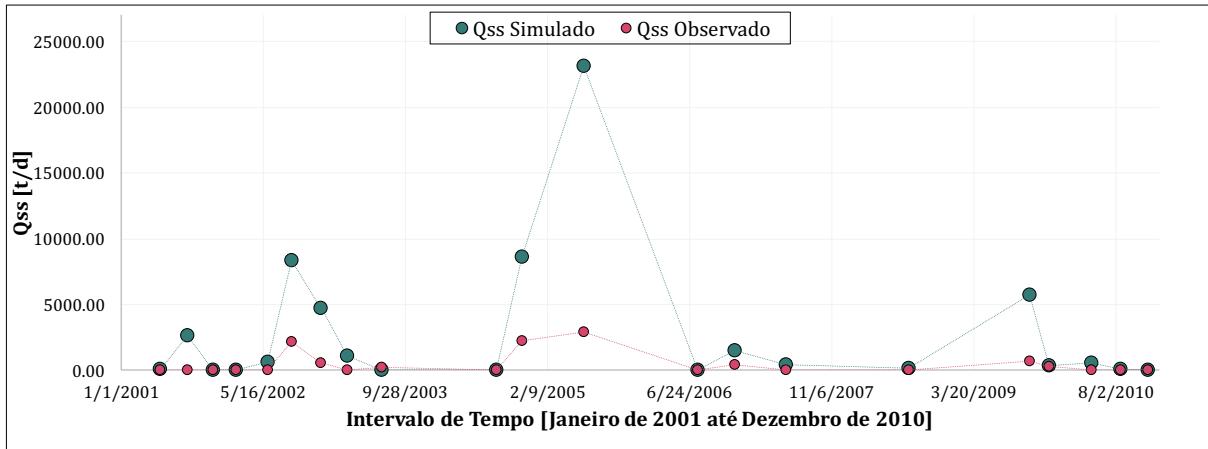
(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



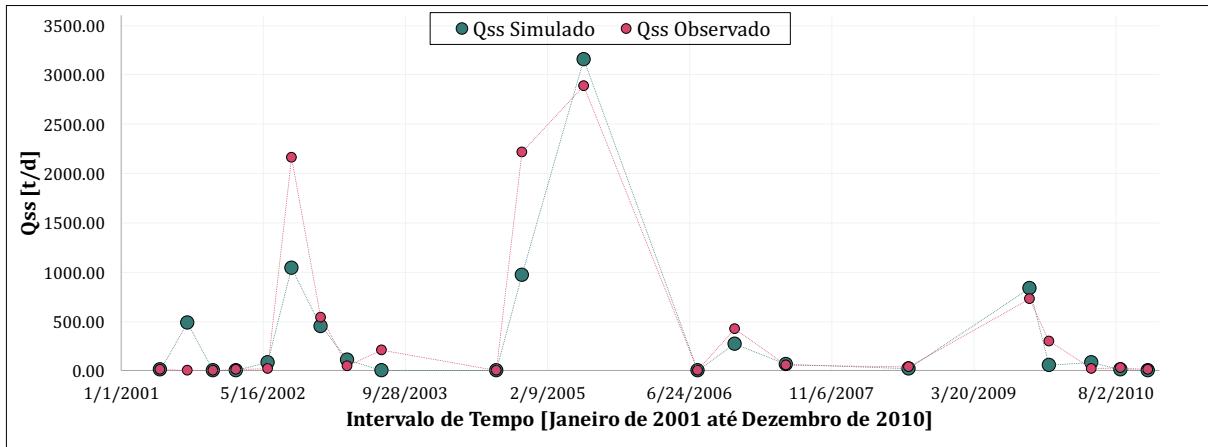
(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 42. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Linha Colombo (86560000).

Os resultados obtidos para os valores de NSE e NSE LOG foram muito bons, após a calibração, chegando ao valor de 0,77 e 0,36, respectivamente. Isto significa que a calibração realizada faz uma boa estimativa para descarga sólida, inclusive e principalmente, para os valores de descarga máxima de sedimentos finos (Figura 43b).

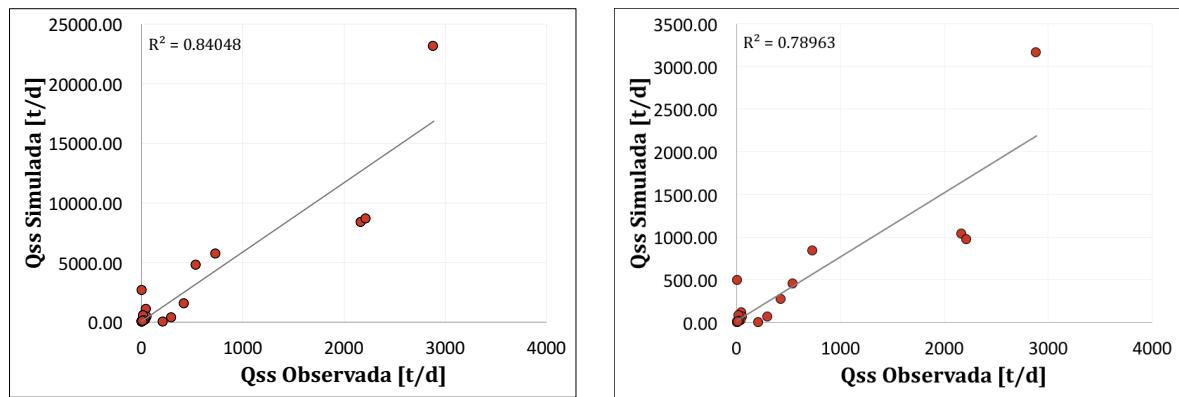


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 43. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Linha Colombo (86560000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 44. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Linha Colombo (86560000).

Tabela 21. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Linha Colombo (86560000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
<i>r</i>	0,840	0,790
NSE	-36,29	0,77
NSE LOG	-0,32	0,36
PBIAS (%)	-498,63	20,94
RSR	6,11	0,48

5.1.1.6 Estação fluviométrica Muçum (86510000)

A estação Muçum se localiza na região mais a montante da sub-bacia do Rio Taquari-Antas e faz parte da sub-bacia 10 de calibração do modelo. Os valores utilizados na calibração se encontram na Tabela 22.

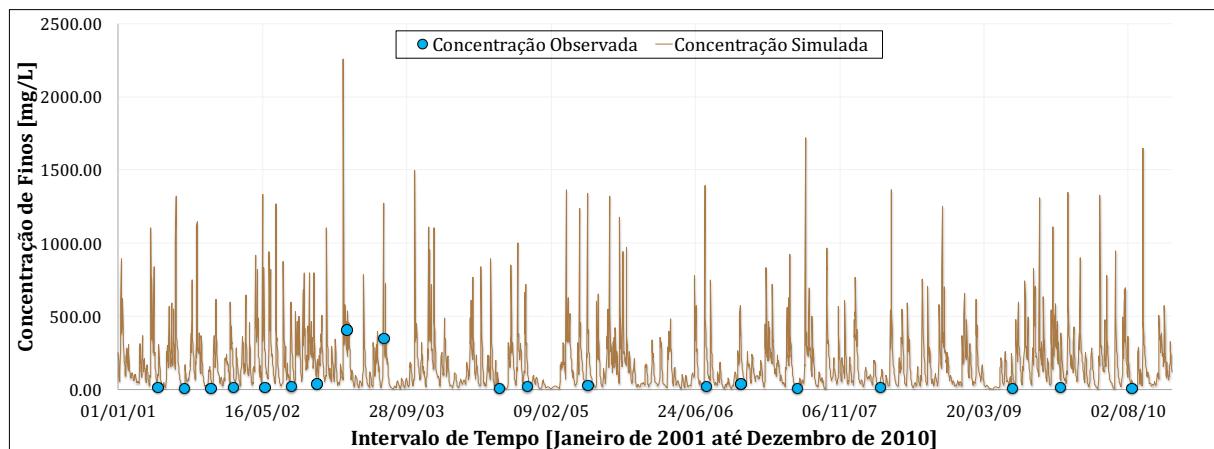
Tabela 22. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 10.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	55,00	9,00	36,00	2,60	0,00015
Floresta solo profundo	39,00	12,50	48,50	3,00	0,00250
Agricultura solo raso	53,00	8,00	39,00	1,80	0,00300
Agricultura solo profundo	40,00	13,00	47,00	2,20	0,00600
Campo solo raso	61,00	8,00	31,00	1,20	0,00400
Campo solo profundo	55,50	8,50	36,00	1,20	0,03500
Várzea	49,00	15,00	36,00	3,00	0,00300
Área semi-impermeável	49,00	15,00	36,00	0,80	0,00100

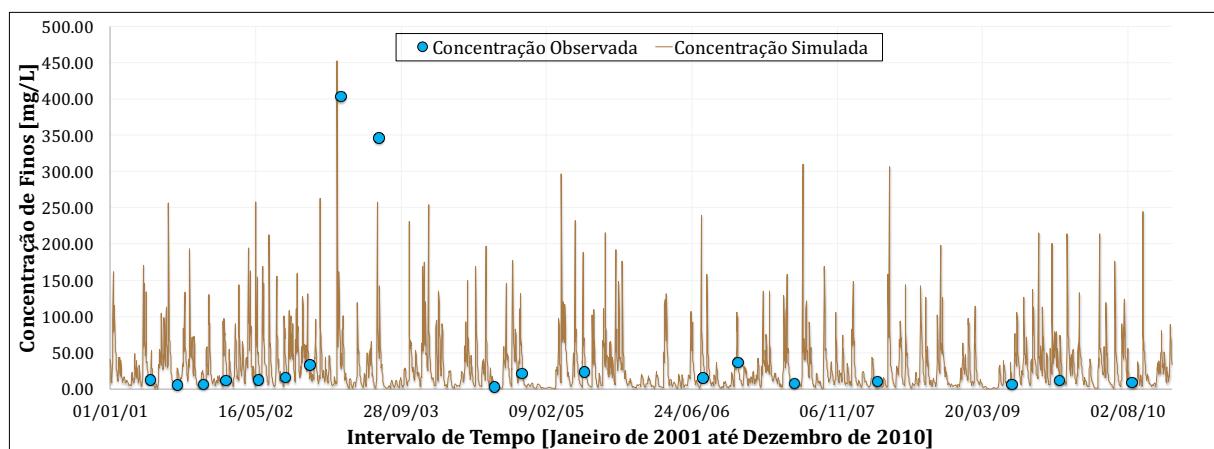
Para a presente estação, apesar do valor de correlação para o modelo hidrológico ter apresentando um ótimo resultado (0,887), a correlação após a calibração piorou para os valores de concentração de sedimentos, que passou de 0,499 para 0,305, e de descarga sólida, que passou de 0,289 para 0,165. Isso ocorreu, como pode ser observado nos gráficos apresentado a seguir, pois em março e julho de 2003 ocorrem dois picos de sedimentos observados, que não foram estimados pelo modelo. Apesar da vazão simulada de março de 2003 ser quase o dobro da vazão observada (aproximadamente 643 m³/s e 326 m³/s, respectivamente), o maior

problema é apresentado pelas estimativas de concentração de sedimentos no trecho do rio. A concentração simulada foi de aproximadamente 49 mg/L e 48 mg/L, respectivamente, para março e julho de 2003, enquanto a concentração observada foi de aproximadamente 403 mg/L e 345 mg/L. Para aumentar esses valores de concentração simulada, seria necessário aumentar as concentrações, causando uma incoerência em todos os outros pontos de dados observados.

Esses valores de picos observados podem ter sido causados por algum evento extremo que gerou grande erosão na bacia. No município de Estrela, localizado no Baixo Taquari, foi registrado em 09/07/2003, na réguia do Porto do município, a cota d'água de 19,65 m (SANTOS, 2011). O Sistema de Previsão e Alerta de Enchentes (SPAE) considera que a partir de 19 m de cota, o evento é considerado enchente (SALINI, 2011).

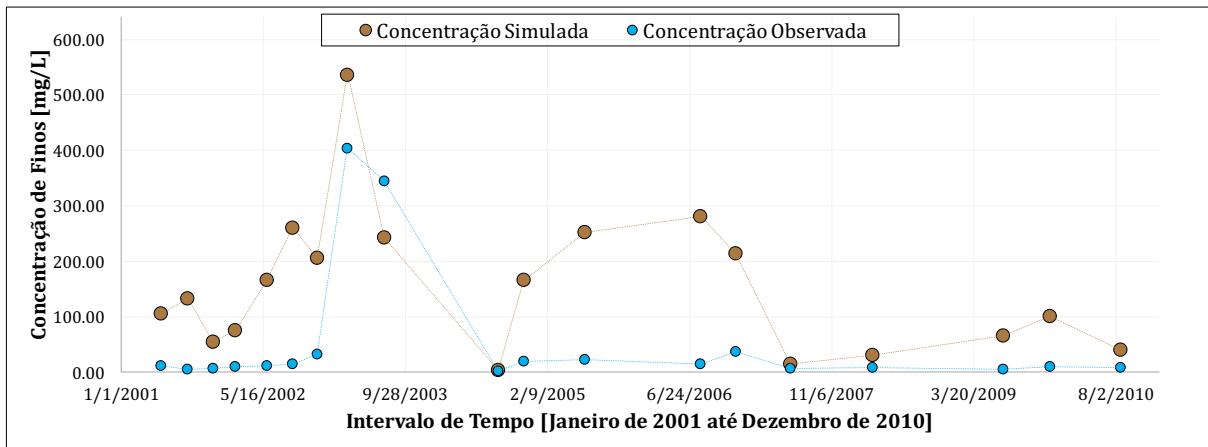


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

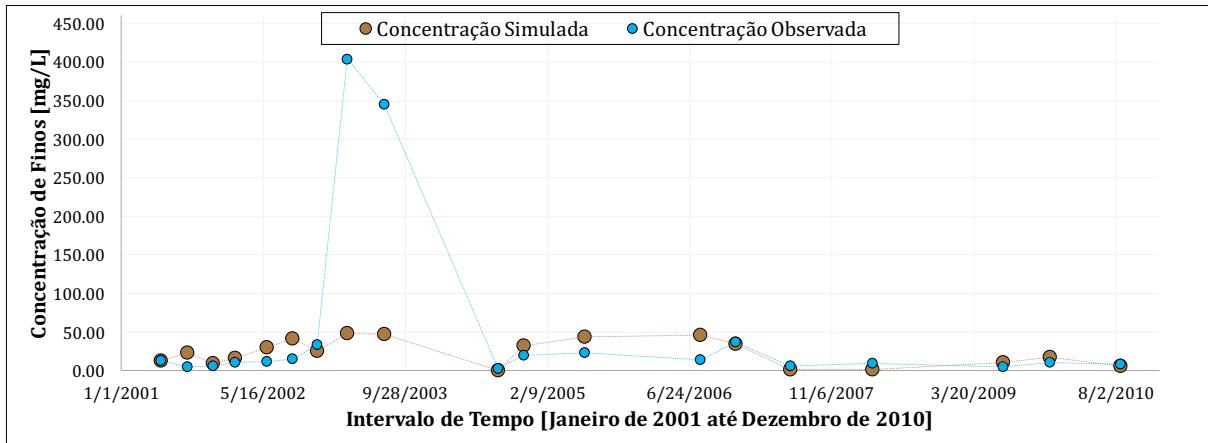


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 45. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Muçum (86510000).

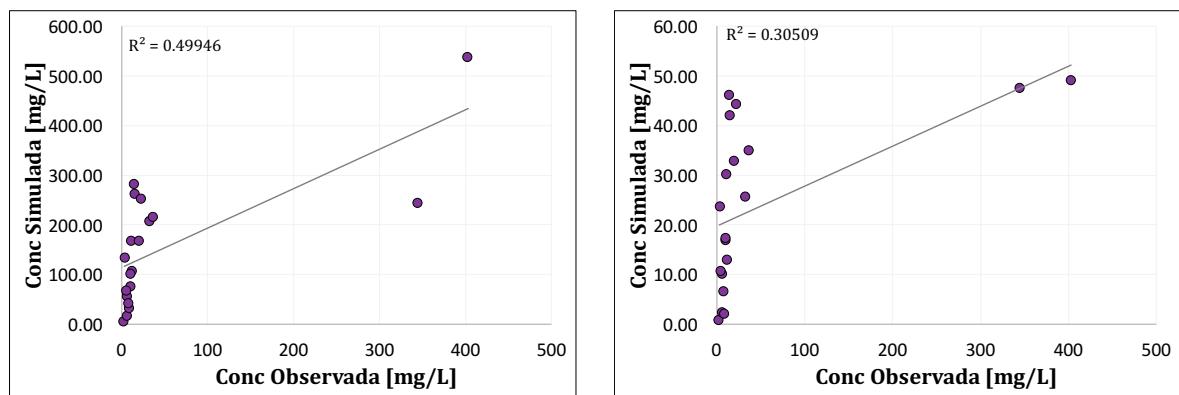


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 46. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Muçum (86510000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

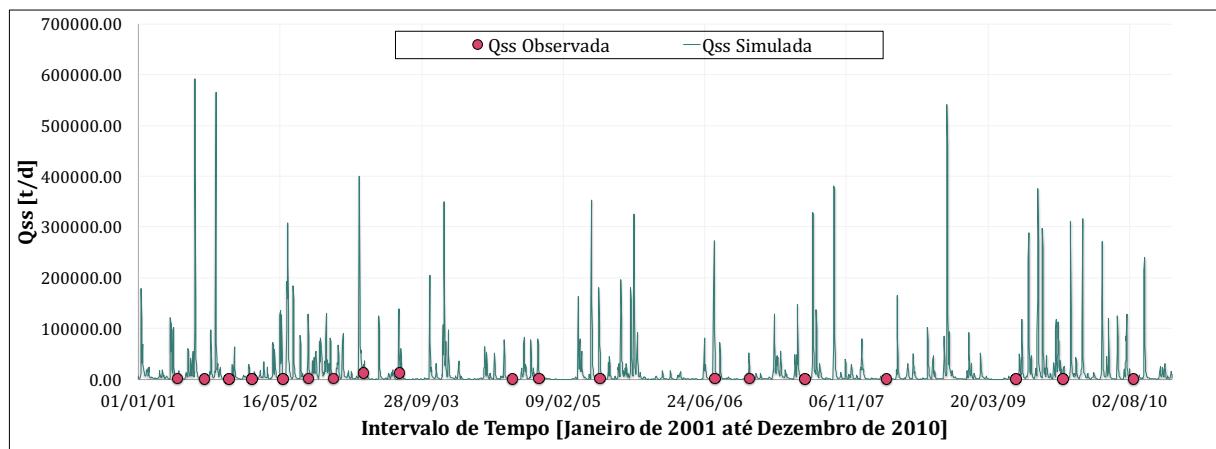
Figura 47. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Muçum (86510000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

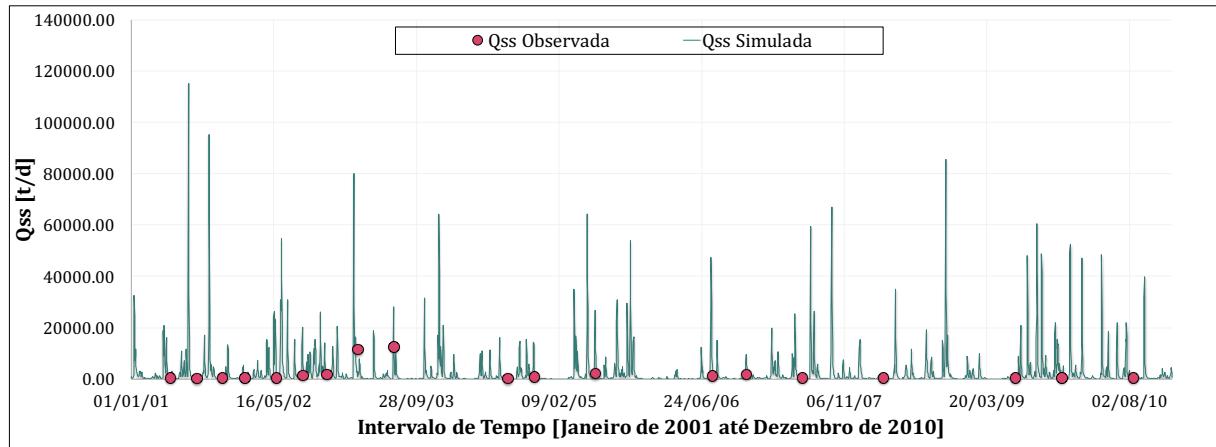
À exceção desses valores de pico de concentração, de forma geral, após a calibração, houve melhorias nas estimativas de sedimentos, tanto para os valores de concentração, quanto para os valores de descarga sólida. Como pode ser observado na Tabela 23, o PBIAS passou de -201,19% para 53,75%, para valores de concentração de sedimentos finos. O PBIAS, para a descarga sólida, passou de -361,63% para 29,39%.

Tabela 23. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Muçum (86510000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,499	0,305
PBIAS (%)	-201,19	53,75
RSR	1,24	0,96



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 48. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Muçum (86510000).

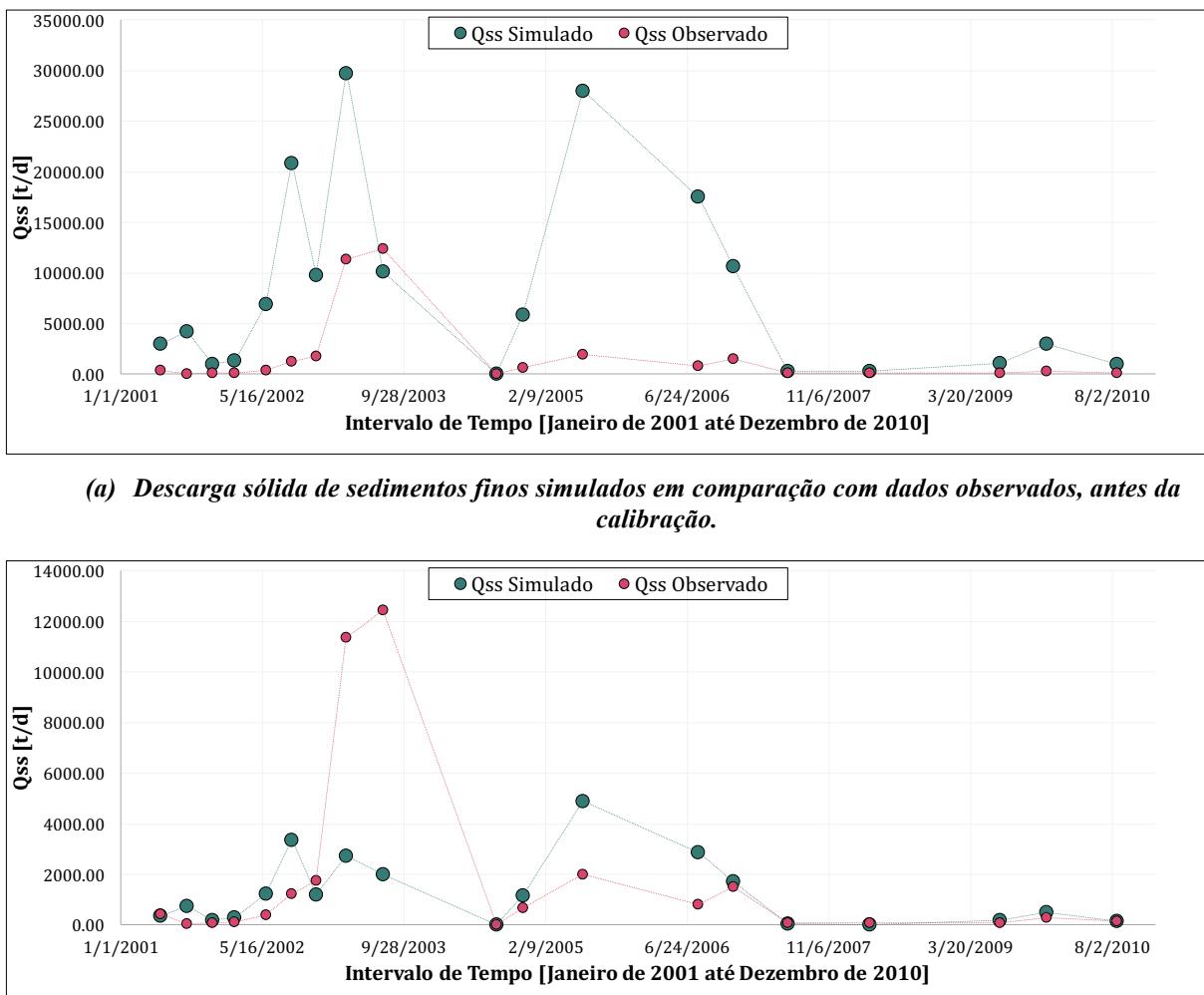


Figura 49. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Muçum (86510000).

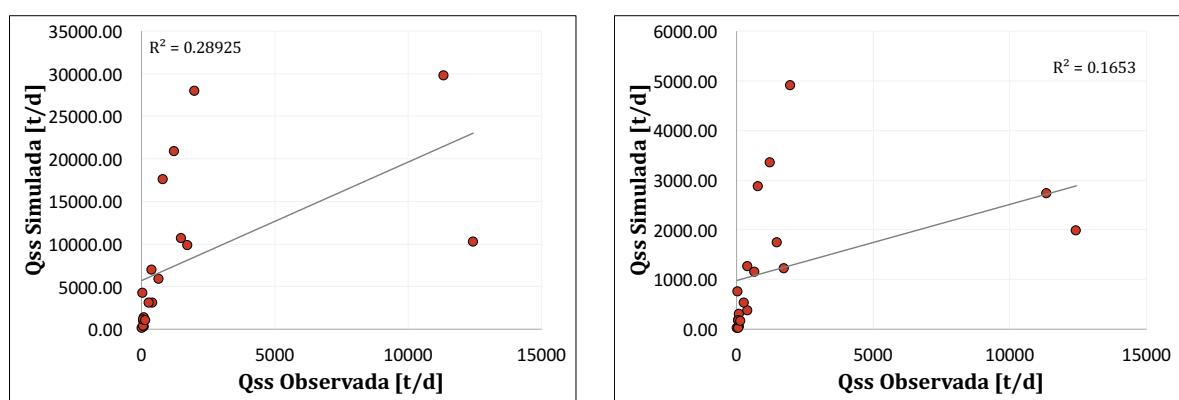


Figura 50. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Muçum (86510000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Cabe destacar, também, os valores do coeficiente de NSE e NSE LOG. Ambos apresentaram melhorias após a calibração. Os valores apresentados são 0,14 e 0,58, respectivamente, corroborando com os gráficos de calibração, que apresentaram melhorias para as descargas sólidas mais baixas, em detrimento das descargas máximas.

Tabela 24. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Muçum (86510000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,289	0,165
NSE	-7,19	0,14
NSE LOG	-0,79	0,58
PBIAS (%)	-361,83	29,39
RSR	2,86	0,93

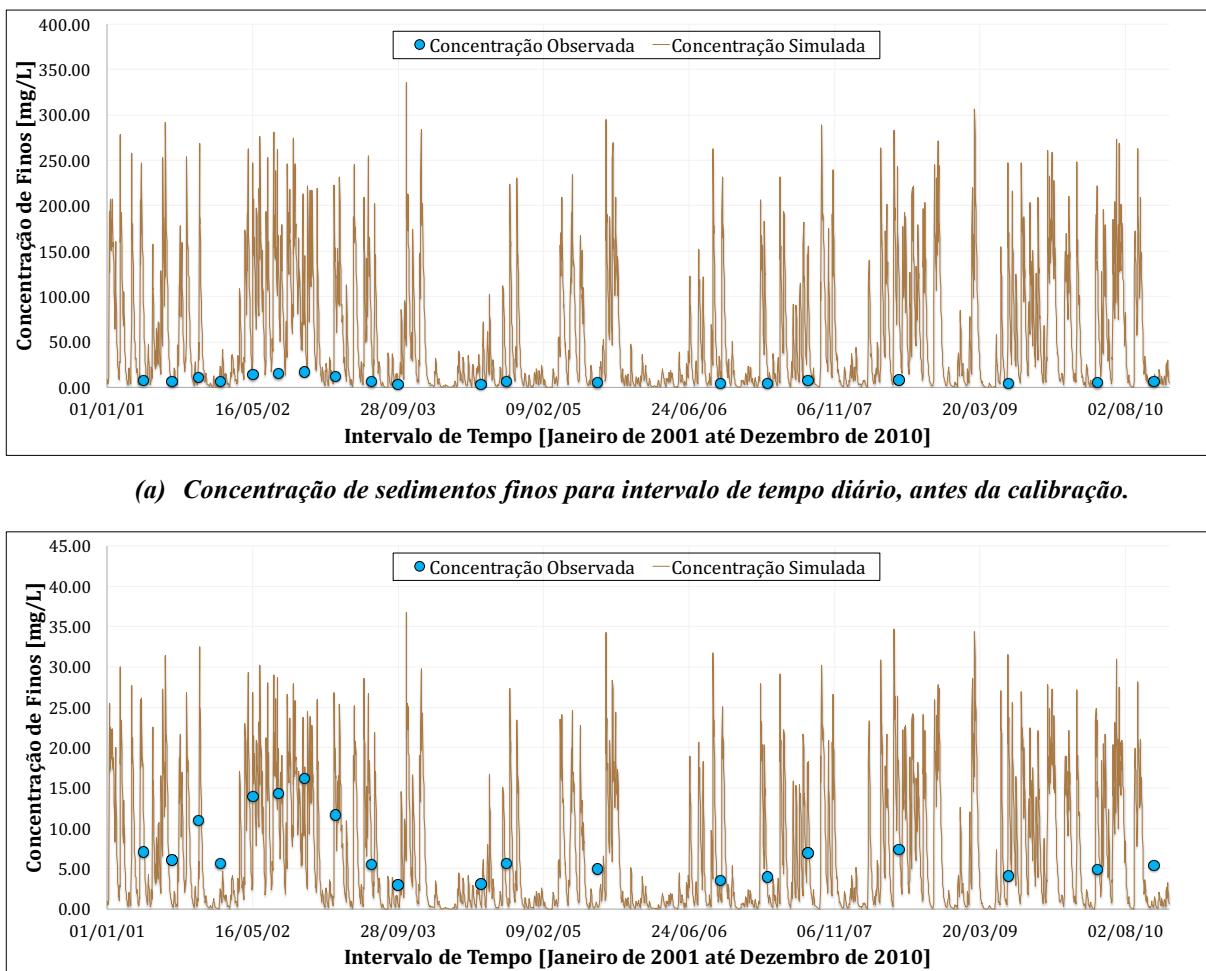
5.1.2 Sub-bacia do Alto Jacuí

5.1.2.1 Estação fluviométrica Dona Francisca (85400000)

A presente estação fica localizada na região a jusante do Alto Jacuí, apresentando diversos problemas devido às usinas hidrelétricas e reservatórios de água ao longo do seu curso. A Tabela 25 apresenta os valores utilizados para realizar a calibração da sub-bacia 13, a qual pertence a estação Dona Francisca.

Tabela 25. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 13.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	56,00	12,00	32,00	2,00	0,00100
Floresta solo profundo	49,00	11,50	39,50	3,50	0,00150
Agricultura solo raso	54,00	11,00	35,00	1,00	0,00400
Agricultura solo profundo	54,00	8,00	38,00	1,20	0,00350
Campo solo raso	60,00	12,00	28,00	1,50	0,00500
Campo solo profundo	61,50	11,50	27,00	0,80	0,00600
Várzea	50,00	12,00	38,00	1,00	0,00600
Área semi-impermeável	48,00	14,00	38,00	1,00	0,01000



(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 51. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000).

Essa região foi uma das que apresentou maiores dificuldades para chegar em estimativas realistas de modelagem hidrossedimentológica, uma vez que a modelagem hidrológica e hidrodinâmica já apresentava valores incoerentes. A média das vazões calculadas é de aproximadamente $32,42 \text{ m}^3/\text{s}$, enquanto a média das vazões observadas é de aproximadamente $395,82 \text{ m}^3/\text{s}$, além disso, a correlação das vazões é de 0,062. Isso ocorre, pois essa região do Alto Jacuí possui uma predominância de hidrelétricas e reservatórios de água (FEPAM, 2017c), responsáveis pelas alterações dos regimes de vazões e descarga sólida de sedimentos.

Dessa forma, optou-se por estimar valores mais coerentes para a concentração de sedimentos através da calibração, causando uma redução significativa nas descargas sólidas estimadas. Os valores de PBIAS corroboram com essa análise, uma vez que para a concentração de sedimentos finos apresentou o valor de 2,77%, enquanto a descarga sólida apresentou o valor de 90,83%.

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

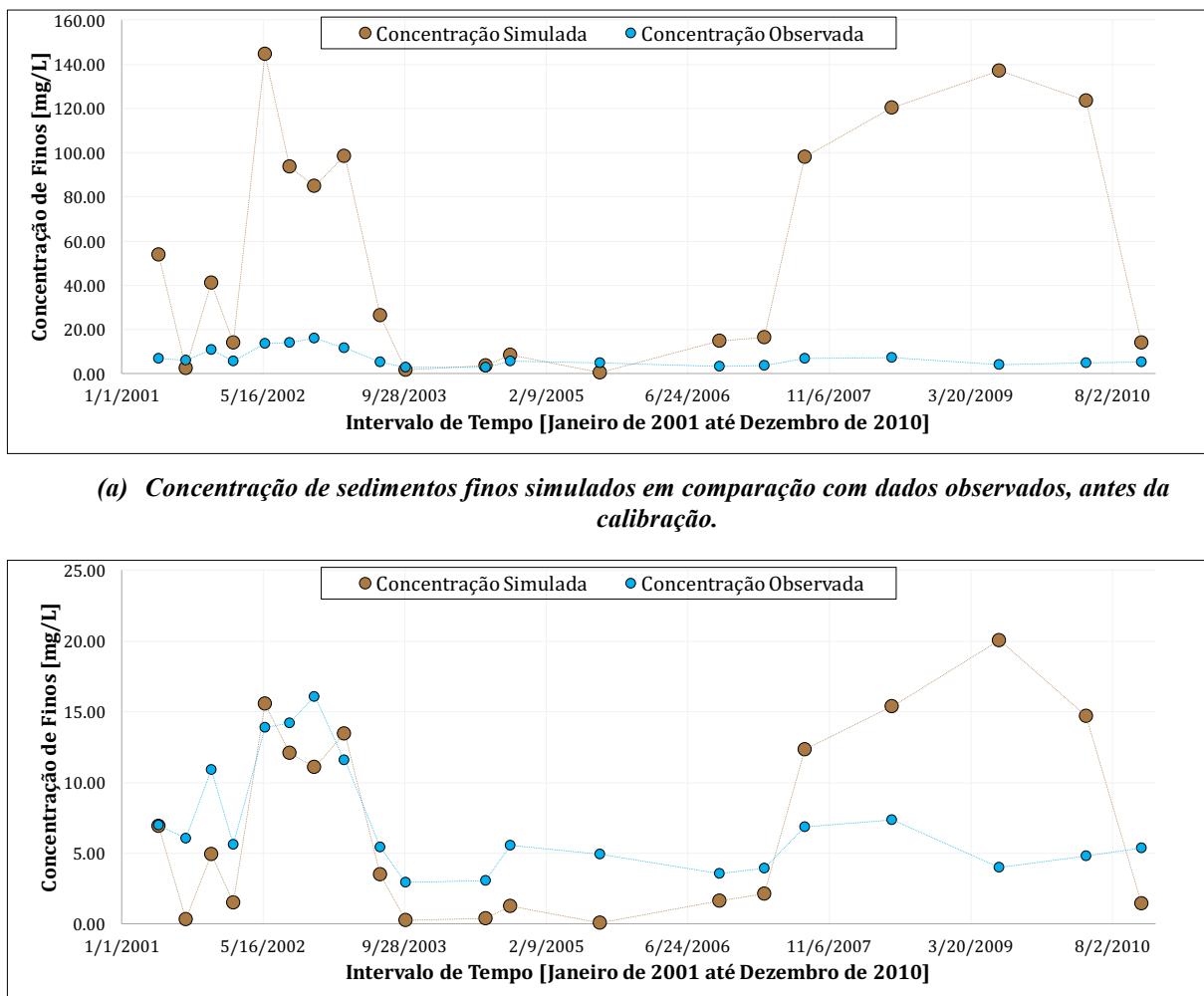


Figura 52. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000).

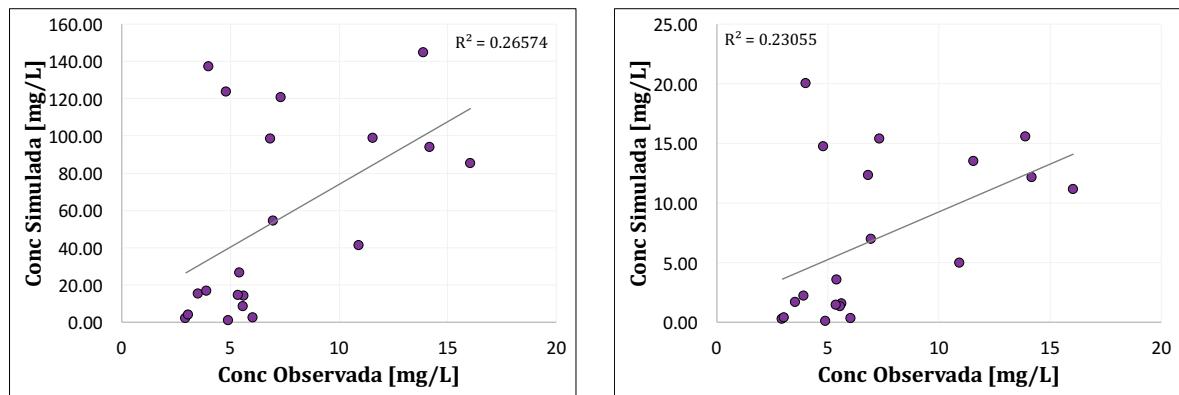
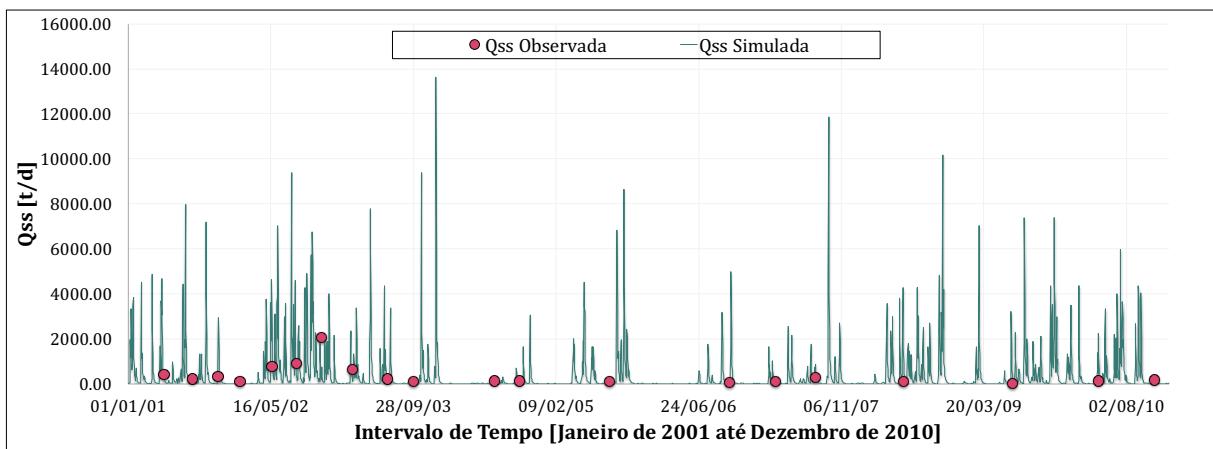


Figura 53. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Dona Francisca (85400000).

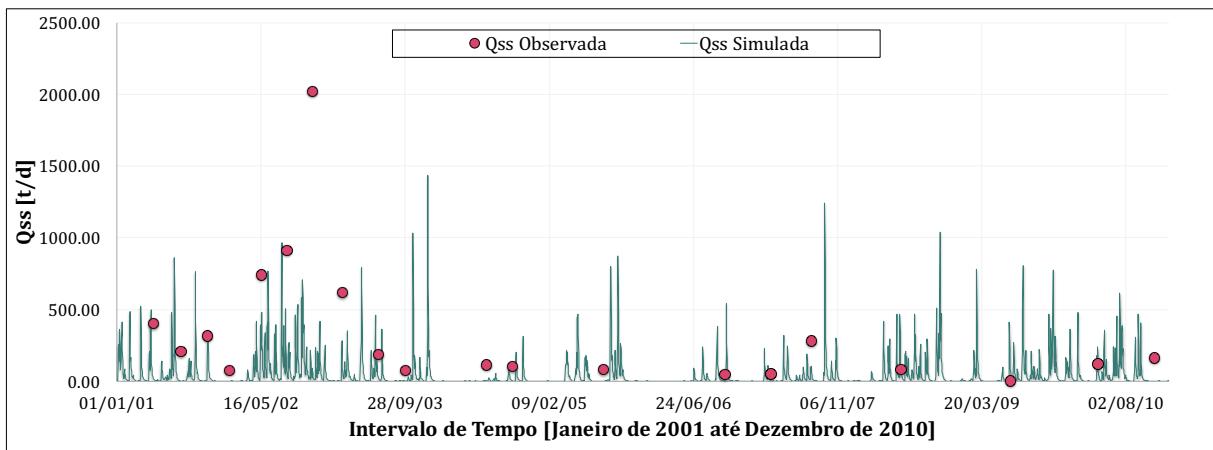
De forma geral, as métricas não apresentaram bom desempenho, como era esperado, visto que a calibração tinha como objetivo estimar os valores de concentração de sedimentos, forçando o modelo a apresentar valores inferiores de descarga sólida. A média da concentração simulada é aproximadamente 6,95 mg/L, enquanto a média da concentração observada é de aproximadamente 7,15 mg/L.

Tabela 26. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Dona Francisca (85400000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,266	0,231
PBIAS (%)	-668,32	2,77
RSR	17,62	1,48



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 54. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000).

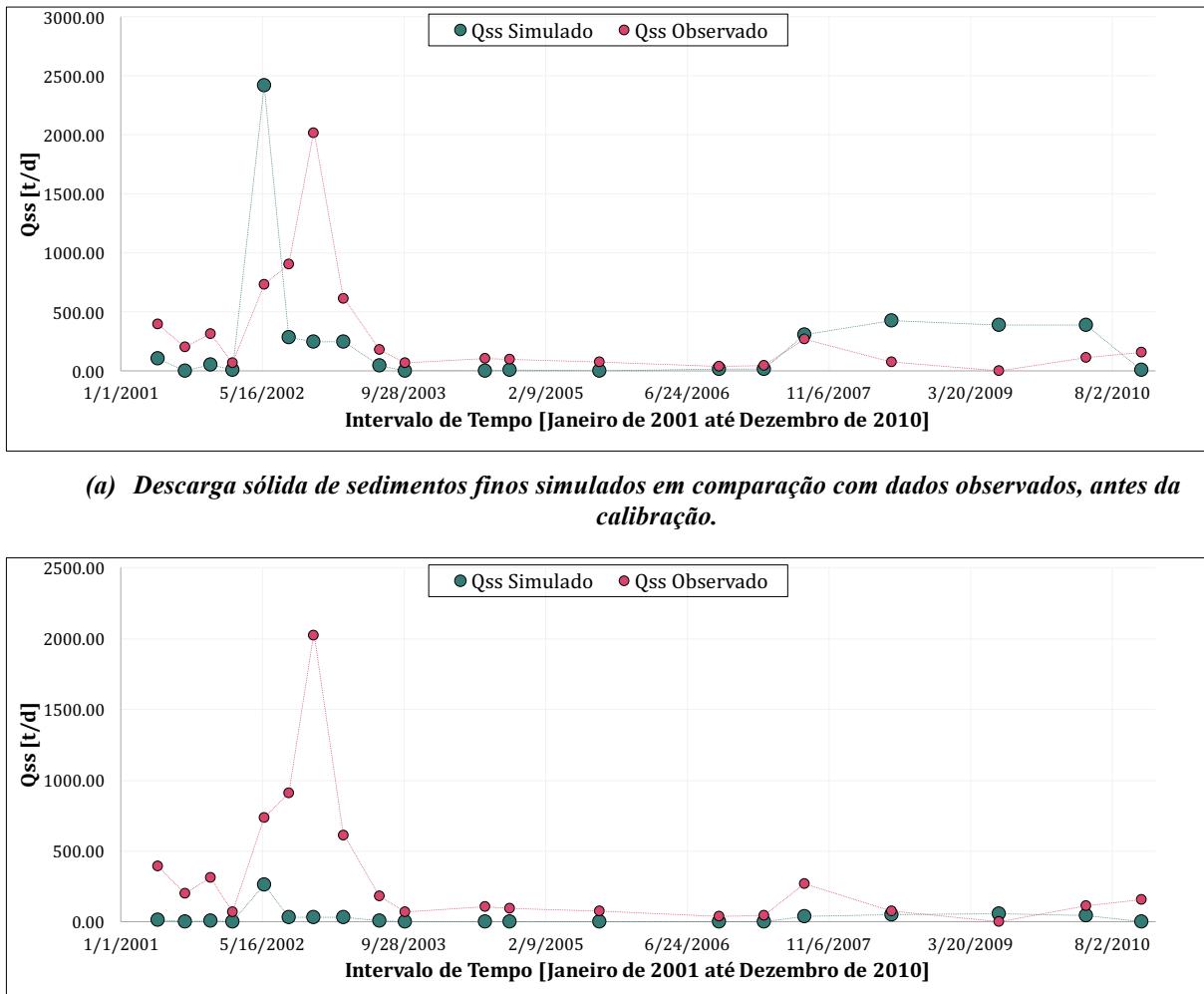


Figura 55. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Dona Francisca (85400000).

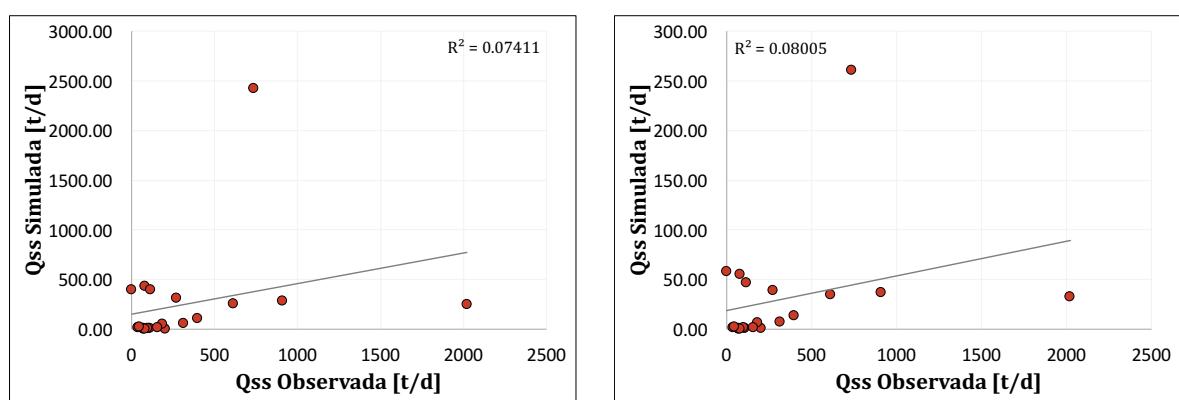


Figura 56. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Dona Francisca (85400000).

Renata Barão Rossoni. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2017.

Tabela 27. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Dona Francisca (85400000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,074	0,080
NSE	-0,70	-0,36
NSE LOG	-2,08	-6,29
PBIAS (%)	23,08	90,83
RSR	1,30	1,17

5.1.3 Sub-bacia do Rio Caí

5.1.3.1 Estação fluviométrica Barca do Caí (87170000)

A estação fluviométrica Barca do Caí é a que fica mais a montante na bacia do Rio Caí. A Tabela 28 apresenta os valores determinados para a calibração da sub-bacias 6, a qual está inserida a presente estação.

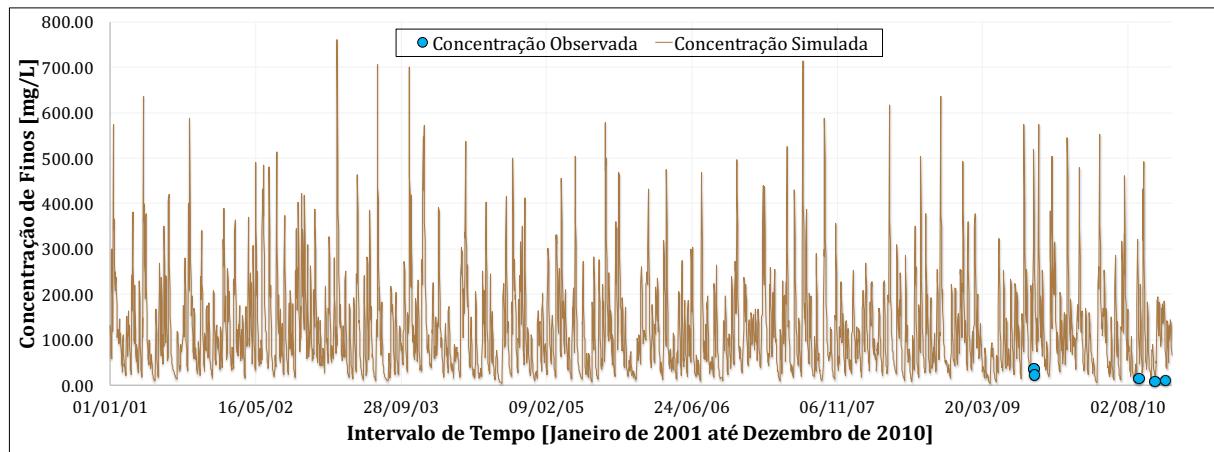
Tabela 28. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 6.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	69,00	10,00	21,00	2,00	0,00100
Floresta solo profundo	63,80	10,70	25,50	1,50	0,00240
Agricultura solo raso	69,00	7,00	24,00	0,80	0,00560
Agricultura solo profundo	62,00	10,00	28,00	0,80	0,00680
Campo solo raso	67,00	8,00	25,00	0,80	0,00800
Campo solo profundo	62,50	10,50	27,00	0,80	0,01500
Várzea	61,00	13,00	26,00	1,50	0,00750
Área semi-impermeável	75,00	7,00	18,00	1,00	0,00600

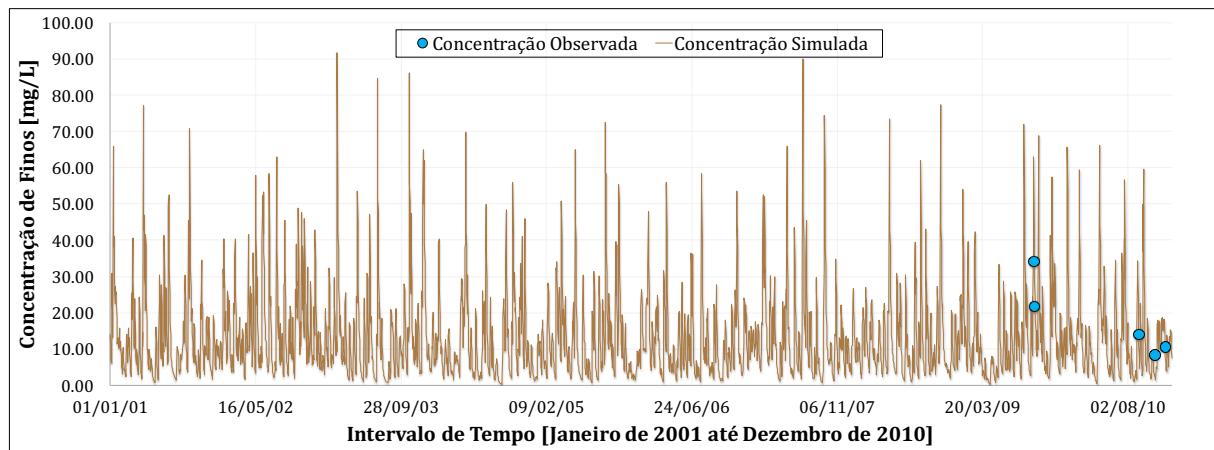
Como se pode observar pela Tabela 29 e Tabela 30, essa estação é a que apresenta os melhores valores de desempenho das métricas de calibração, com números de R^2 de aproximadamente 0,978 para os valores de concentração e de descarga sólida. Além disso, os valores de PBIAS foram muito satisfatórios e o coeficiente de NSE é de 0,91. Isso ocorre por dois fatores: primeiro, a estação apresenta apenas cinco dados observados para uma série temporal de 10 anos (período de calibração), dessa forma, foi mais fácil encontrar valores

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

razoáveis para as métricas escolhidas; segundo, o valor de correlação para a modelagem hidrológica e hidrodinâmica é muito satisfatórias, com o valor de aproximadamente 0,912.



(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



(c) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 57. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).

Além das métricas utilizadas, pode-se notar pela Figura 58b e Figura 61b que o formato dos gráficos formados pelas séries de dados simulados e dados observados é muito semelhante após a calibração.

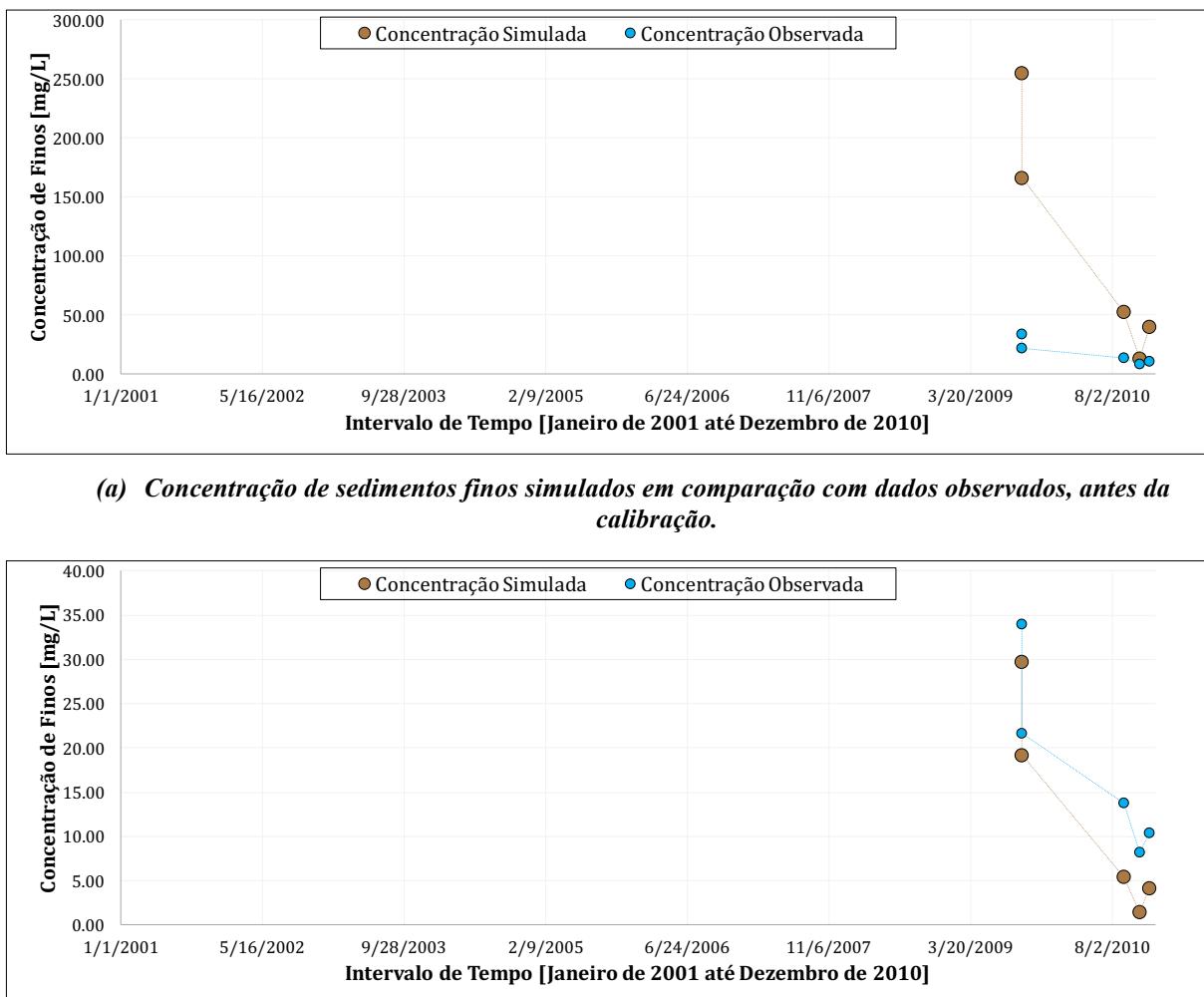


Figura 58. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).

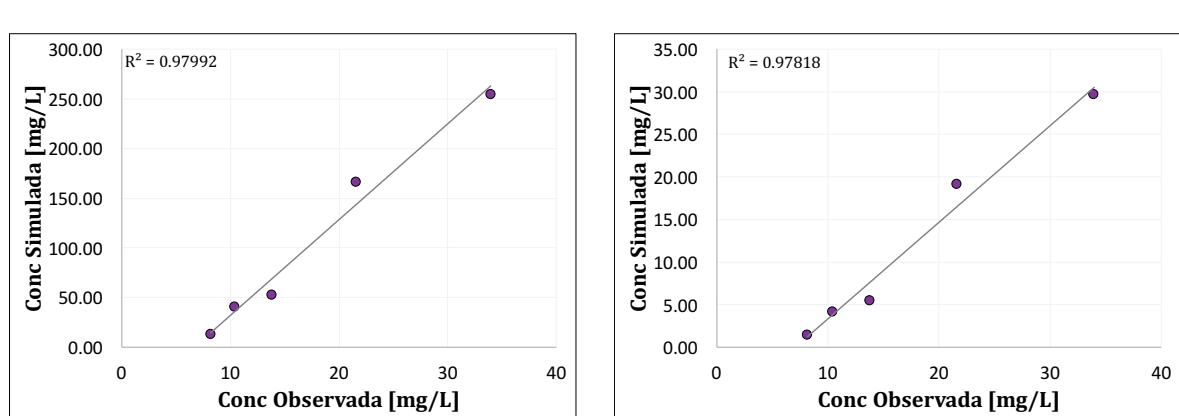
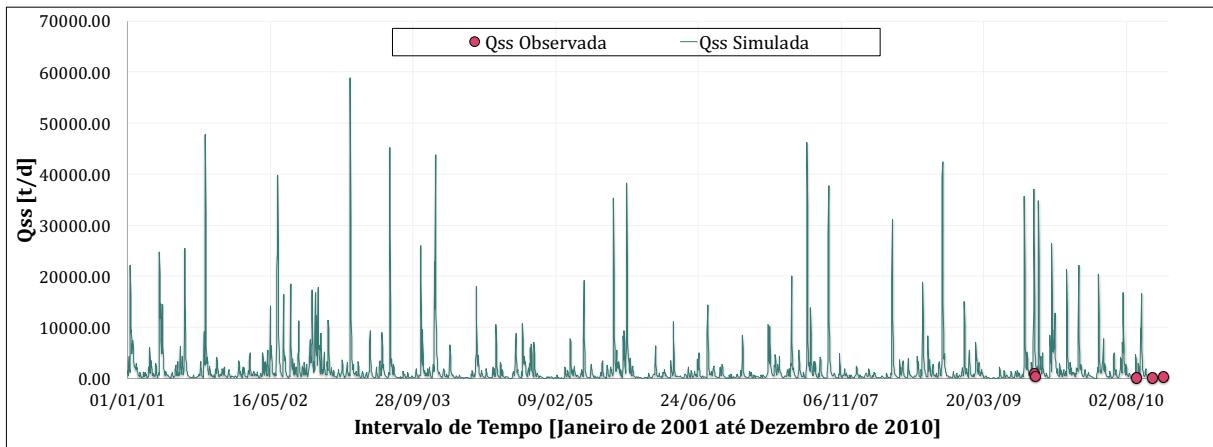


Figura 59. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).

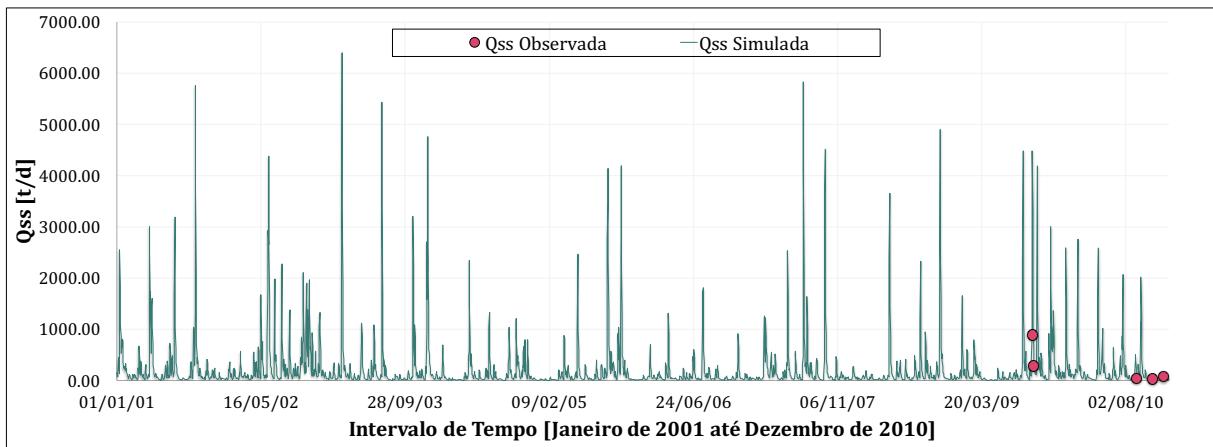
Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 29. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Barca do Caí (87170000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,980	0,978
PBIAS (%)	-497,31	32,09
RSR	12,81	0,64



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

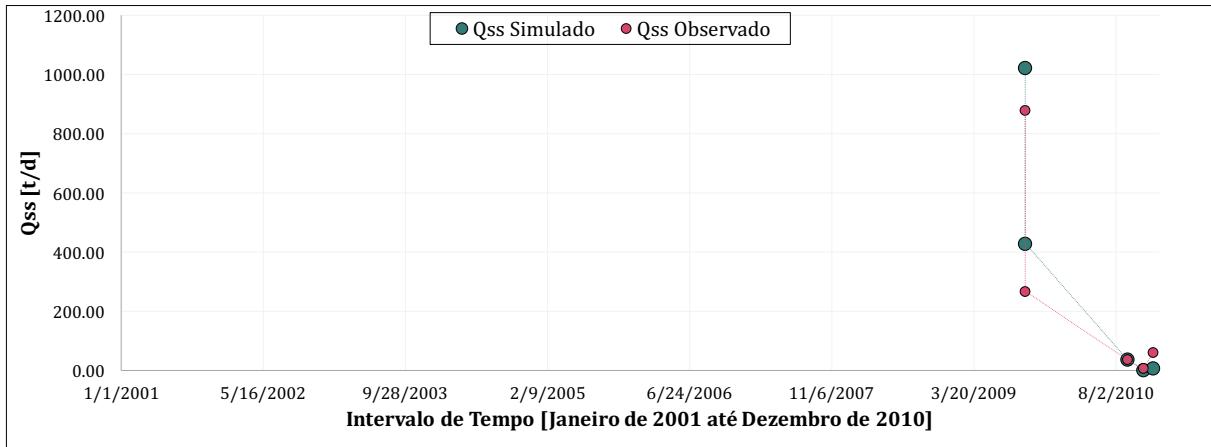


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 60. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Barca do Caí (87170000).

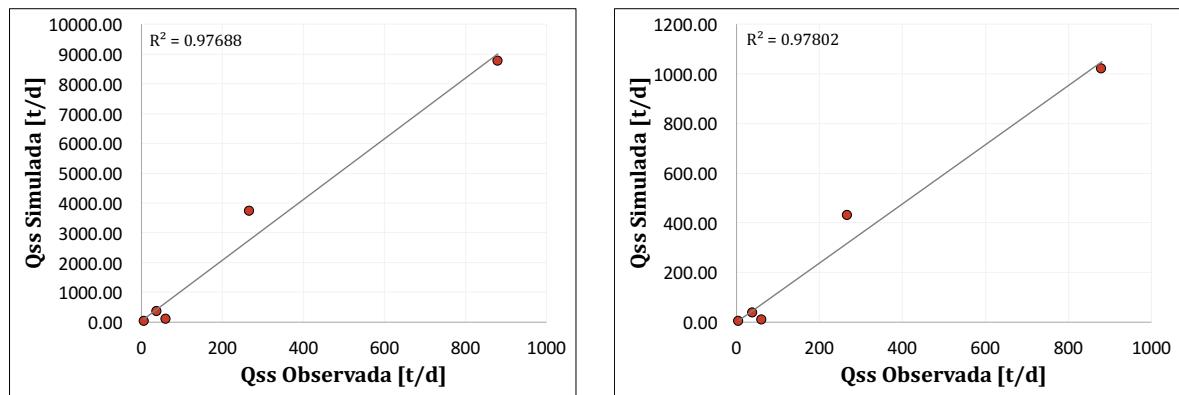


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 61. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Barca do Cai (87170000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 62. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Barca do Cai (87170000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 30. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Barca do Caí (87170000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
<i>r</i>	0,977	0,978
NSE	-137,03	0,91
NSE LOG	-0,30	0,66
PBIAS (%)	-933,40	-19,57
RSR	11,75	0,30

5.1.3.2 Estação fluviométrica Passo Montenegro (87270000)

A estação fluviométrica Passo Montenegro está localizada mais a jusante na bacia do Rio Caí. Sua sub-bacia de calibração é a sub-bacia número 7 e os valores definidos de calibração são apresentados a seguir (Tabela 31).

Tabela 31. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 7.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	8,00	29,50	62,50	1,00	0,75740
Floresta solo profundo	8,70	20,60	70,70	1,00	0,74550
Agricultura solo raso	8,00	27,00	65,00	1,20	0,93790
Agricultura solo profundo	8,00	28,50	63,50	0,80	0,95940
Campo solo raso	11,50	25,00	63,50	1,00	0,92860
Campo solo profundo	10,80	28,40	60,80	0,80	0,85370
Várzea	10,30	29,00	60,70	1,20	0,87930
Área semi-impermeável	12,00	25,00	63,00	1,10	0,76920

Como pode ser observado, a partir dos valores das métricas de desempenho (Tabela 32 e Tabela 33), a calibração realizada no trecho inferior da bacia não apresentou resultados tão satisfatórios, uma vez que seus valores de PBIAS ficaram positivamente muito elevados, com valores de 52,59 para concentração de sedimentos no trecho do rio e 68,59 para a descarga sólida de sedimentos finos no curso d'água. Valores de PBIAS elevados positivamente significam que o modelo está subestimando a quantidade de sedimentos geradas pela sub-bacia. Além disso, não houve muita coerência entre os dados simulados e observados, apresentando

valores de r de 0,00012 para a concentração de sedimentos e 0,125 para a descarga sólida (Figura 65 e Figura 68).

Tabela 32. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo Montenegro (87270000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,043	0,00012
PBIAS (%)	-15,13	52,59
RSR	0,99	1,03

Tabela 33. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo Montenegro (87270000).

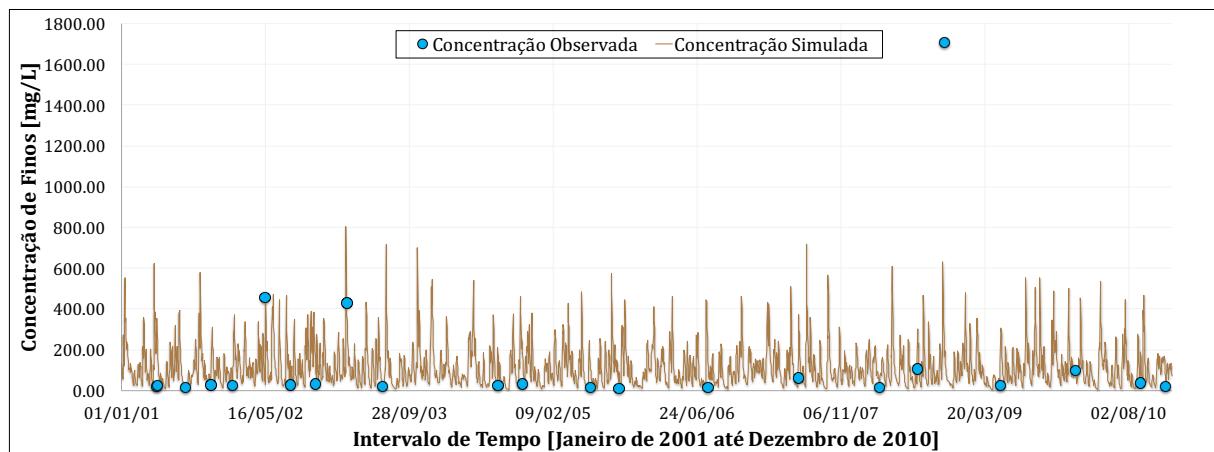
Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,191	0,125
NSE	0,18	0,00
NSE LOG	0,08	0,41
PBIAS (%)	1,41	68,59
RSR	0,90	1,00

Entretanto, ao analisar a Figura 64, para a maioria dos dados, os valores foram coerentes após a calibração, apresentando concentrações em torno de 0 mg/L e 200 mg/L, com exceção dos dados calculados e observados para as datas de 16/05/2002 (outono), 24/02/2003 (verão) e 03/11/2008 (primavera) os valores de concentração dos sedimentos finos observados estão muito acima dos valores simulados. Para a data de novembro, a concentração observada foi de 1705,79 mg/L, enquanto a calculada foi de aproximadamente 41,69 mg/L. Ao observar as épocas, as quais ocorreram os valores de pico de concentração, não há um padrão. Cada pico foi amostrado em meses, estações e épocas chuvosas diferentes.

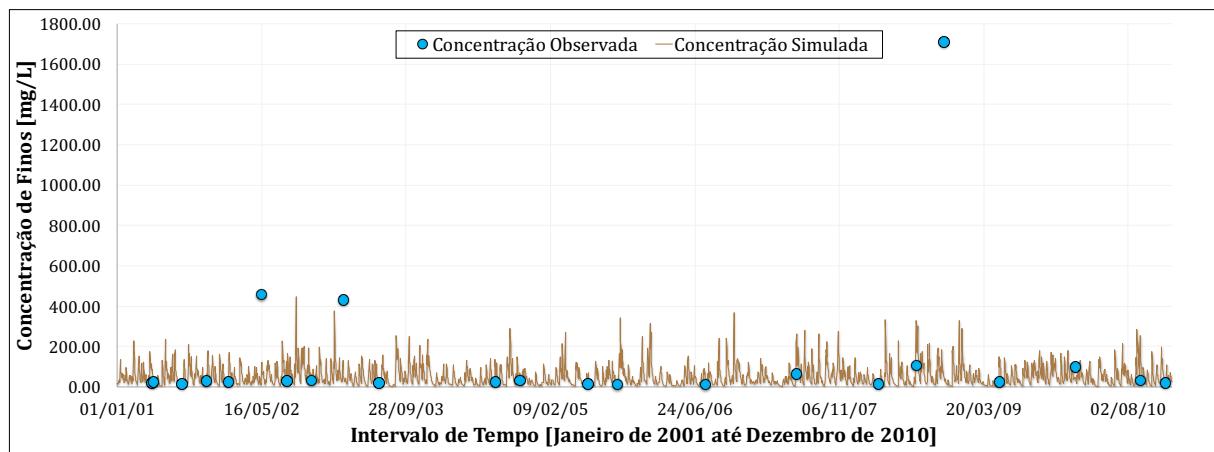
A falta de previsibilidade do modelo, para esta sub-bacia, não é atribuída à modelagem hidrológica e hidrodinâmica, uma vez que a mesma apresentou valores de correlação muito bons, em torno de 0,815, e valores de NSE satisfatórios, em torno de 0,4 e 0,6.

Dessa forma, procurou-se aumentar ao máximo os valores das porcentagens de argila e silte, de modo que fosse o mais coerente possível com a realidade física local, já que é uma sub-bacia de textura mais argilosa, e os valores de C, de forma que houvesse coerência entre os valores escolhidos entre si. Os valores de C apresentaram valores superiores aos encontrados

normalmente na literatura. Contudo, ainda assim, não foi possível aumentar os valores de concentração simulados e, consequentemente, resultados satisfatórios para os sedimentos simulados. Ao analisar a Figura 63, a Figura 64, a Figura 66 e a Figura 67, nota-se que, apesar das métricas de desempenho apresentarem valores mais satisfatórios antes da calibração do que após a calibração, isso só ocorre pois há uma diminuição dos erros de forma geral, isto é, a simulação aumenta os valores de sedimento para todos os pontos observados, assim os valores simulados em excesso compensam os valores simulados que estão muito abaixo dos valores observados, como ocorre nos três pontos de pico.

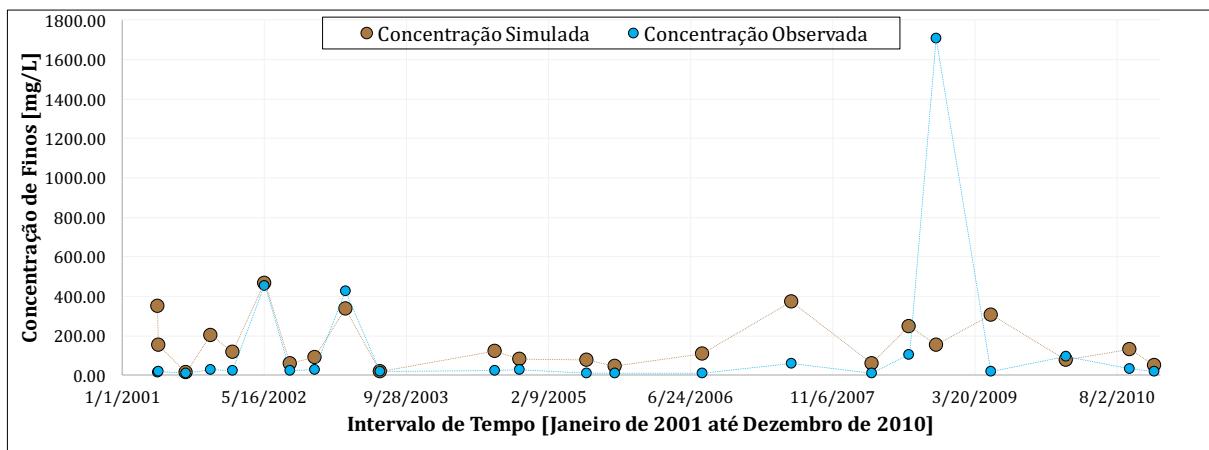


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

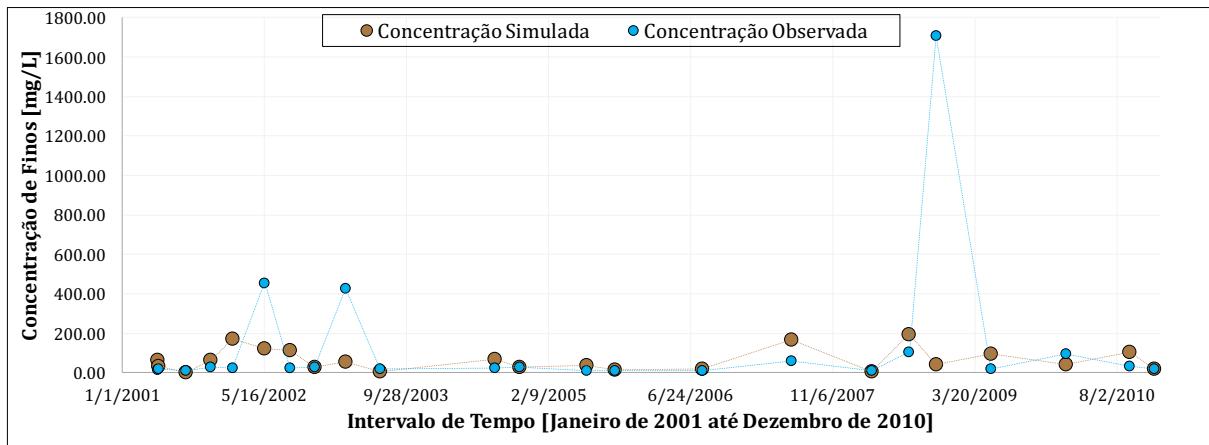


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 63. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).

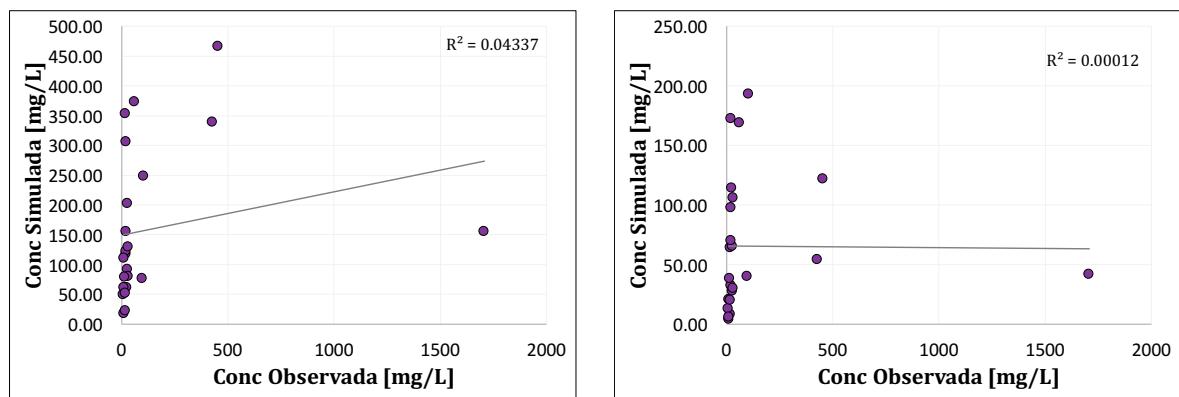


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 64. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).

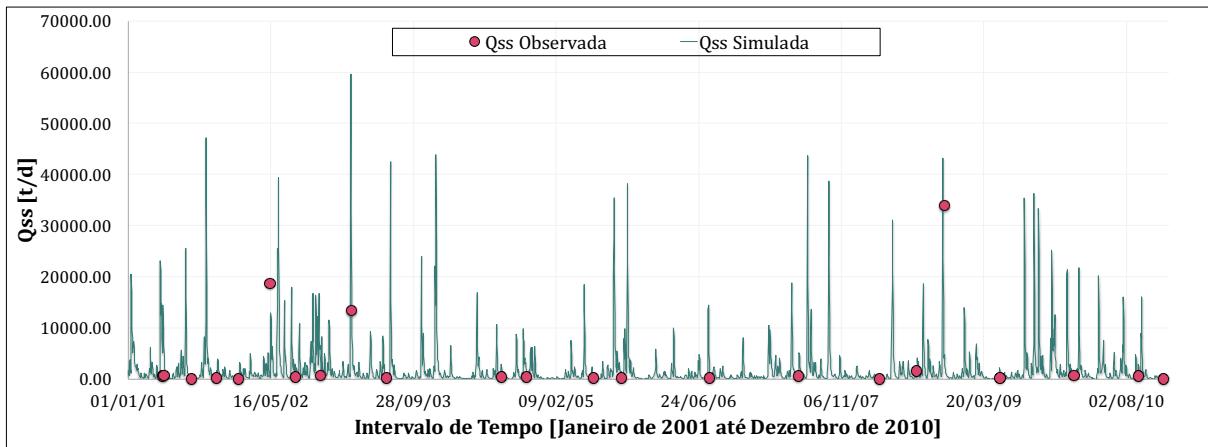


(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

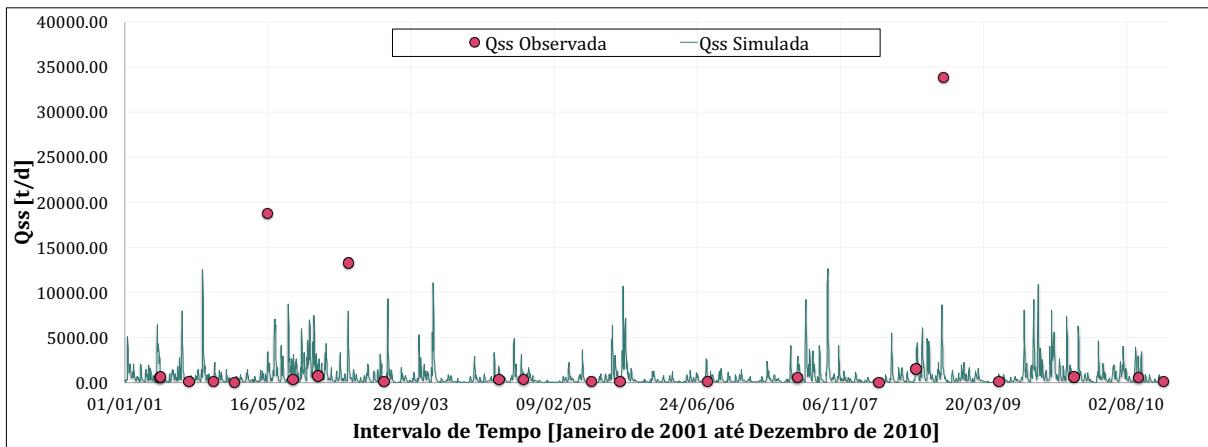
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 65. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

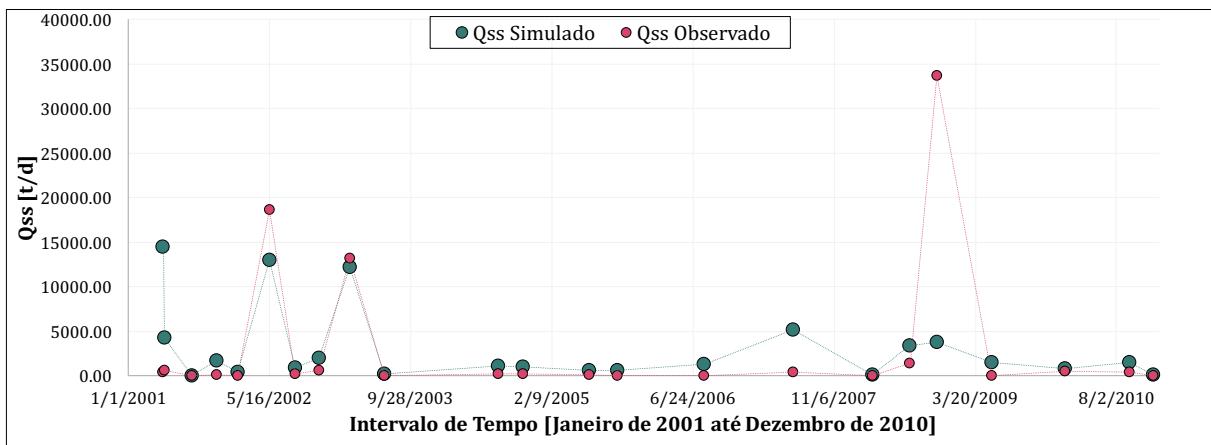
Figura 66. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).

Dessa forma, procurou-se realizar uma análise do que poderia ter ocasionado essas incoerências entre os dados observados e simulados. Assim, como a metodologia de propagação de vazões e de sedimentos utilizadas para o modelo, no presente trabalho, é o Muskingum-Cunge, que é um método mais simplificado do que o modelo hidrodinâmico e inercial, ele poderia não ter sido uma escolha adequada para essa região, uma vez que o trecho inferior do Rio Caí é caracterizado por ser uma área de várzea, com planícies de inundação, que possuem grandes volumes de água e sedimentos, apesar das baixas velocidades, e ainda sofre efeitos de remanso. Assim, o modelo poderia estar calculando as trocas de sedimentos de forma incoerente com as características da região.

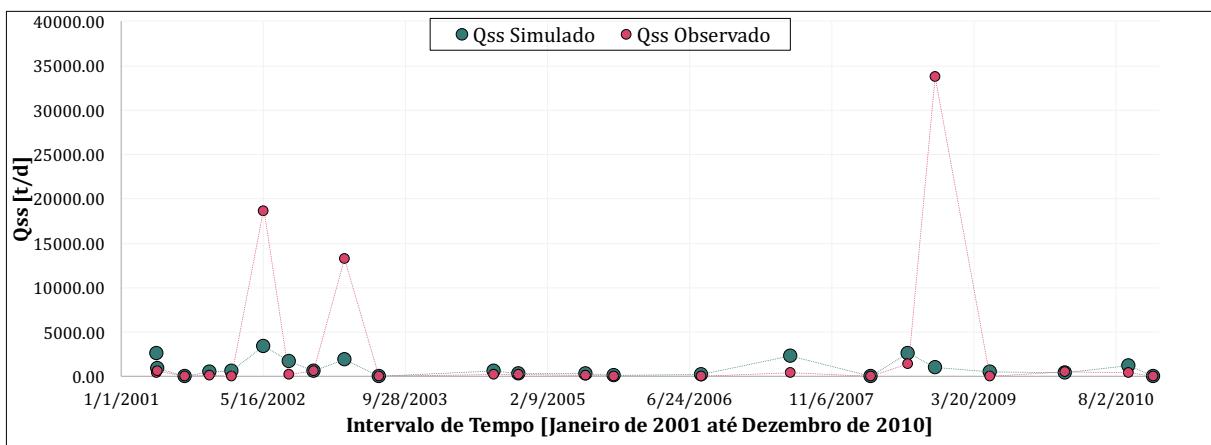
Segundo, ao longo do curso d'água do Rio Caí, há barragens e hidrelétricas à montante da estação analisada, dessa forma, poderia ter ocorrido uma alteração da dinâmica hidrossedimentológica em épocas pontuais.

Além disso, esse trecho do Rio Caí sofre intensa pressão da atividade econômica de mineração de argila, areia e cascalho. Isso poderia ter ocasionado uma alteração na concentração de sedimentos finos da região, causando as concentrações elevadas nas épocas de pico.

Por fim, nas datas onde ocorre essas concentrações de sedimentos finos e descargas sólidas de pico, poderia ter ocorrido uma erosão intensa, não simulada no modelo, devido à ocorrência de eventos extremos de precipitação, gerando um desprendimento do solo acima da média geral.

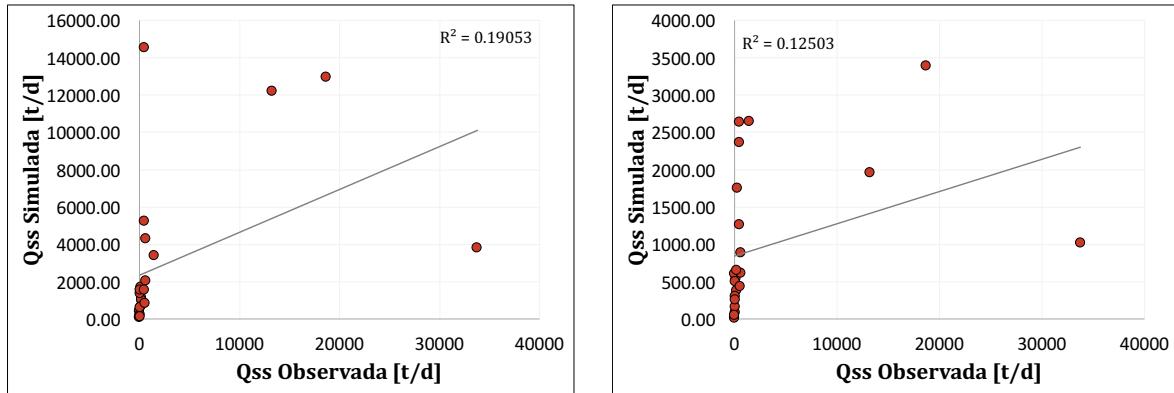


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 67. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 68. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo Montenegro (87270000).

5.1.4 Sub-bacia do Rio dos Sinos

5.1.4.1 Estação fluviométrica Taquara Montante (87374000)

A estação fluviométrica de Taquara Montante está localizada a montante na bacia do Rio dos Sinos. A Tabela 34 apresenta os valores utilizados para realizar a calibração do modelo para a sub-bacia 2, a qual está inserida a estação.

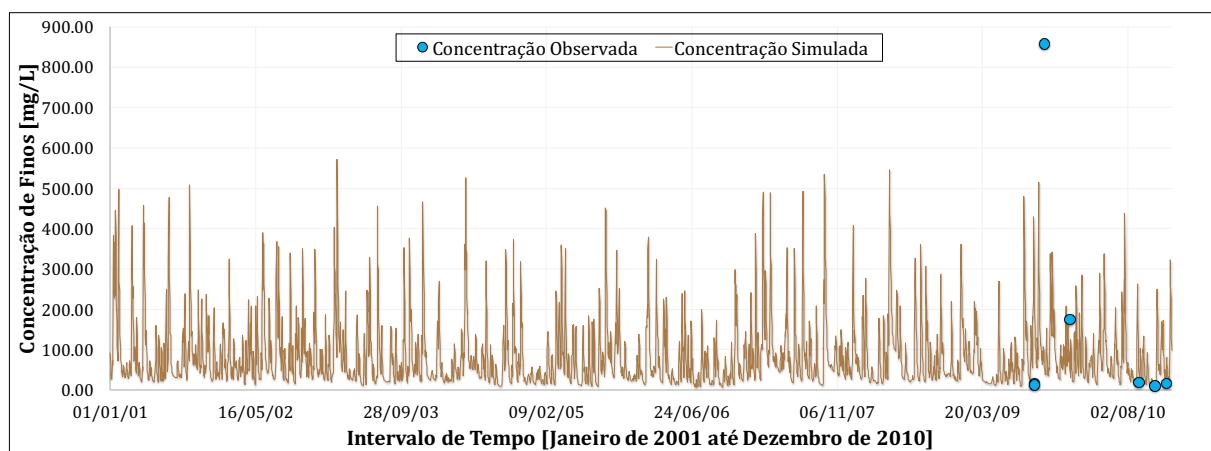
Tabela 34. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 2.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	40,50	14,50	45,00	2,50	0,01600
Floresta solo profundo	42,40	12,60	45,00	2,50	0,01400
Agricultura solo raso	48,00	12,00	40,00	1,40	0,04600
Agricultura solo profundo	50,90	10,50	38,60	1,00	0,04400
Campo solo raso	41,00	14,00	45,00	0,80	0,05500
Campo solo profundo	51,90	11,60	36,50	0,70	0,13600
Várzea	44,00	18,00	38,00	3,00	0,00140
Área semi-impermeável	48,00	22,00	30,00	0,80	0,01000

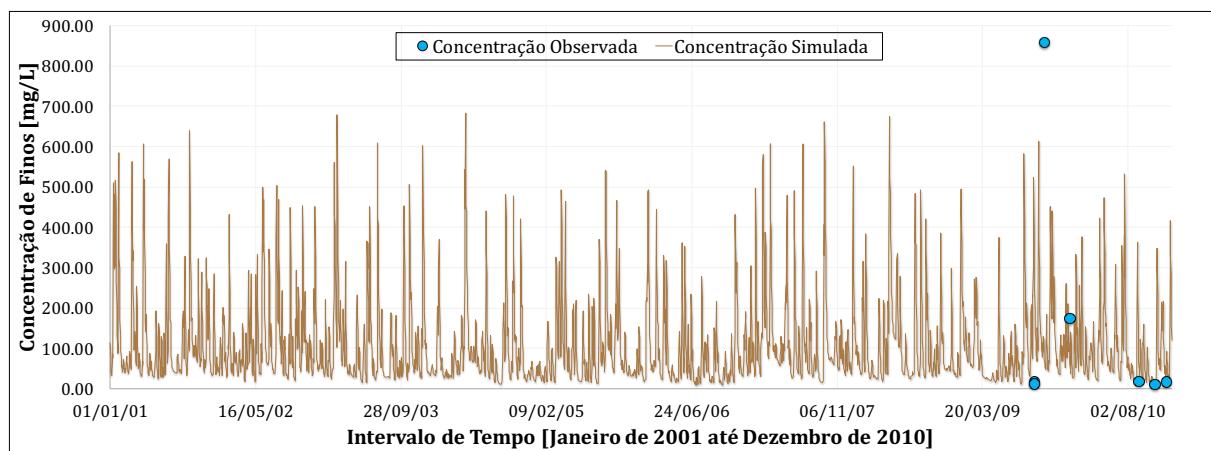
A estação, apesar de ter apresentando uma correlação de vazões ótima, de aproximadamente 0,952, apresentou valores de correlação de concentração de sedimentos e descarga sólida quase nulos, de aproximadamente 0,063 (Figura 71) e 0,028 (Figura 74). Isso ocorre, provavelmente, pois é a segunda estação que tem menos dados observados, dessa forma, por causa de uma concentração de pico, a correlação é muito pequena.

Por causa disso, a principal métrica utilizada para realizar a calibração da região foi a PBIAS. Antes da calibração, PBIAS apresentava o valor de 58,86 e 61,64 para concentração e descarga sólida, respectivamente. Após a calibração, PBIAS apresentou os valores de 49,43 e 52,12, para concentração e descarga sólida.

Pode-se notar, também, pela Figura 69, Figura 70, Figura 72 e Figura 73 que houve um aumento das concentrações de sedimentos finos e da descarga sólida.

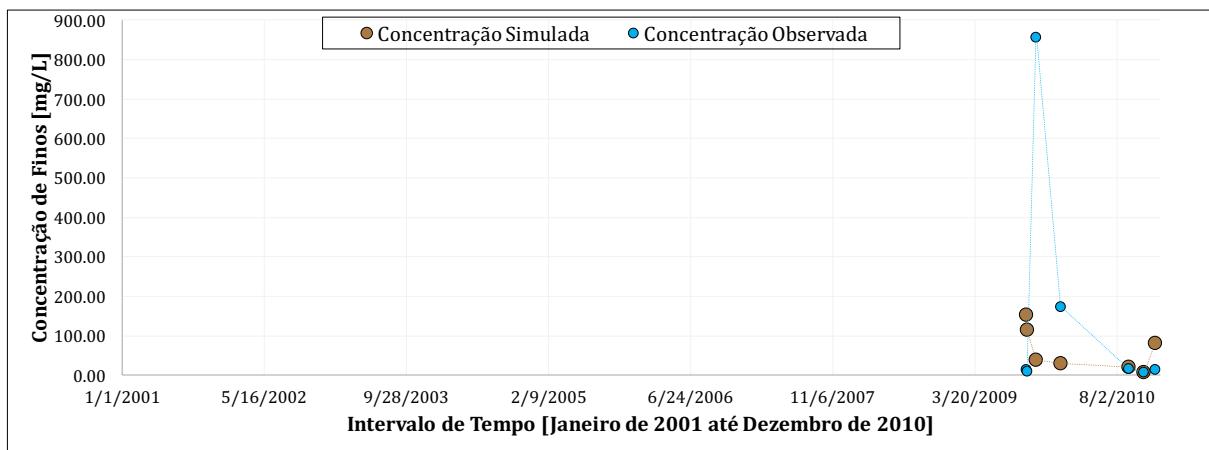


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

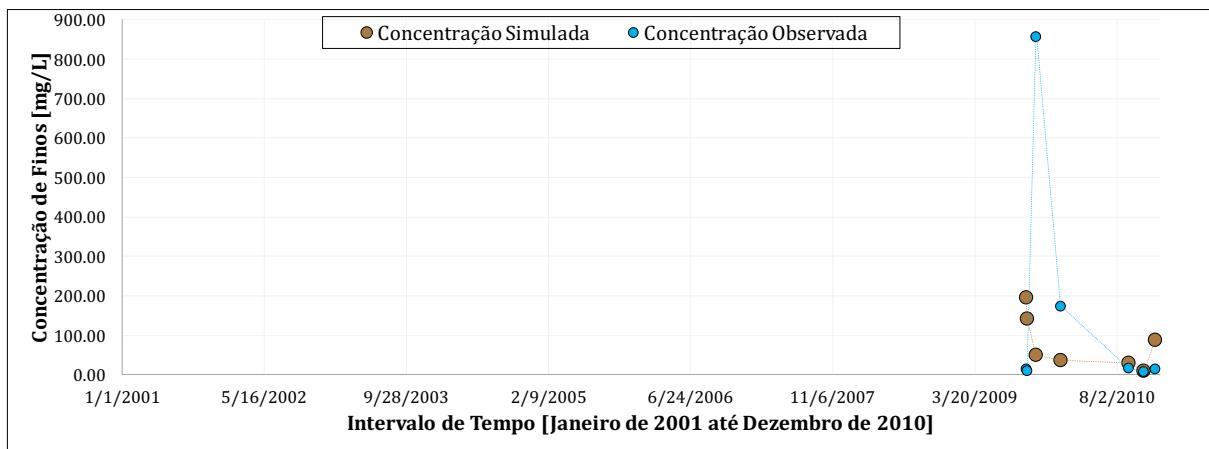


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 69. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).

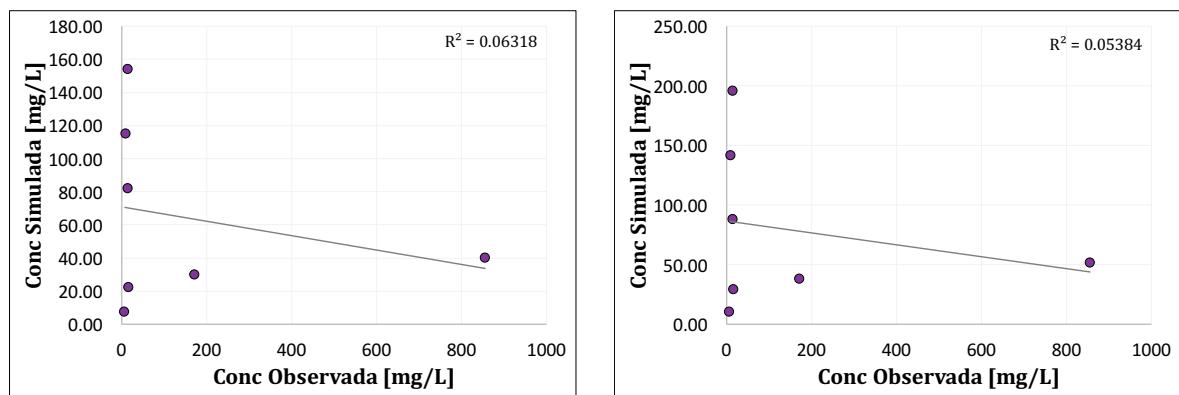


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 70. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).



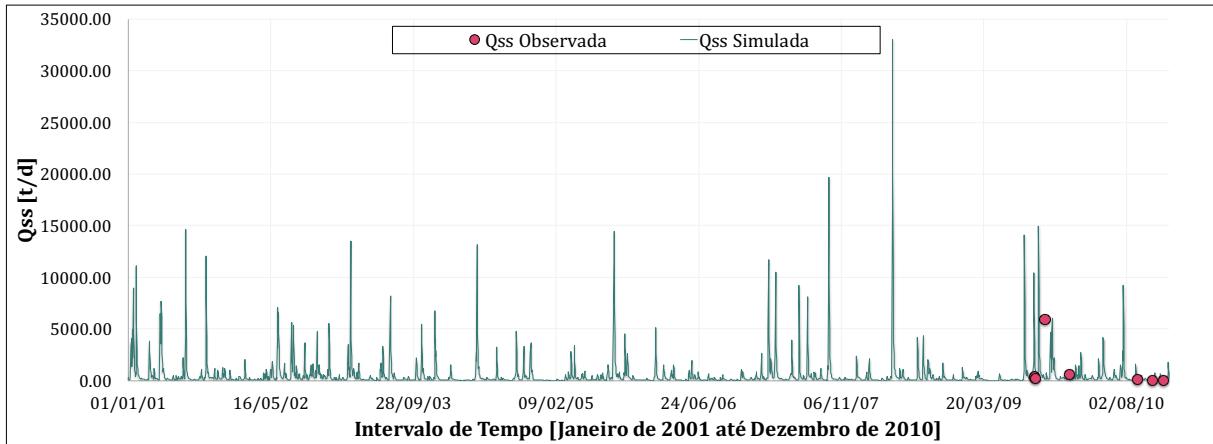
(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

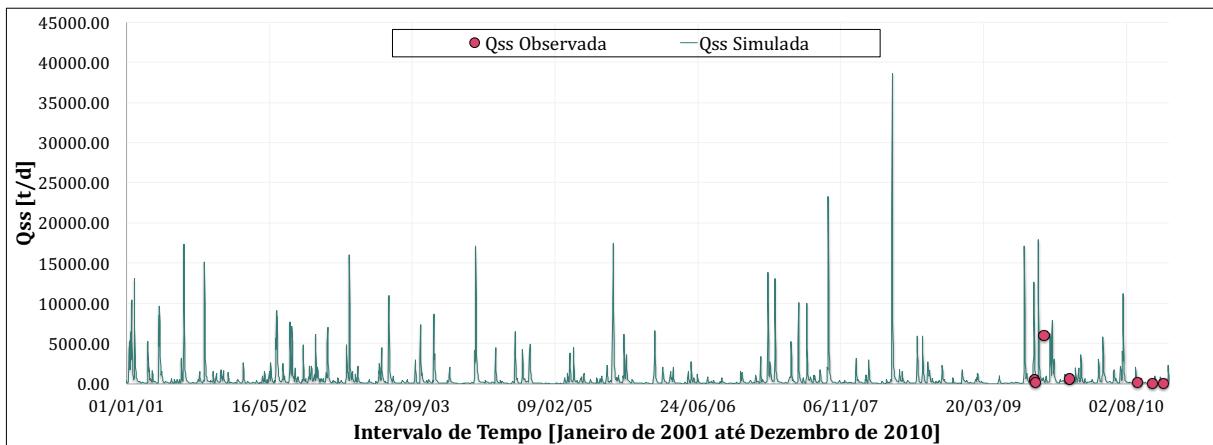
Figura 71. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).

Tabela 35. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Taquara Montante (87374000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,063	0,054
PBIAS (%)	58,86	49,43
RSR	1,10	1,10

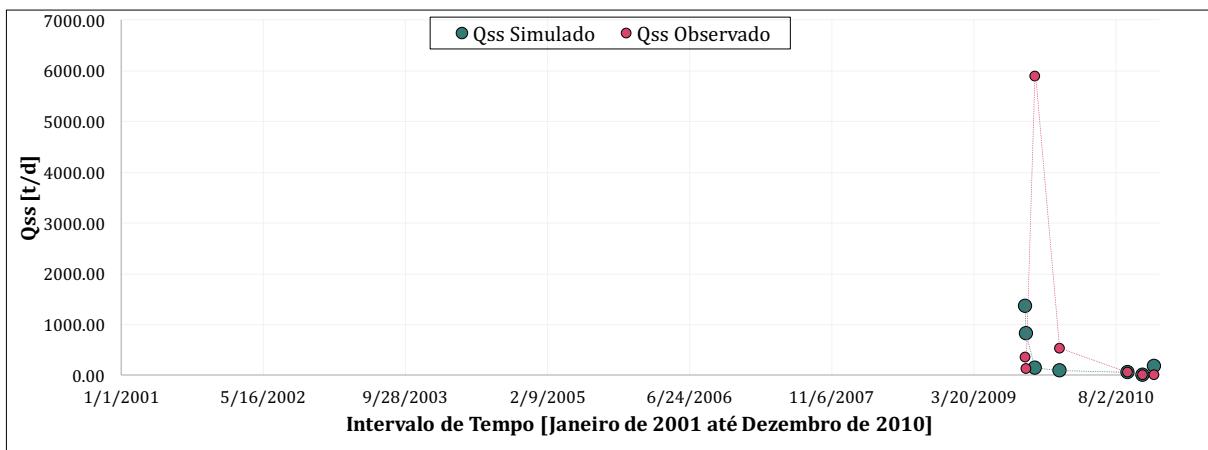


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

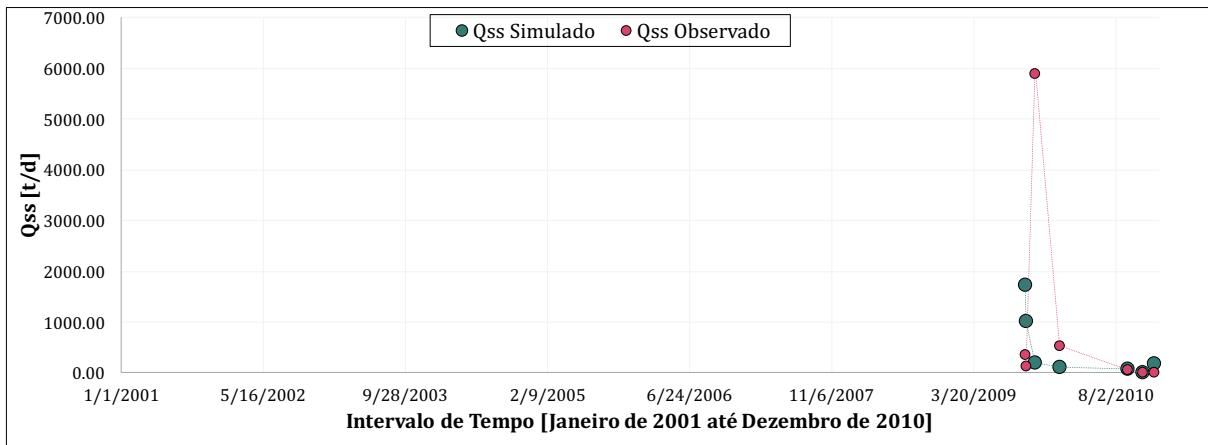


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 72. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).

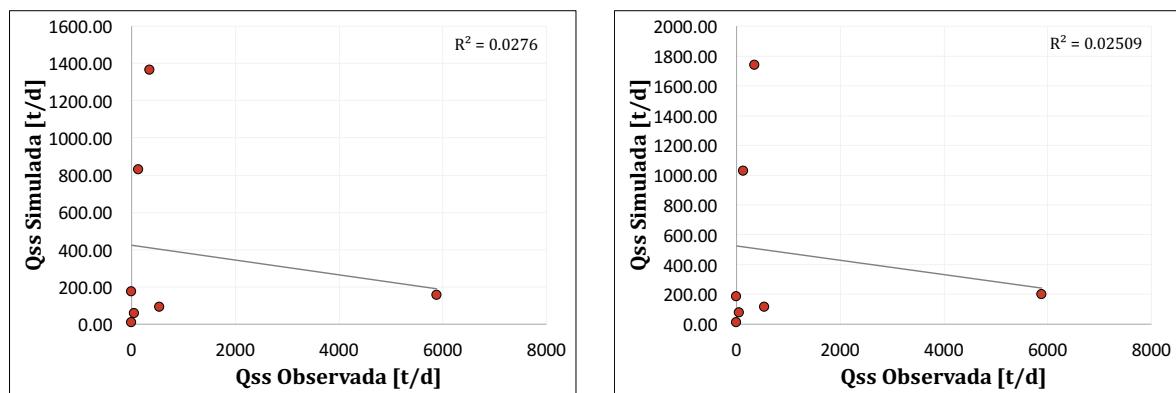


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 73. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 74. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Taquara Montante (87374000).

Tabela 36. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Taquara Montante (87374000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
<i>r</i>	0,028	0,025
NSE	-0,23	-0,25
NSE LOG	0,25	0,24
PBIAS (%)	61,64	52,12
RSR	1,11	1,12

5.1.4.2 Estação fluviométrica Campo Bom (87380000)

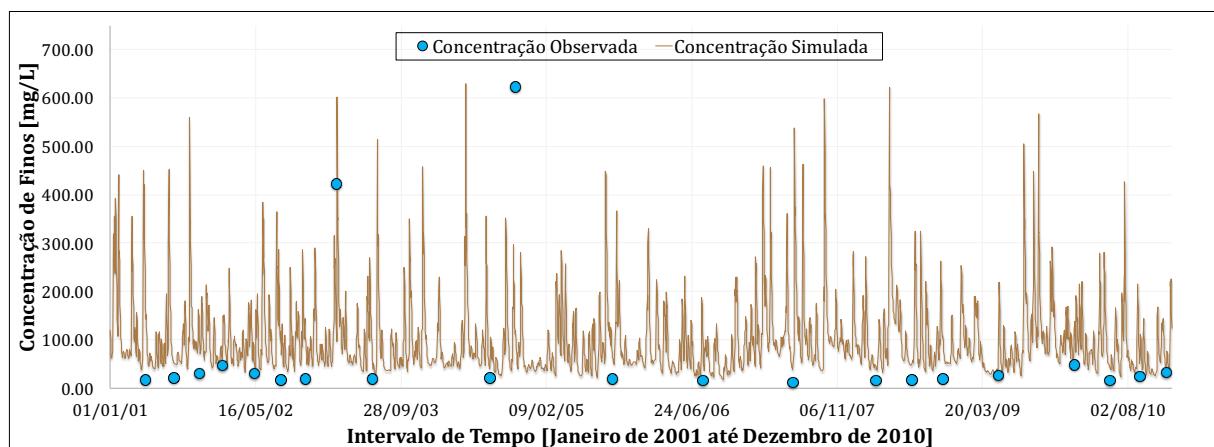
A estação fluviométrica Campo bom fica localizada a montante, na bacia do Rio dos Sinos. A Tabela 37 apresenta os valores utilizados para a calibração da região, determinada pela sub-bacia 3.

Tabela 37. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 3.

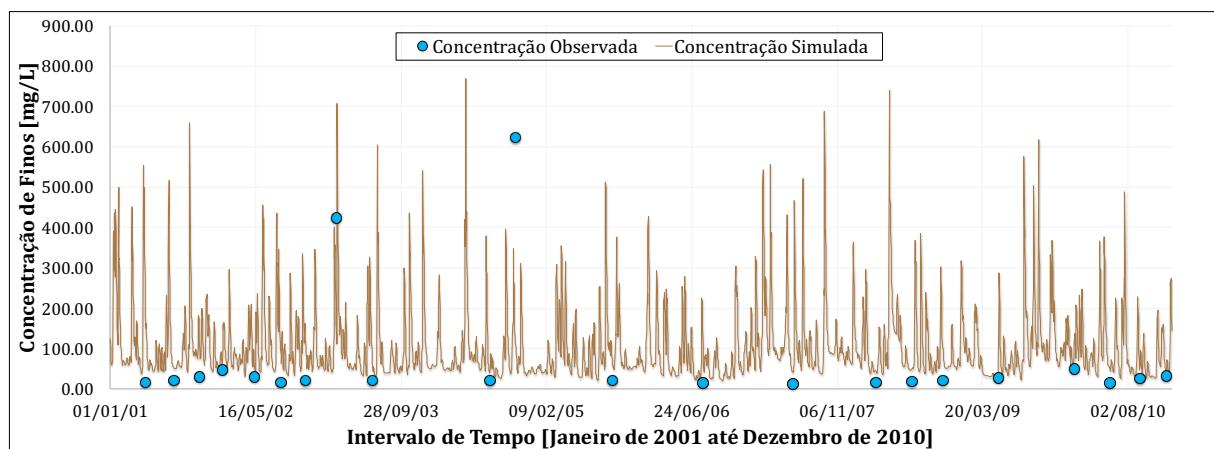
URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	60,00	5,00	35,00	3,00	0,00003
Floresta solo profundo	55,50	9,50	35,00	3,50	0,00004
Agricultura solo raso	57,50	5,00	37,50	2,00	0,00008
Agricultura solo profundo	60,00	9,00	31,00	2,00	0,00012
Campo solo raso	59,00	5,00	36,00	0,80	0,00034
Campo solo profundo	60,50	9,50	30,00	0,90	0,00090
Várzea	60,00	14,50	25,50	3,20	0,00007
Área semi-impermeável	48,00	22,00	30,00	0,80	0,00090

Ao analisar os gráficos e as métricas, nota-se que antes da calibração apresentou desempenho melhor, de forma geral. Os valores de correlação não sofreram muitas alterações, antes da calibração apresentava o valor 0,283 e após o valor 0,271 para a concentração de finos (Figura 77) e 0,040 e 0,039 para a descarga sólida de sedimentos (Figura 80). Para a PBIAS, a concentração passou de -54,32 para -65,88 e a descarga sólida de 30,07 para 23,07, antes e após a calibração, respectivamente, como pode ser observado na Tabela 38 e na Tabela 39. Além disso, os valores de NSE, NSE LOG e RSR não sofreram alterações significativas.

Dessa forma, apesar dos resultados se apresentarem um pouco melhor antes da calibração, optou-se por deixar esses valores, para que se mantivesse a coerência dos parâmetros físicos calibrados. Além disso, foi produzido mais sedimentos após a calibração, pois aumentou a quantidade de sedimentos a montante, como visto anteriormente. Então, com a finalidade de encontrar um melhor resultado para ambas as sub-bacias, diminuiu-se um pouco da produção de sedimentos de montante e aumentou um pouco a jusante. Além disso, essa é uma região que possui áreas de planícies de inundação, o que poderia ter gerado resultados não tão bons devido a utilização de uma metodologia de propagação de vazões mais simplificada.

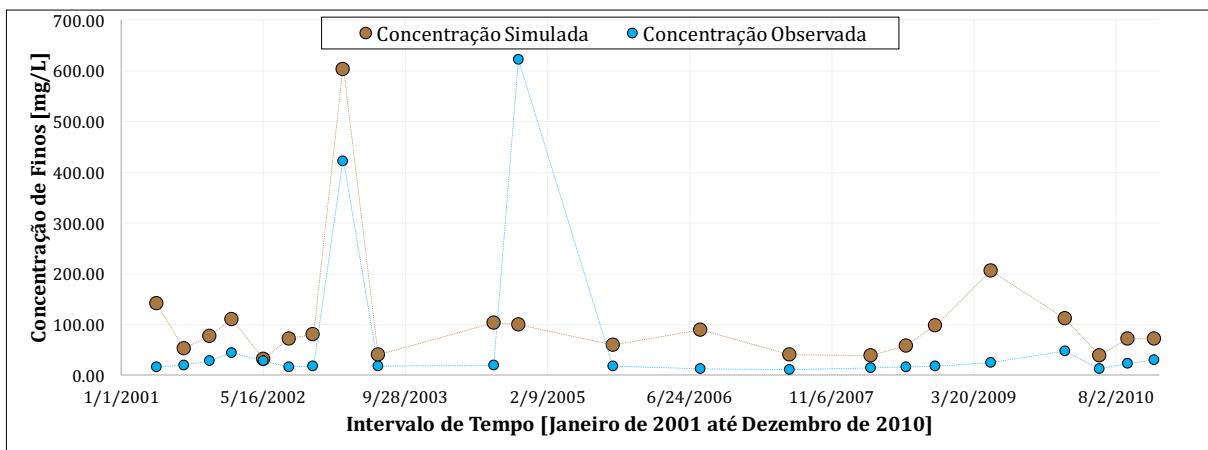


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

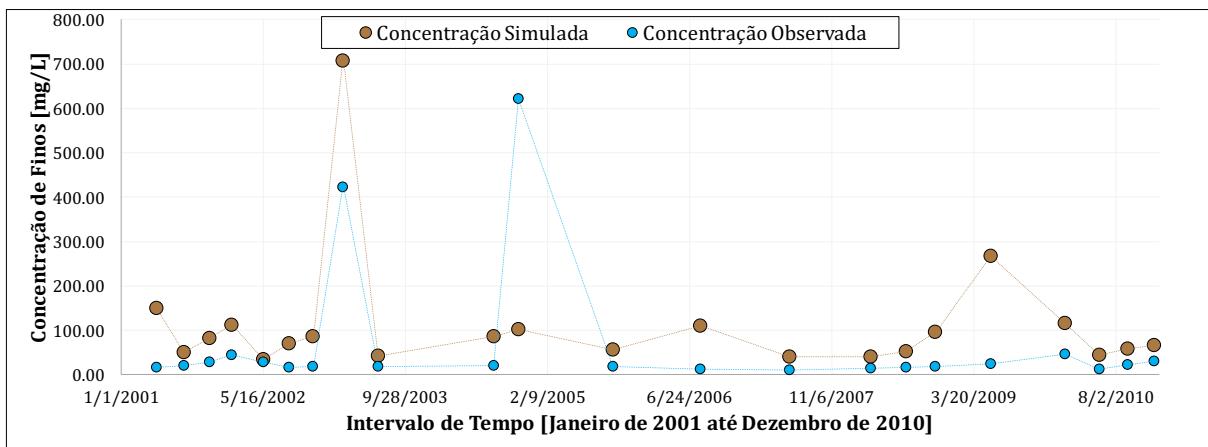


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 75. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).

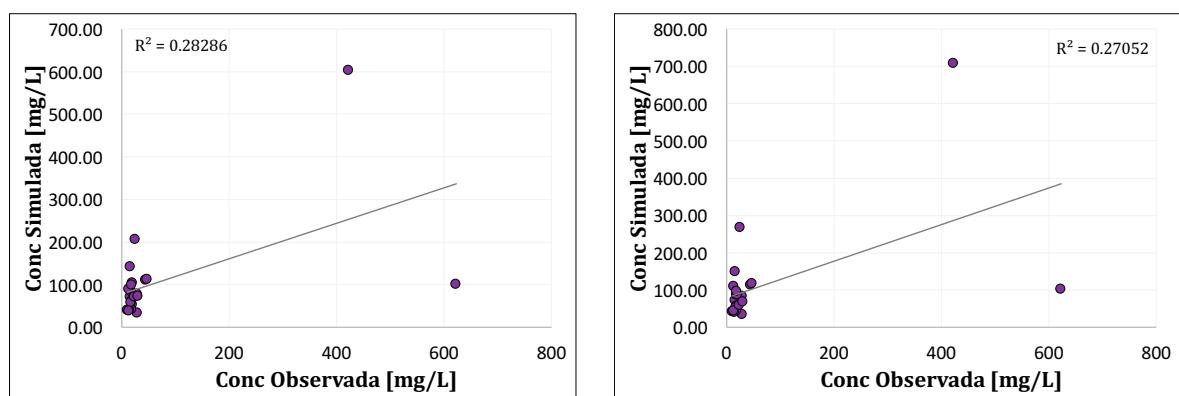


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 76. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

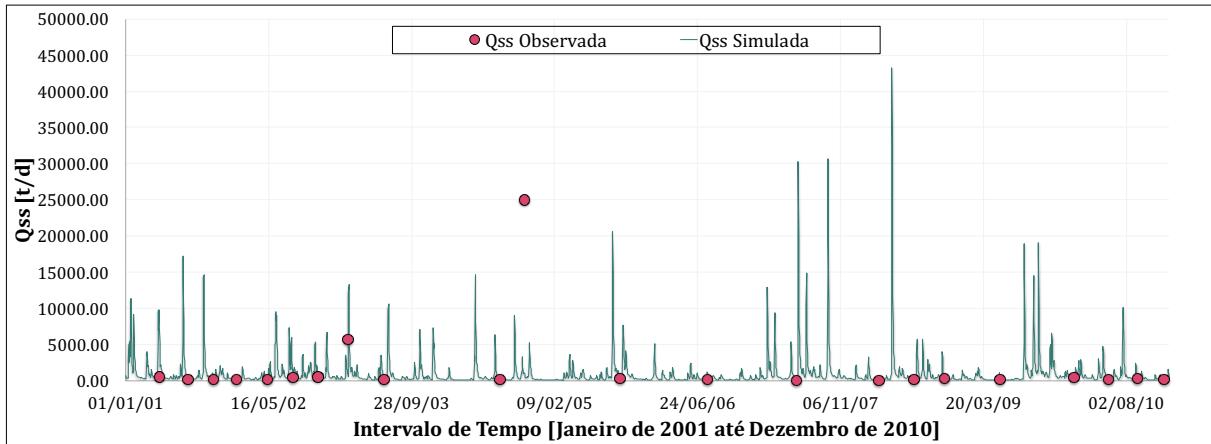
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 77. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Campo Bom (87380000).

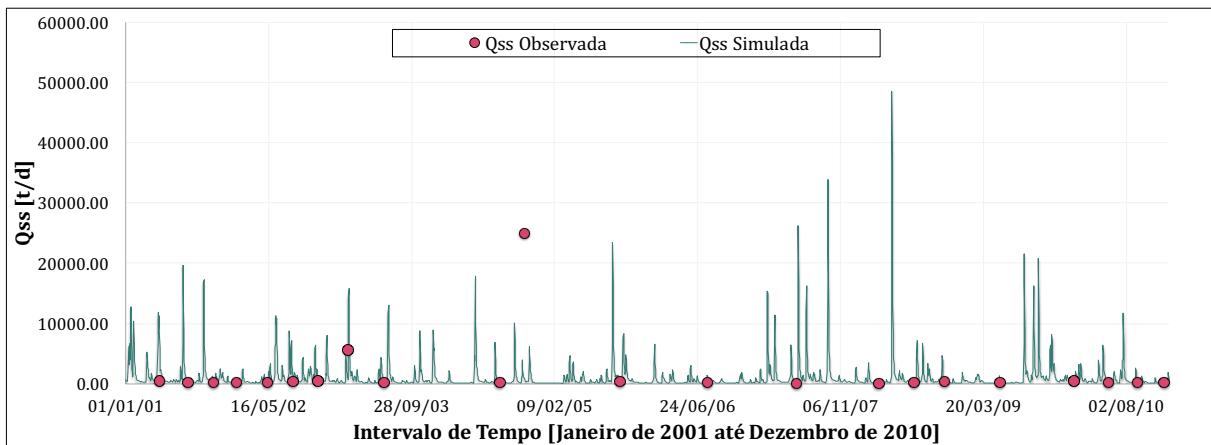
Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 38. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Campo Bom (87380000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,283	0,271
PBIAS (%)	-54,32	-65,88
RSR	0,92	1,00

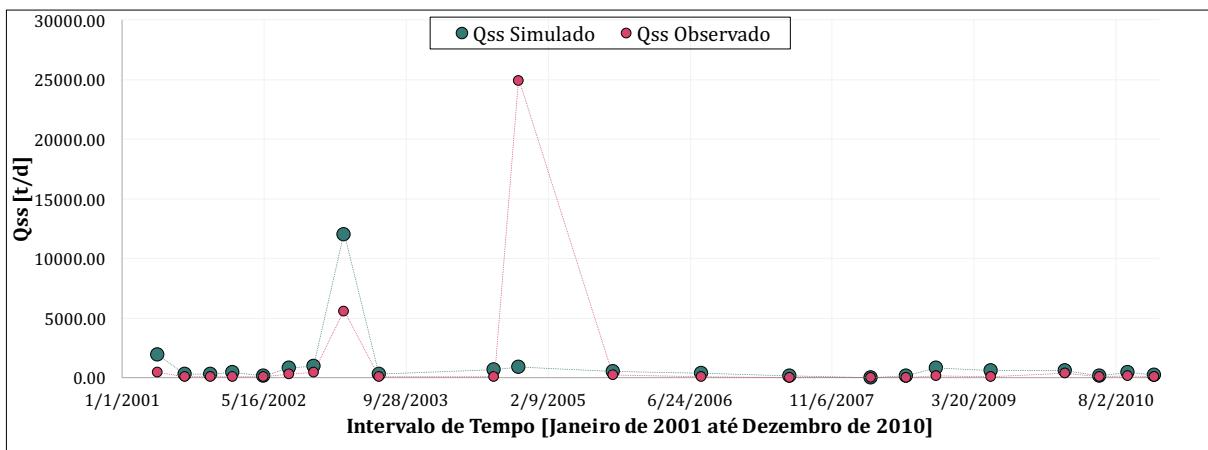


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

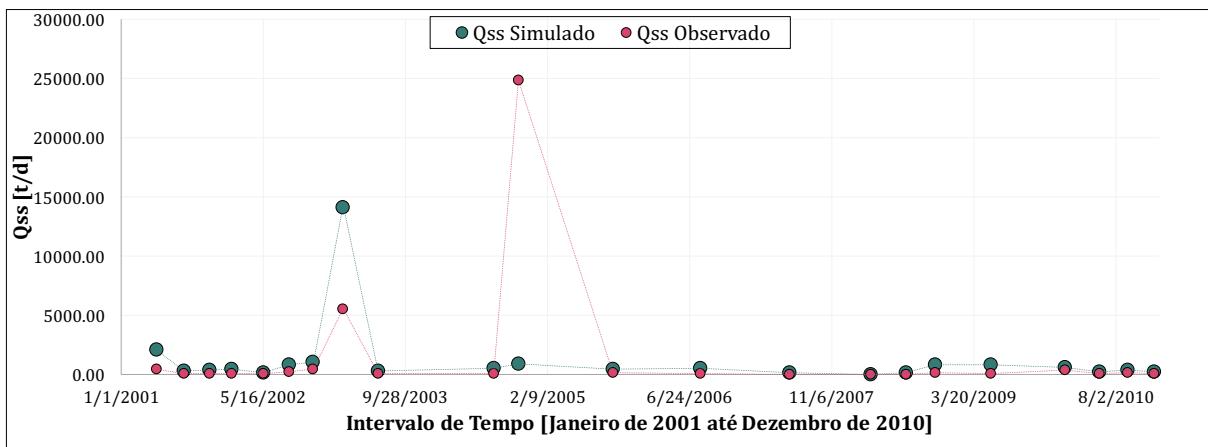


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 78. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).

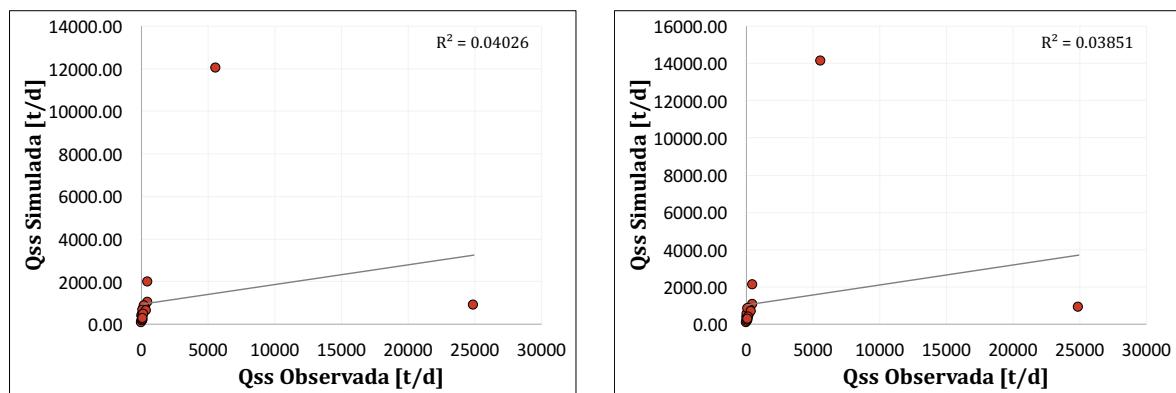


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 79. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Campo Bom (87380000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 80. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Campo Bom (87380000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 39. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Campo Bom (87380000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,040	0,039
NSE	-0,04	-0,09
NSE LOG	0,14	0,11
PBIAS (%)	30,07	23,07
RSR	1,02	1,04

5.1.5 Sub-bacia dos Rios Pardo e Baixo Jacuí

5.1.5.1 Estação fluviométrica Candelária Montante (85735000)

Essa estação está localizada na região do Baixo Jacuí, fica a jusante da estação do Alto Jacuí. Na Tabela 40, pode-se verificar os parâmetros utilizados para realizar a calibração da sub-bacia 15, a qual pertence a estação.

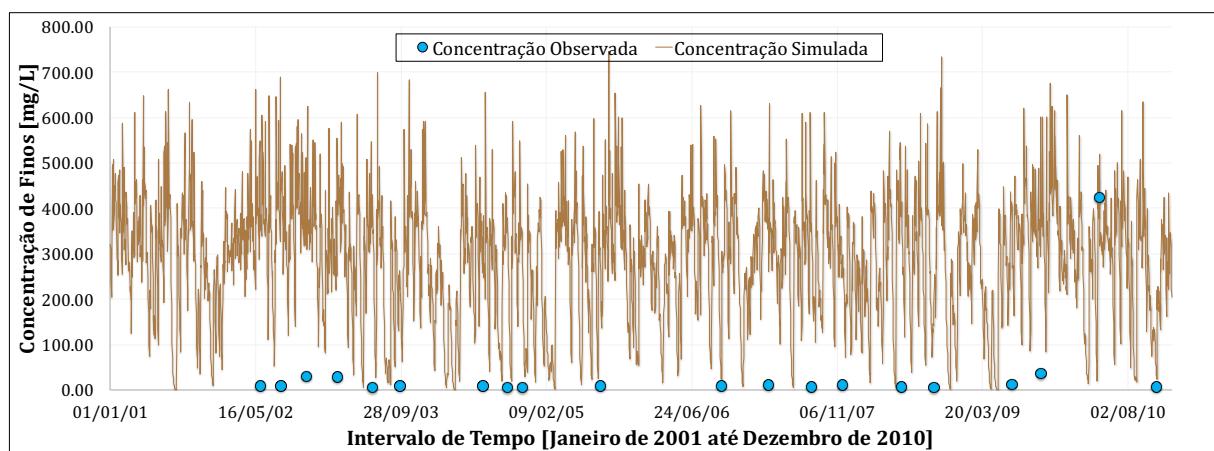
Tabela 40. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 15.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	48,50	12,00	39,50	3,00	0,00050
Floresta solo profundo	24,00	19,50	56,50	3,00	0,00080
Agricultura solo raso	51,00	12,00	37,00	0,80	0,00600
Agricultura solo profundo	28,00	20,00	52,00	0,80	0,00700
Campo solo raso	51,00	12,00	37,00	1,50	0,00600
Campo solo profundo	38,00	20,00	42,00	1,50	0,01000
Várzea	50,50	12,00	37,50	2,50	0,00900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,00	0,00370

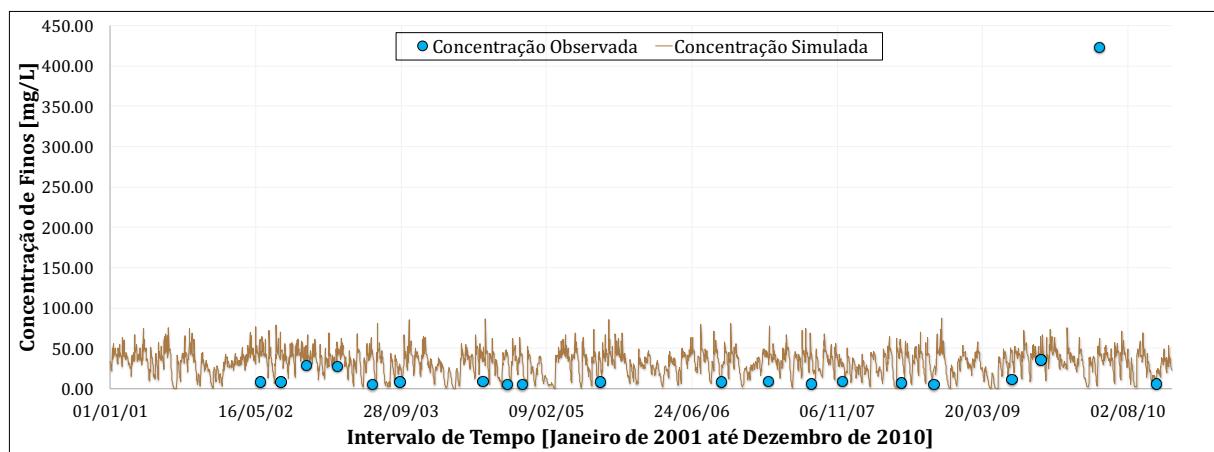
A modelagem hidrológica dessa estação, ao contrário da realizada no Alto Jacuí, apresenta valores de correlação e de NSE muito bons de aproximadamente 0,819 e acima de 0,8, respectivamente. Ao analisar a Figura 81, a Figura 82, a Figura 84 e a Figura 85, podemos perceber que o modelo superestimou os valores de concentração e descarga sólida de sedimentos antes da calibração, apresentando valores de PBIAS de -909,58 para concentração

e -223,68 para descarga sólida. Os valores de correlação, contudo, já se apresentaram bons mesmo antes da calibração, como pode ser verificado na Tabela 41 e na Tabela 42.

Dessa forma, determinou-se que seria realizada uma calibração visando estabelecer um valor próximo da maioria dos dados observados. Assim, os valores de concentração e descarga sólida reduziram consideravelmente, mostrando pelas figuras e pelas métricas um desempenho melhor do modelo. Mesmo apresentando um valor de pico fora da média geral dos dados observados, os valores de correlação aumentaram para 0,268 e 0,561 para concentração de finos e descarga sólida. O valor de NSE se manteve igual e o NSE LOG passou de -2,83 para 0,18. De todas as métricas, a PBIAS foi que apresentou melhor desempenho com a calibração, apresentando valores de -15,68 e 63,40, para concentração de finos e descarga sólida, respectivamente.

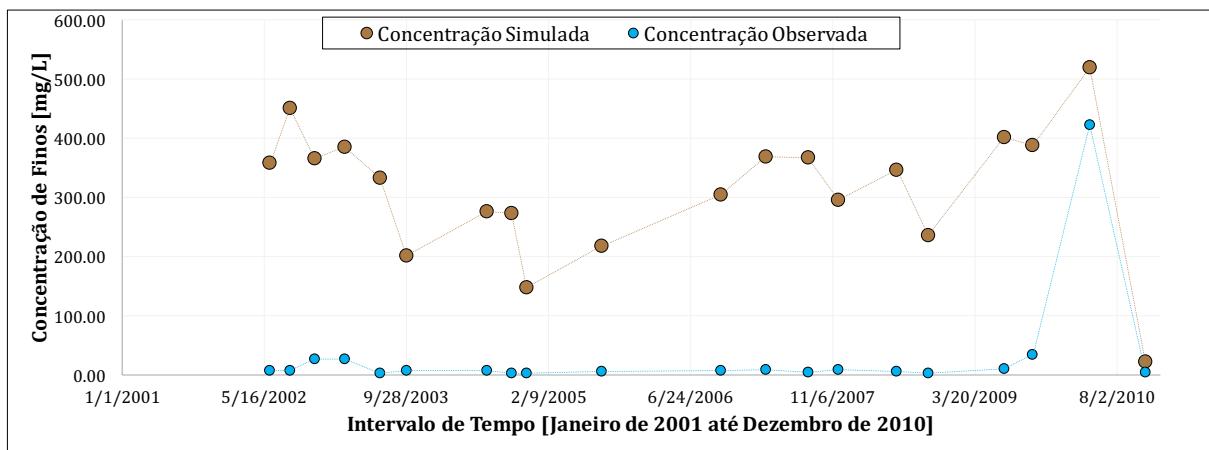


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

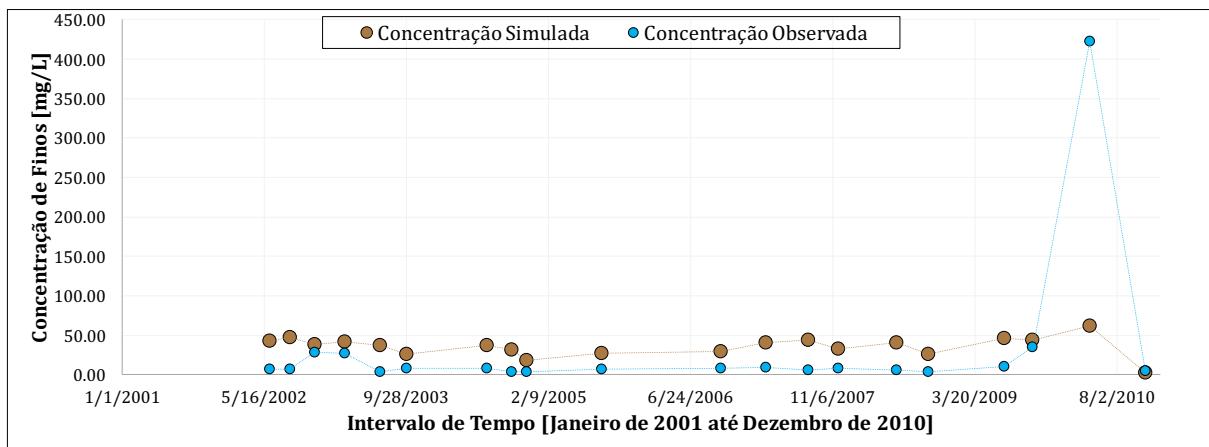


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 81. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).

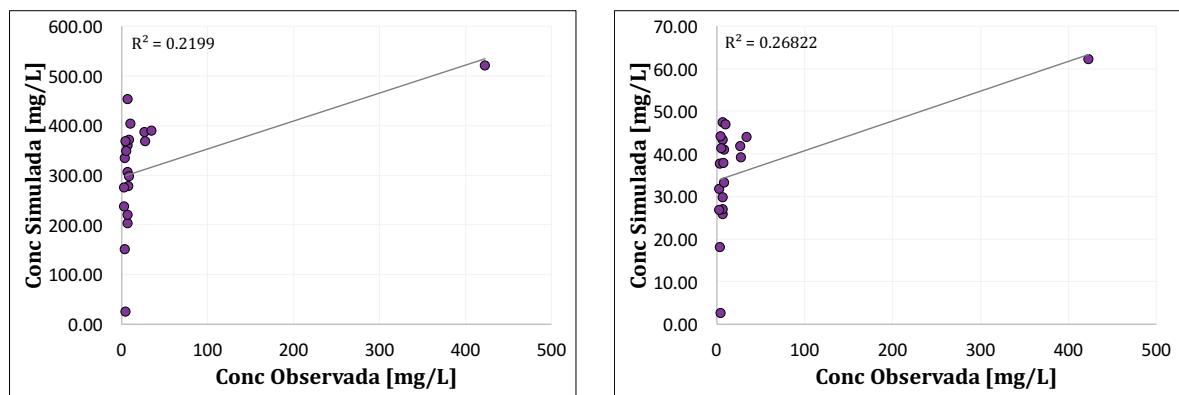


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 82. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

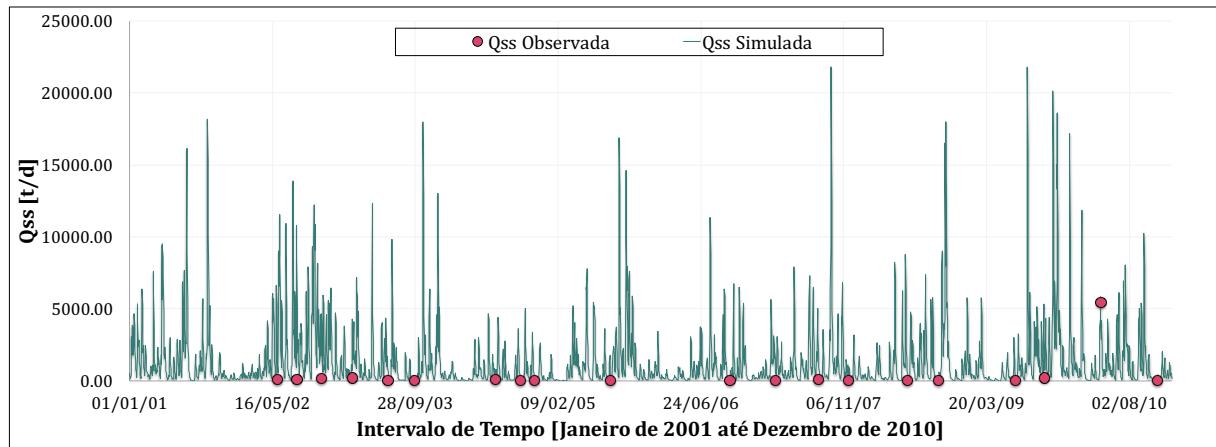
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 83. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).

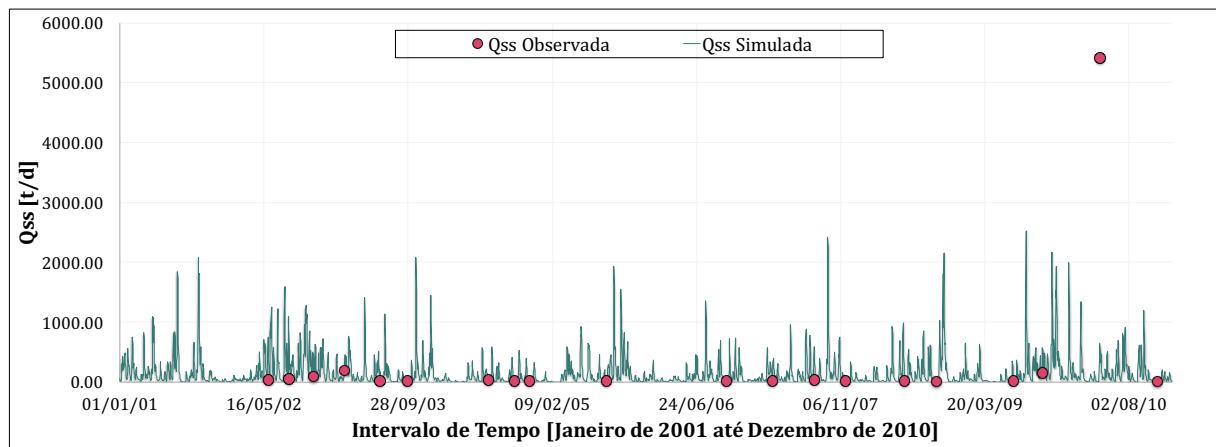
A concentração de pico apresentada nos gráficos pode estar relacionada a algum evento extremo, processos intensivos de erosão ou, até mesmo, falhas na amostragem de sedimentos do trecho do rio.

Tabela 41. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Candelária Montante (85735000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,220	0,268
PBIAS (%)	-909,58	-15,68
RSR	3,33	0,94

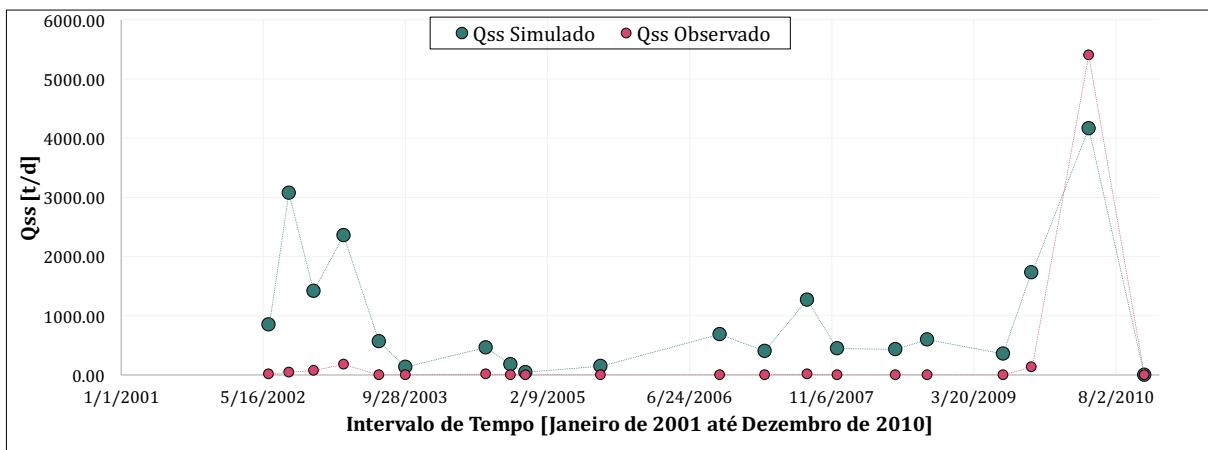


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

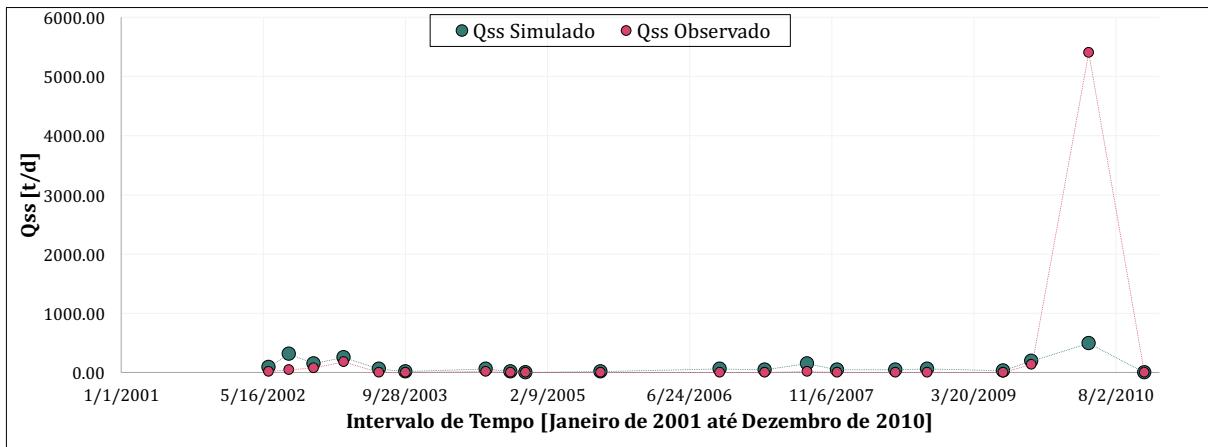


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 84. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Candelária Montante (85735000).

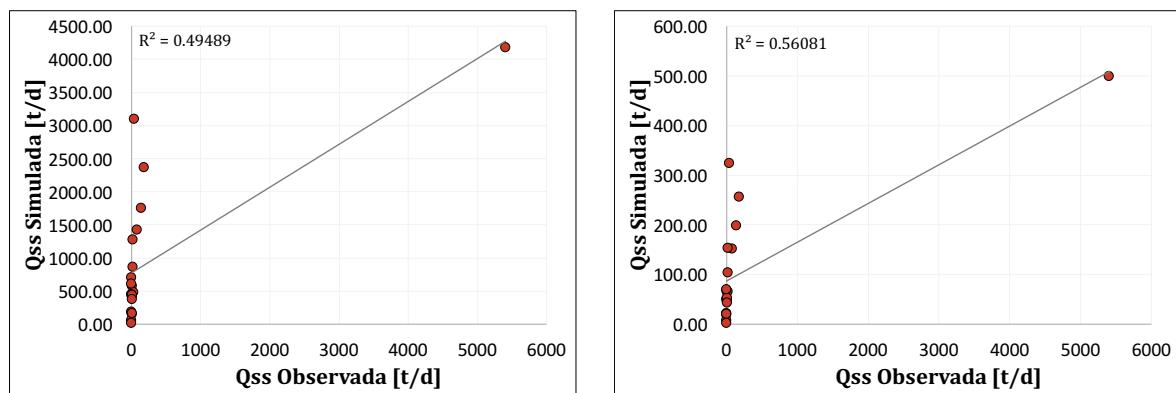


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 85. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluiométrico Candelária Montante (85735000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 86. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluiométrico Candelária Montante (85735000).

Tabela 42. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Candelária Montante (85735000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,495	0,561
NSE	0,12	0,12
NSE LOG	-2,83	0,18
PBIAS (%)	-223,68	63,40
RSR	0,94	0,94

5.1.5.2 Estação fluviométrica Rio Pardo (85900000)

A estação fluviométrica Rio Pardo fica a jusante da estação Candelária Montante. A Tabela 43 apresenta os resultados determinados para a calibração da área.

Tabela 43. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 15.

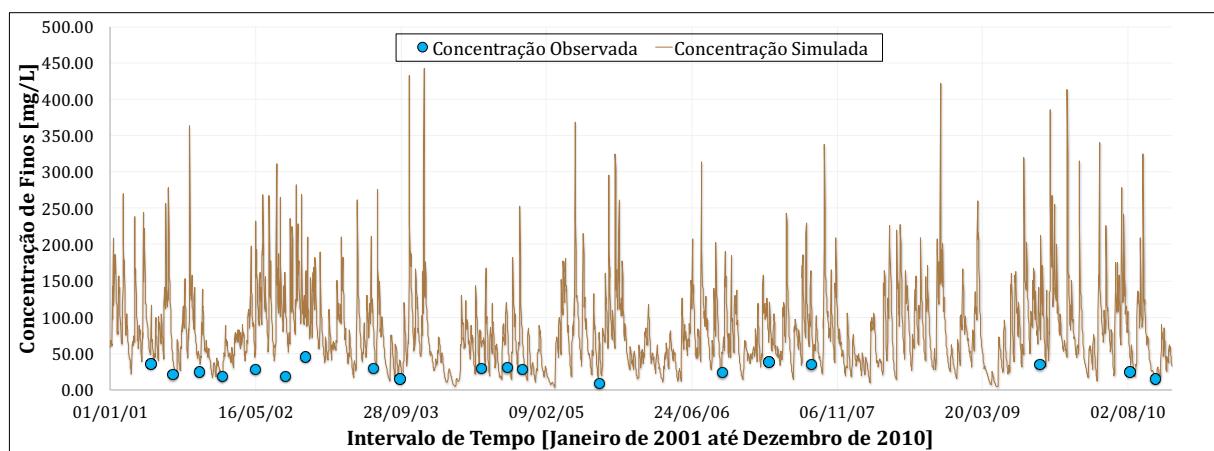
URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	48,50	12,00	39,50	3,00	0,00050
Floresta solo profundo	24,00	19,50	56,50	3,00	0,00080
Agricultura solo raso	51,00	12,00	37,00	0,80	0,00600
Agricultura solo profundo	28,00	20,00	52,00	0,80	0,00700
Campo solo raso	51,00	12,00	37,00	1,50	0,00600
Campo solo profundo	38,00	20,00	42,00	1,50	0,01000
Várzea	50,50	12,00	37,50	2,50	0,00900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,00	0,00370

Apesar de apresentar resultados medianos de correlação para a modelagem hidrológica, com r próximo de 0,692, apresentou ótimos resultados de correlação para concentração e descarga sólida, mesmo antes da calibração. Essa é uma das estações que demonstrou maior coerência entre os dados observados e simulados. Além disso, após a calibração, o desempenho da simulação melhorou significativamente, apresentando ótimos valores para as métricas de desempenho.

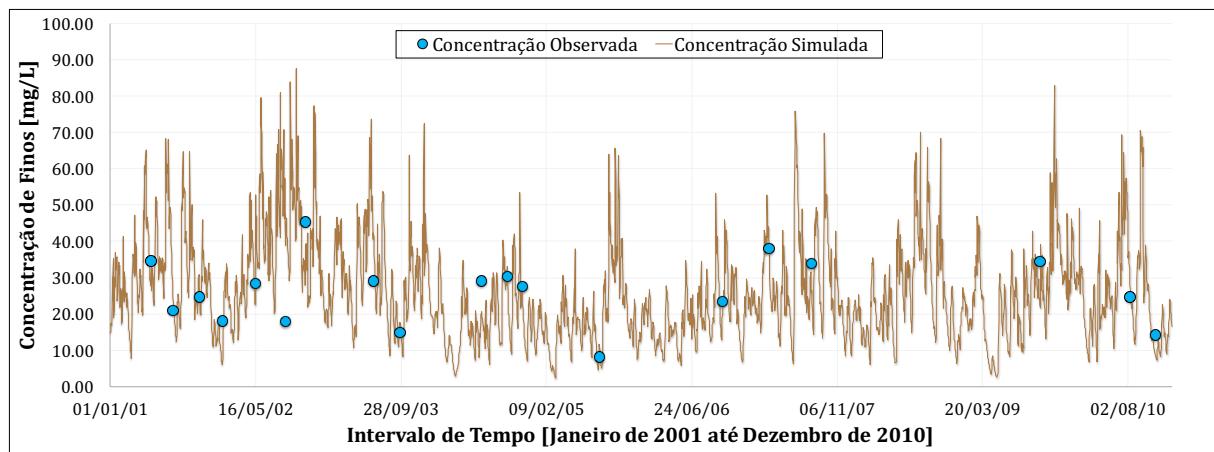
Como pode ser verificado na Tabela 44 e na Tabela 45, apesar de ter diminuído o valor de r , ainda apresenta um desempenho muito bom, com valores de 0,351 para concentração de

sedimentos finos e 0,644 para descarga sólida de sedimentos. Os valores de NSE e NSE LOG encontrados são 0,61 e 0,79, respectivamente. Além disso, os valores de PBIAS foram muito satisfatórios, apresentando valores de 6,55 e 17,83 para concentração e descarga de sólida, respectivamente. Os valores de RSR melhoraram muito após a calibração, com valores de 1,01 e 0,63 para concentração e descarga sólida de sedimentos.

Além disso, quando é realizada uma análise qualitativa das simulações antes e depois da calibração, nota-se visualmente a coerência dos dados após a calibração. Provavelmente o bom desempenho da calibração dessa sub-bacia é devido ao fato de ela receber contribuição de outras sub-bacias a montante, dessa forma, a medida que as bacias de montante obtêm um bom desempenho de calibração, as bacias de jusante melhoram seu desempenho e calculam dados mais coerentes.

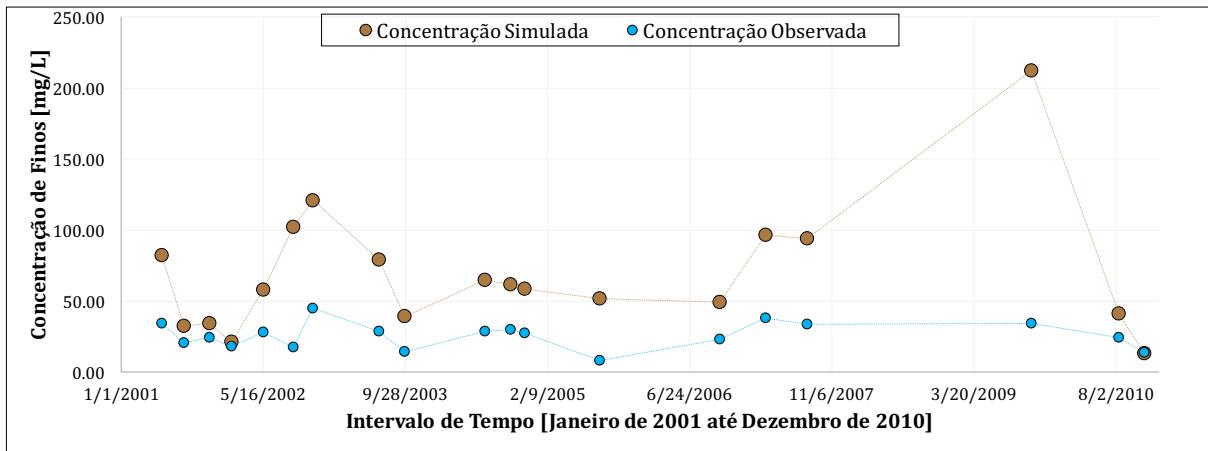


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

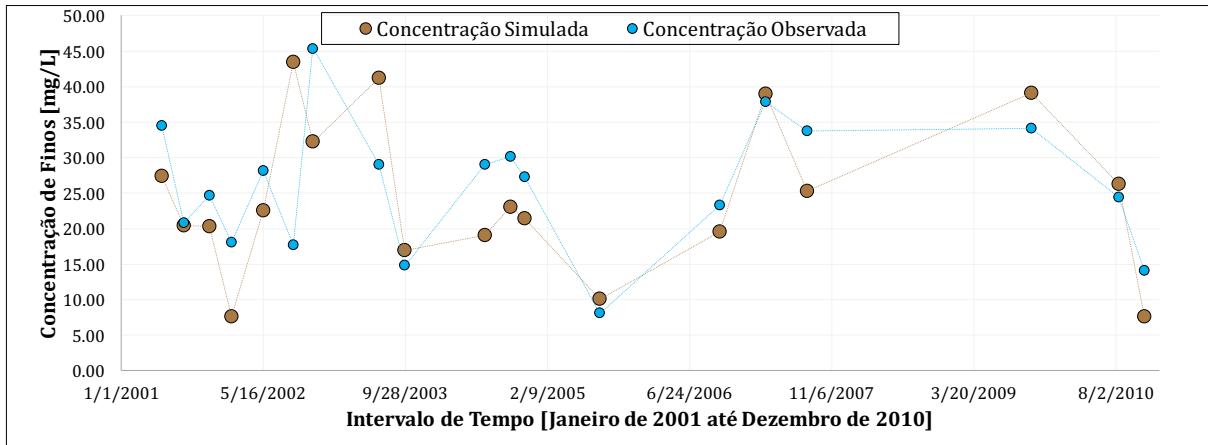


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 87. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).

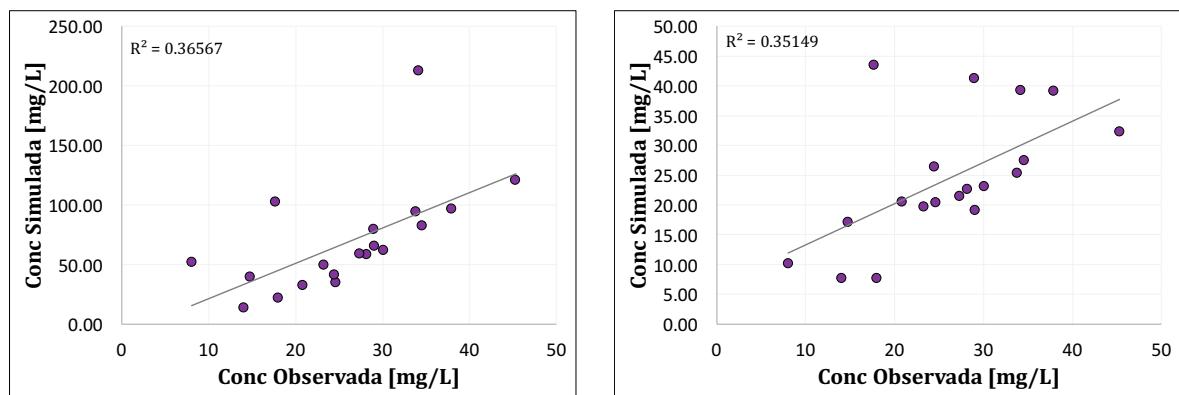


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 88. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).



(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

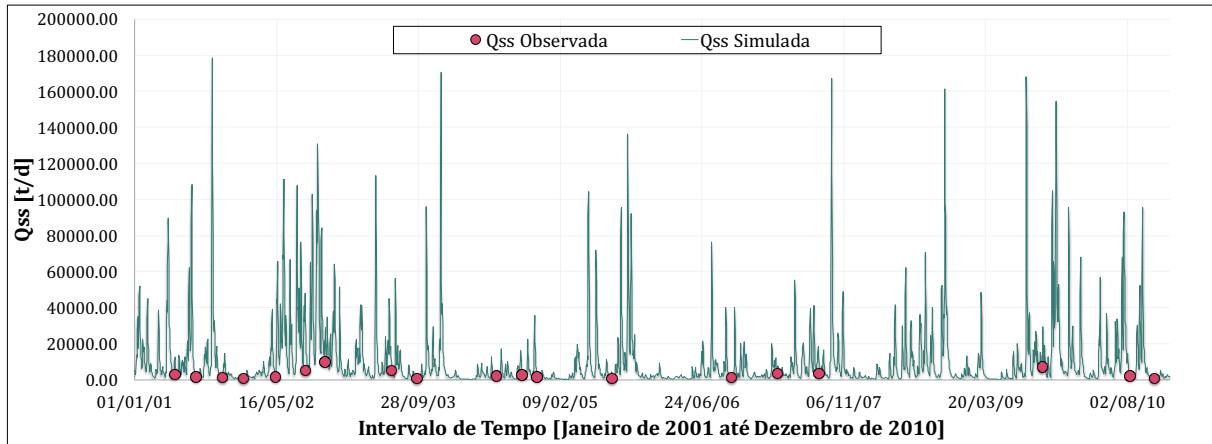
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 89. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).

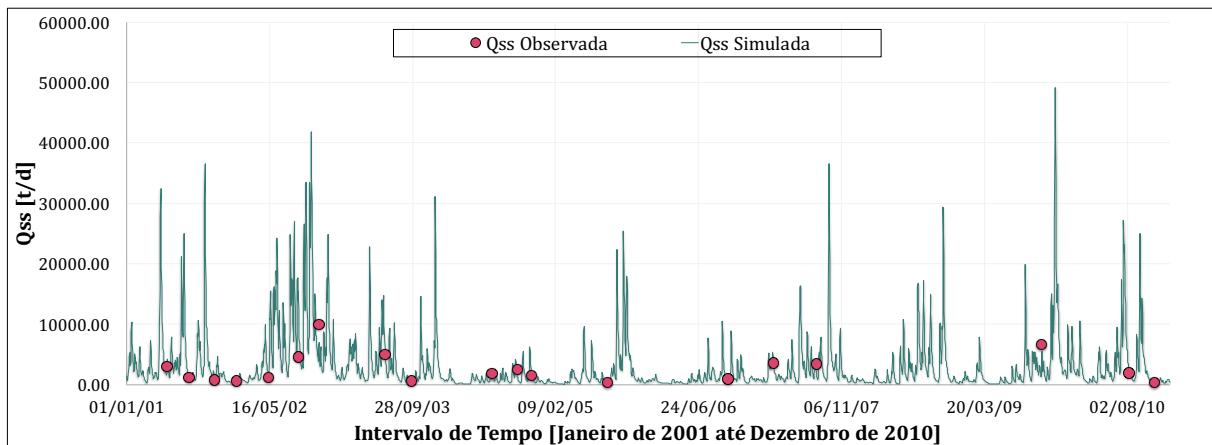
Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 44. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Rio Pardo (85900000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,366	0,351
PBIAS (%)	-165,43	6,55
RSR	6,52	1,01

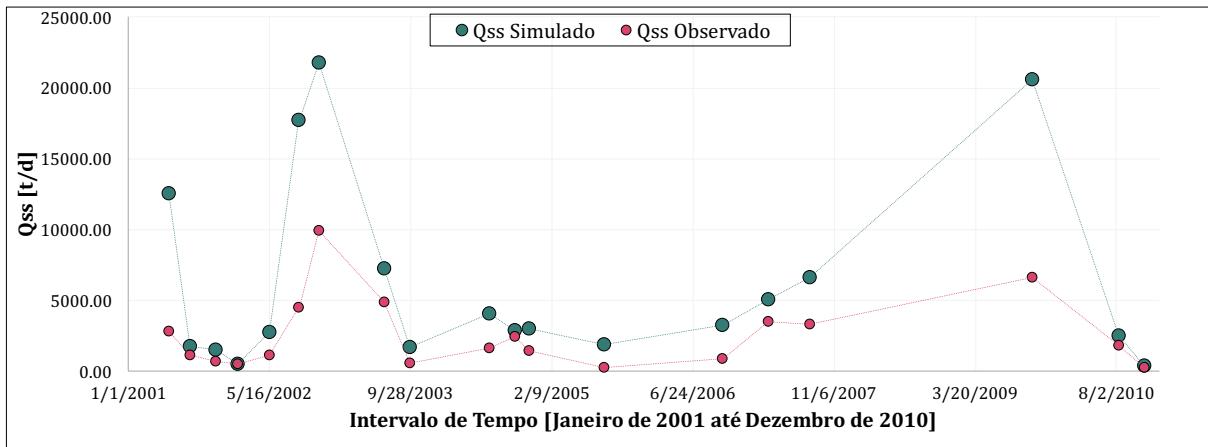


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

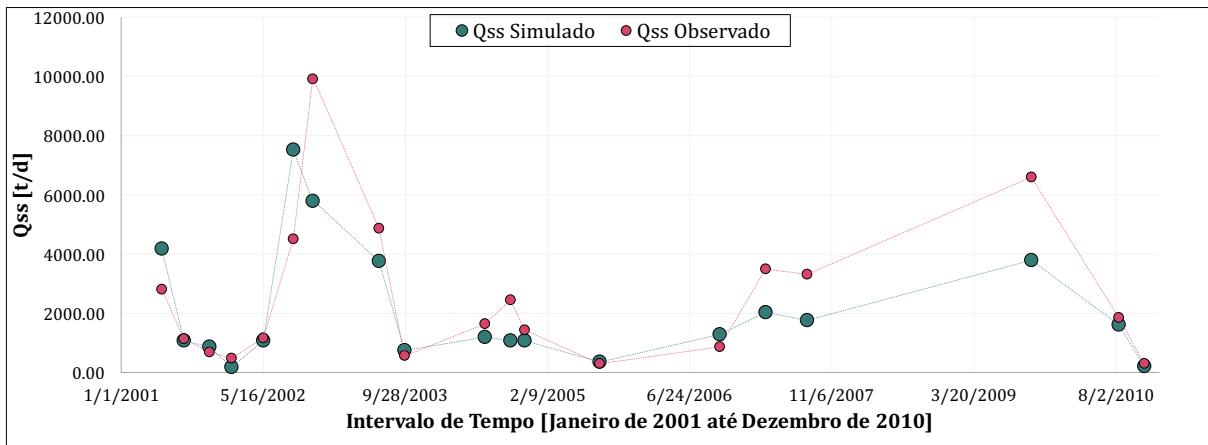


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 90. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).

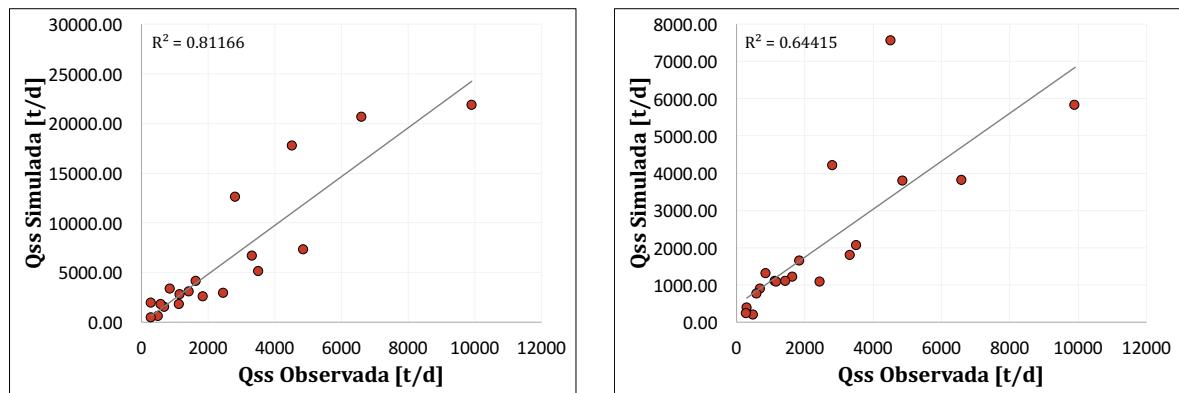


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 91. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 92. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Rio Pardo (85900000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

Tabela 45. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Rio Pardo (85900000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,812	0,644
NSE	-4,77	0,61
NSE LOG	0,12	0,79
PBIAS (%)	-143,38	17,83
RSR	2,40	0,63

5.1.6 Sub-bacia dos Rio Vacacaí e Vacacaí-Mirim

5.1.6.1 Estação fluviométrica Passo das Tunas (85600000)

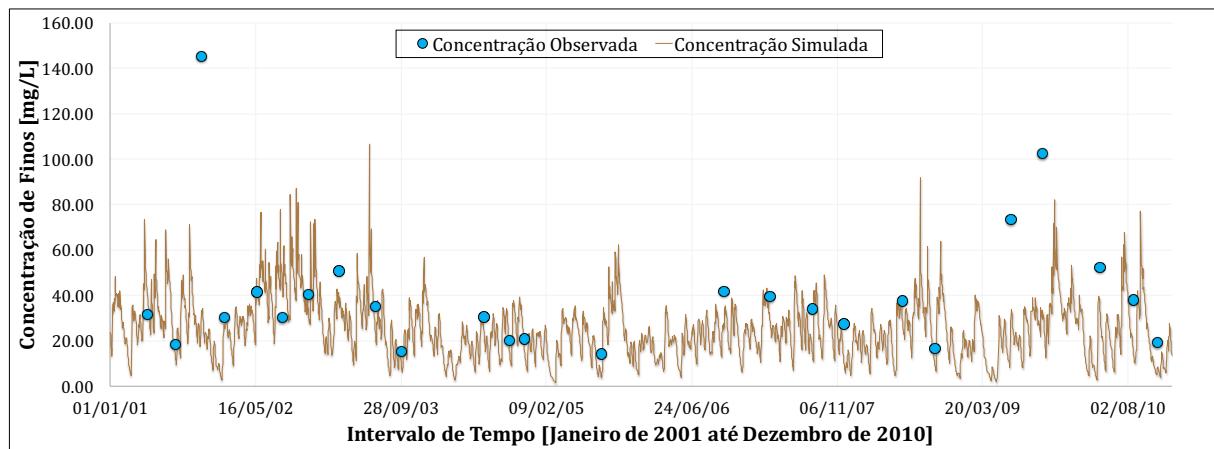
A estação fluviométrica Passo das Tunas se encontra na região do Rio Vacacaí, antes da confluência com o Rio Jacuí. A Tabela 46 se refere aos valores utilizados para realizar a calibração do modelo para a sub-bacia 14.

Tabela 46. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 14.

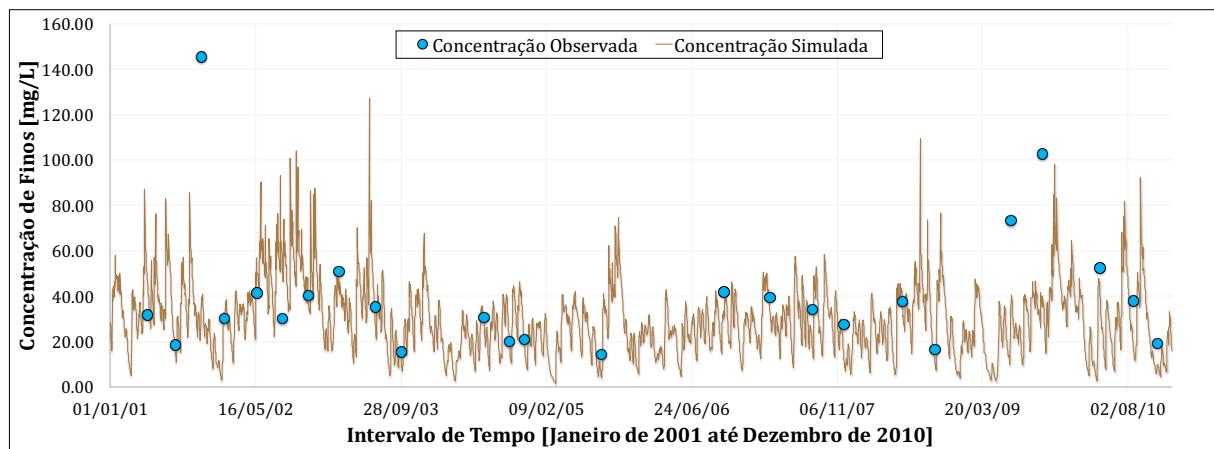
URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	52,80	22,20	25,00	1,32	0,02000
Floresta solo profundo	26,30	23,70	50,00	2,02	0,02000
Agricultura solo raso	50,80	17,20	32,00	1,74	0,02000
Agricultura solo profundo	33,20	16,30	50,50	1,93	0,02500
Campo solo raso	57,00	17,00	26,00	1,17	0,02500
Campo solo profundo	58,95	15,55	25,50	0,87	0,22000
Várzea	32,20	16,30	51,50	1,93	0,05000
Área semi-impermeável	53,30	17,20	30,50	1,74	0,05000

Ao analisar a Tabela 47 e a Tabela 48, nota-se que antes da calibração o modelo já apresentava um bom desempenho para a sub-bacia em questão. Dessa forma, ajustou-se os parâmetros *default* do modelo, de modo que estivessem condizentes com os aspectos físicos da região e de forma que aumentasse a produção de sedimentos na sub-bacia, com a finalidade de obter melhores valores de PBIAS.

Destaca-se os valores obtidos para NSE e NSE LOG de 0,71 e 0,81, respectivamente. Além disso, o valor de r para descarga sólida, que ficou em aproximadamente 0,737, e os valores de PBIAS que foram 34,07% e 16,97%, respectivamente.



(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

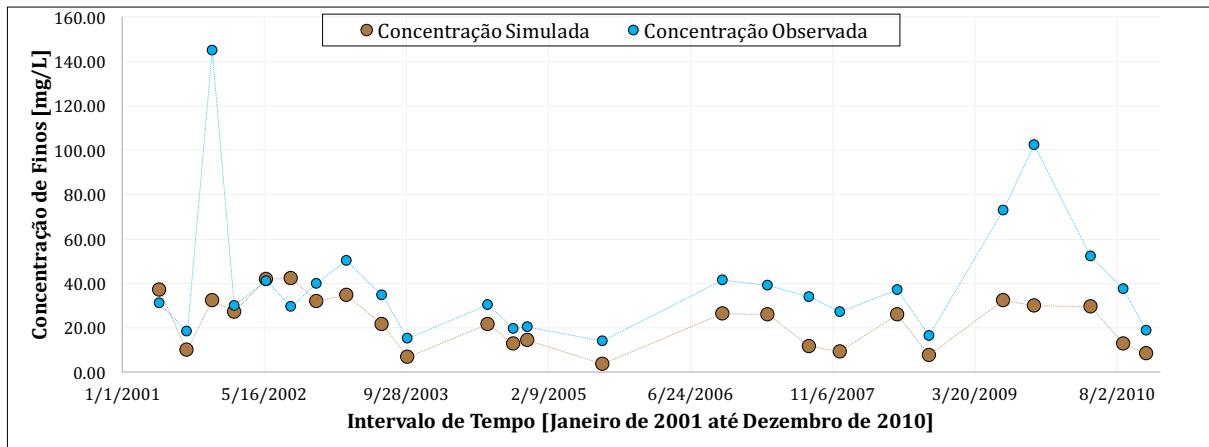


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

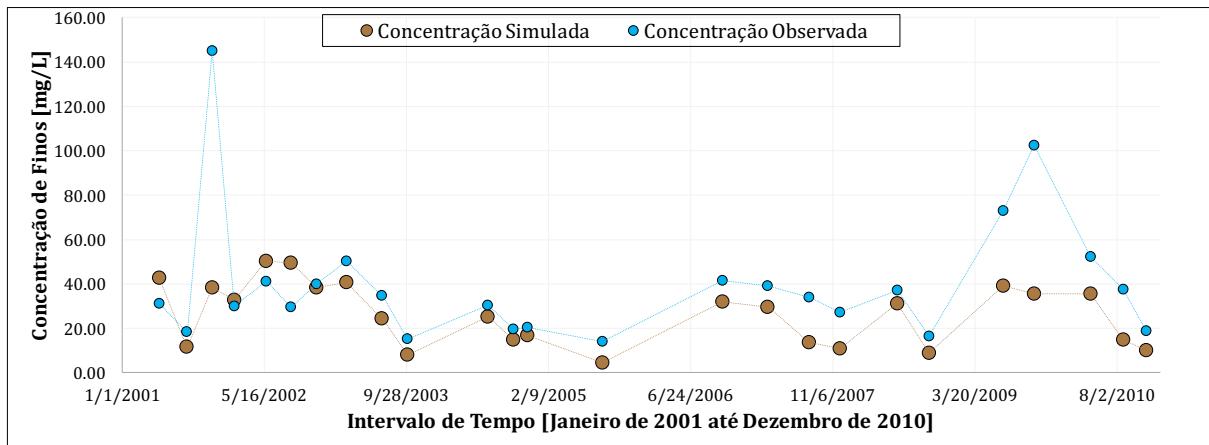
Figura 93. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).

Tabela 47. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo das Tunas (85600000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,250	0,256
PBIAS (%)	44,11	34,07
RSR	1,07	0,99

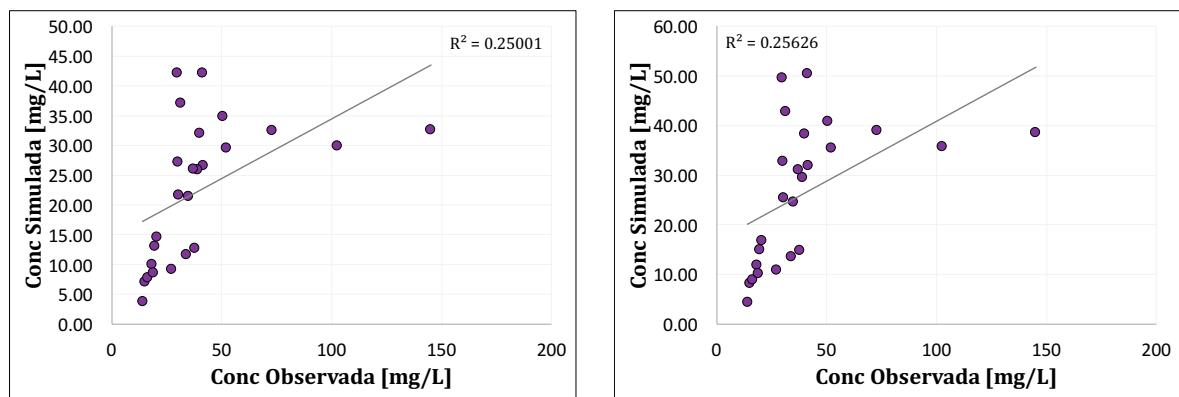


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

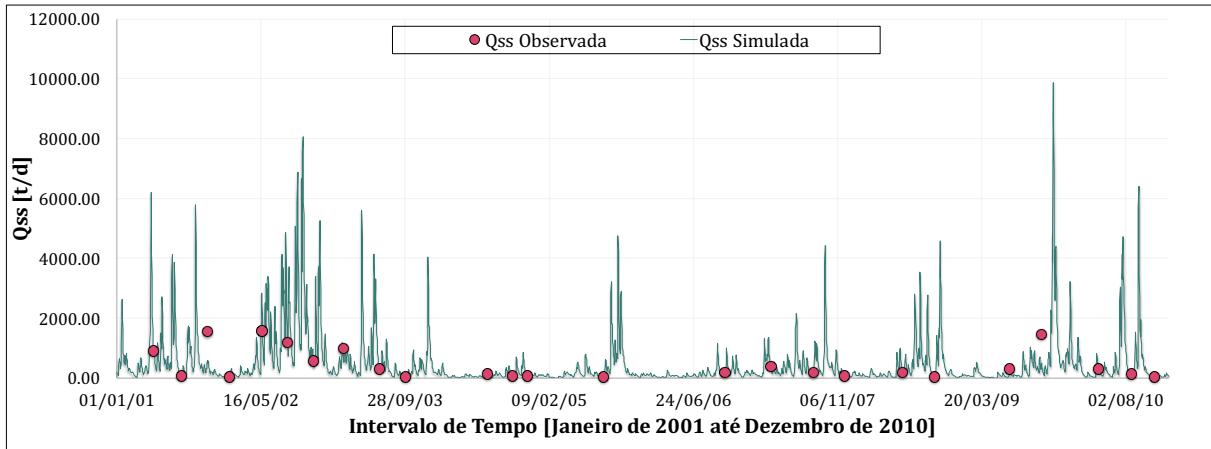
Figura 94. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).



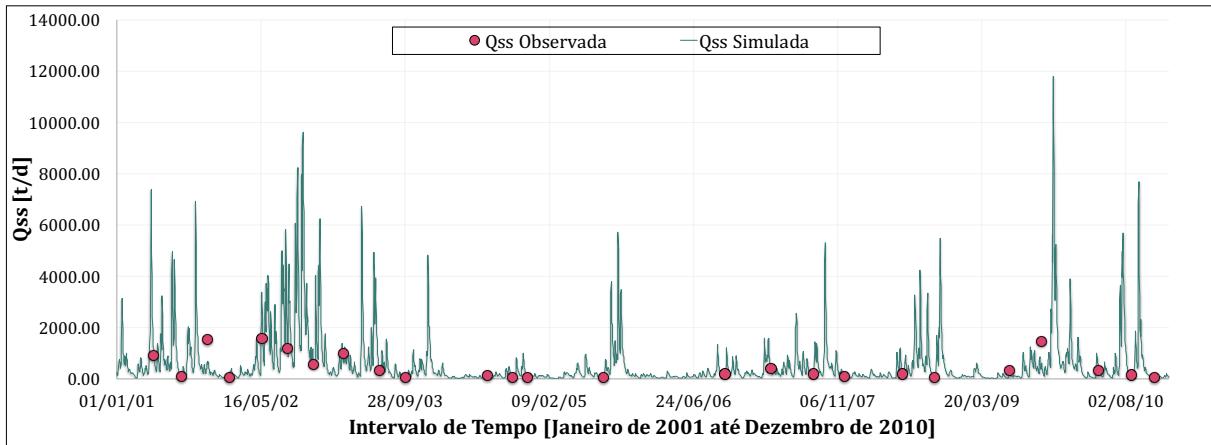
(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 95. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

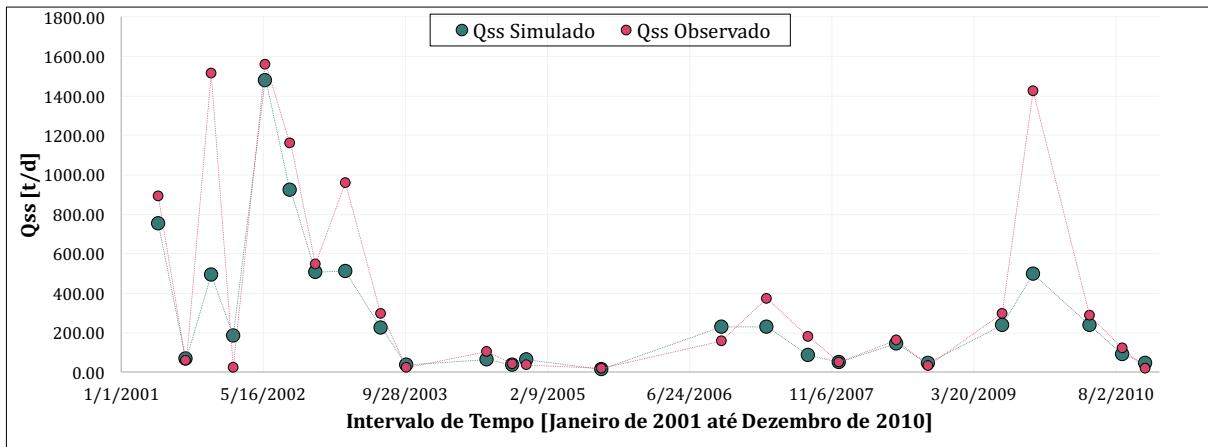


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

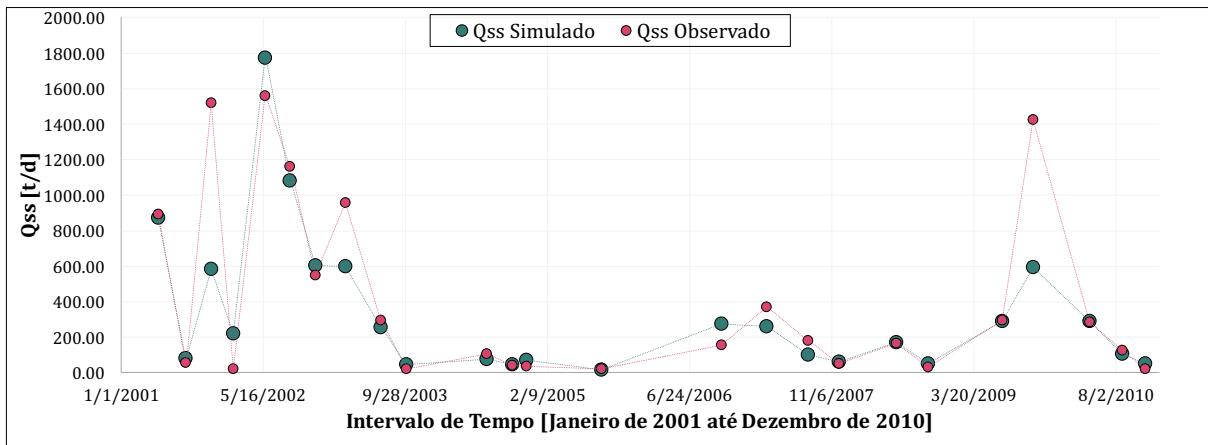
Figura 96. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).

Tabela 48. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo das Tunas (85600000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,739	0,737
NSE	0,64	0,71
NSE LOG	0,81	0,81
PBIAS (%)	29,70	16,97
RSR	0,60	0,53

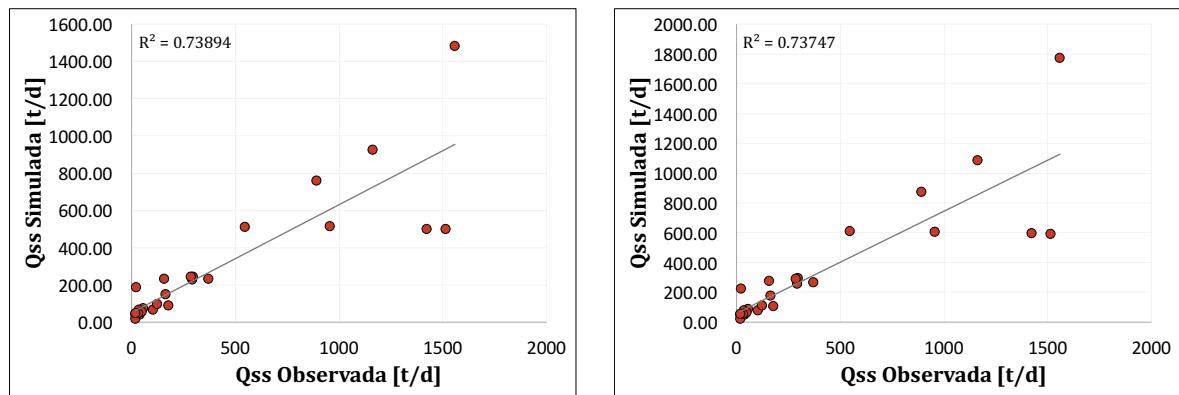


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 97. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 98. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo das Tunas (85600000).

5.1.6.2 Estação fluviométrica São Sepé Montante (85623000)

A estação fluviométrica São Sepé Montante se localiza no Rio São Sepé, antes da confluência com o Rio Vacacaí. Assim como a estação Passo das Tunas, a estação São Sepé Montante também se localiza na sub-bacia 14. A Tabela 49 se refere aos valores de calibração da sub-bacia.

Tabela 49. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 14.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	52,80	22,20	25,00	1,32	0,02000
Floresta solo profundo	26,30	23,70	50,00	2,02	0,02000
Agricultura solo raso	50,80	17,20	32,00	1,74	0,02000
Agricultura solo profundo	33,20	16,30	50,50	1,93	0,02500
Campo solo raso	57,00	17,00	26,00	1,17	0,02500
Campo solo profundo	58,95	15,55	25,50	0,87	0,22000
Várzea	32,20	16,30	51,50	1,93	0,05000
Área semi-impermeável	53,30	17,20	30,50	1,74	0,05000

Como ambas as estações se encontram na mesma sub-bacias de calibração, foi necessário ajustar os dados de forma que se adequasse os valores para ambas as estações. Assim, aumentar os sedimentos de forma geral foi positivo para a presente estação, também, como pode ser observado pela Tabela 50 e pela Tabela 51.

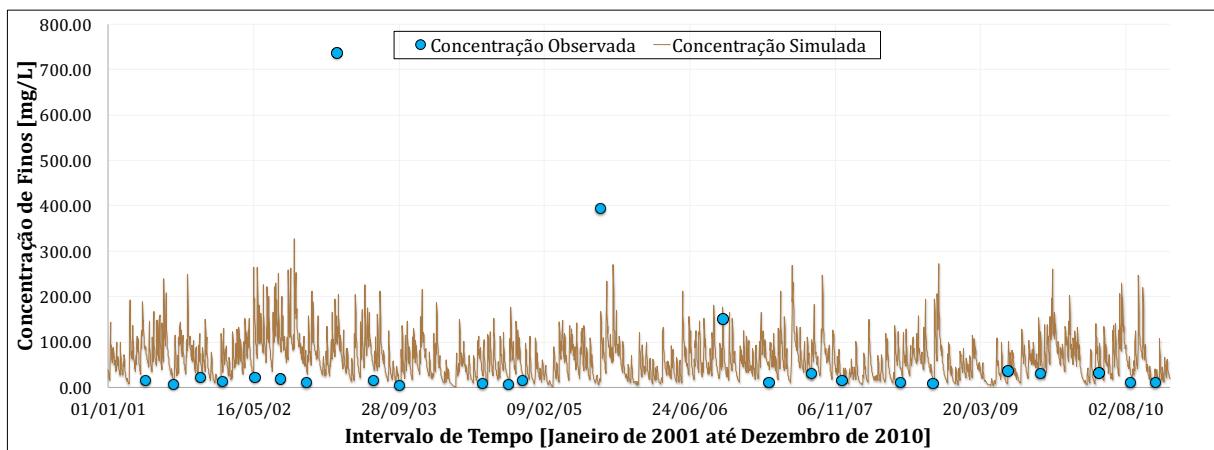
As métricas de desempenho, bem como a análise qualitativa não apresentaram alterações bruscas, ao comparar o antes e o depois da calibração. Contudo, pode-se perceber que houve melhorias no desempenho do modelo. Destaca-se os valores de PBIAS, que após a calibração, foram -11,97% e 56,48, para concentração e descarga sólida de sedimentos, esse último ainda não sendo considerado um valor muito satisfatórios, mas muito próximo de 55%.

Tabela 50. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto São Sepé Montante (85623000).

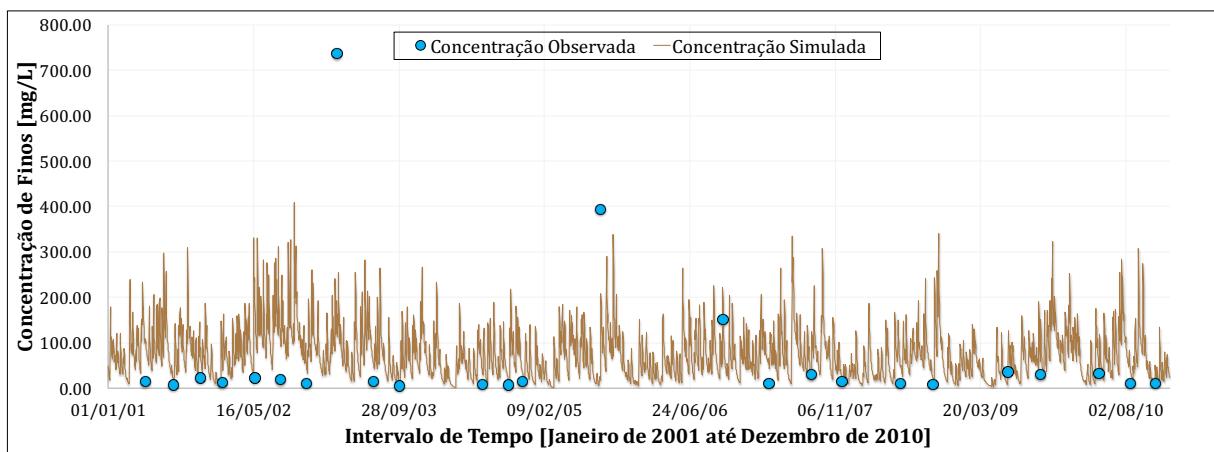
Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,400	0,402
PBIAS (%)	7,25	-11,97
RSR	0,85	0,82

Tabela 51. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto São Sepé Montante (85623000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,625	0,623
NSE	0,15	0,20
NSE LOG	0,32	0,21
PBIAS (%)	64,19	56,48
RSR	0,92	0,90

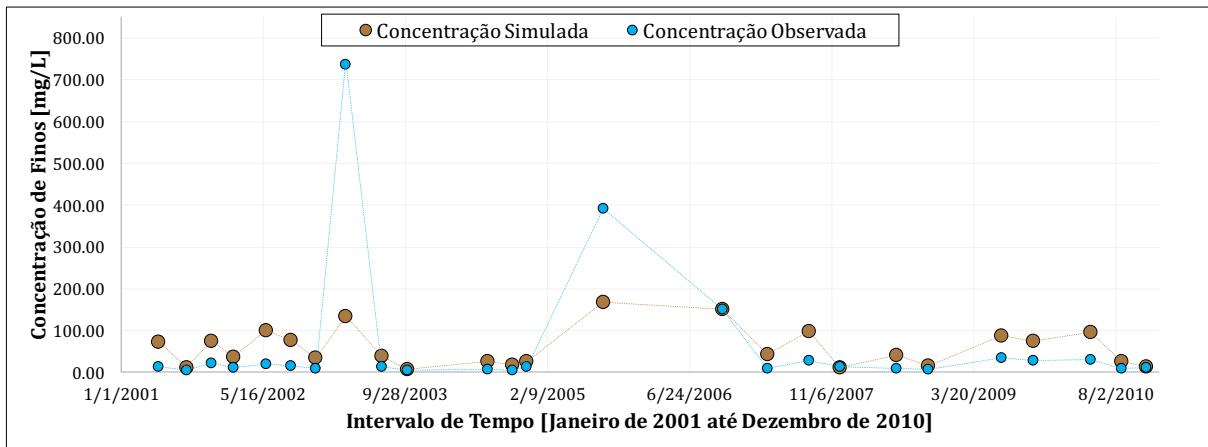


(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

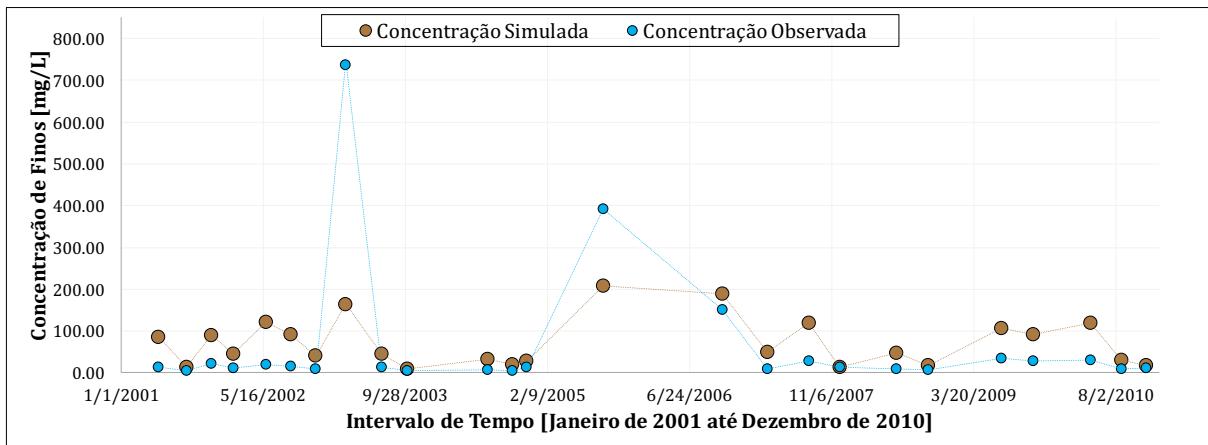


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 99. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).

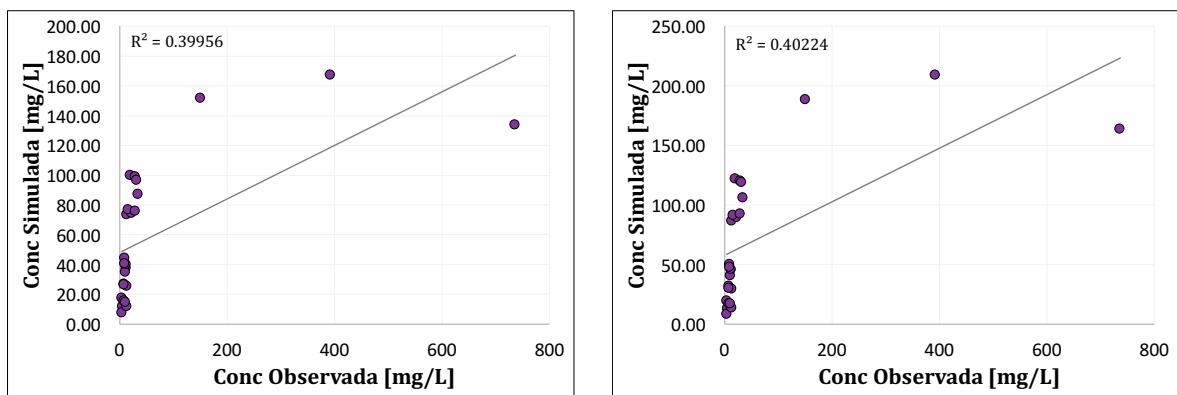


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 100. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).

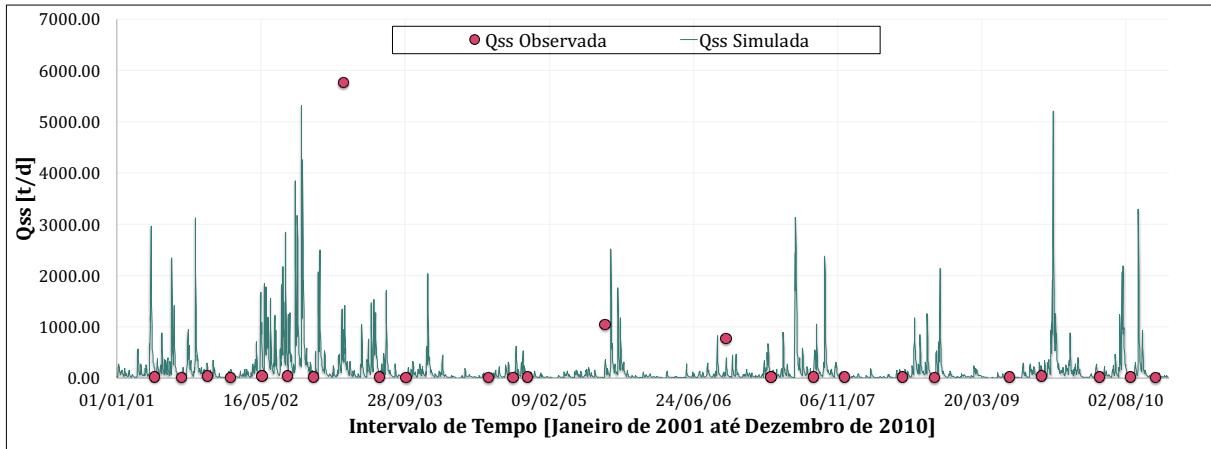


(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

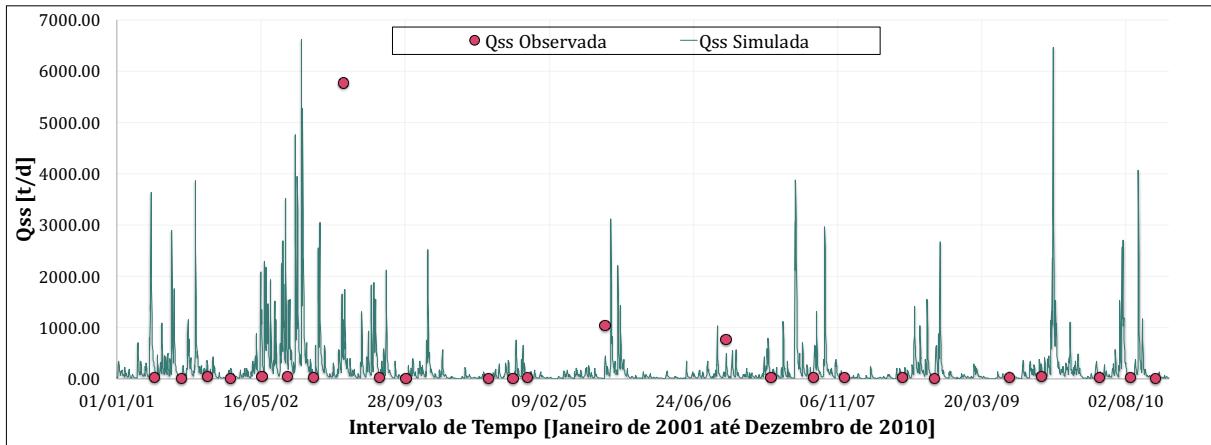
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 101. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

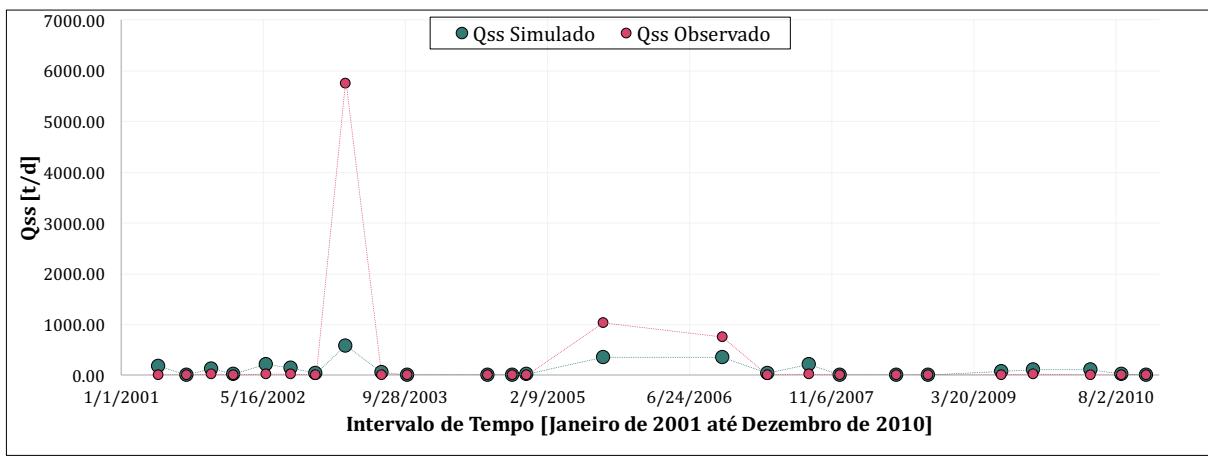


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

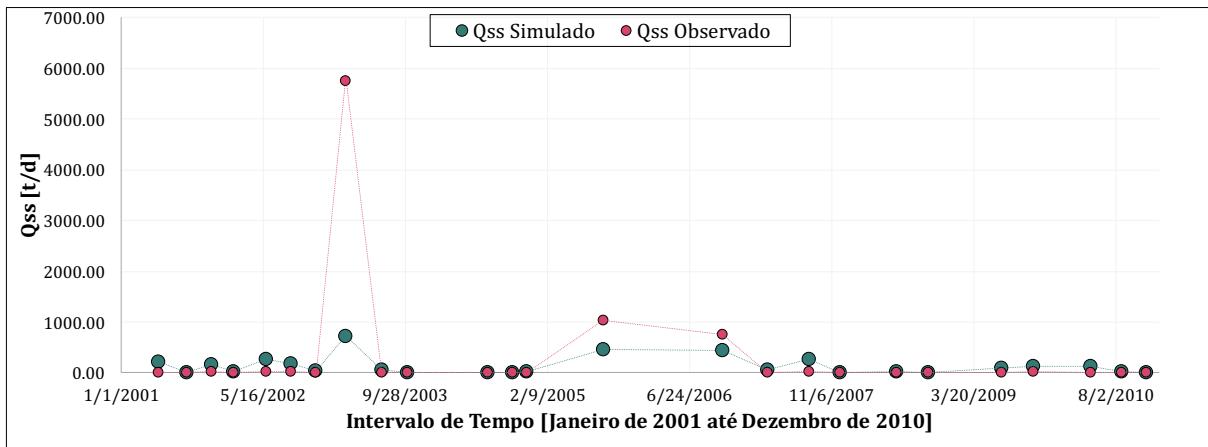


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 102. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).

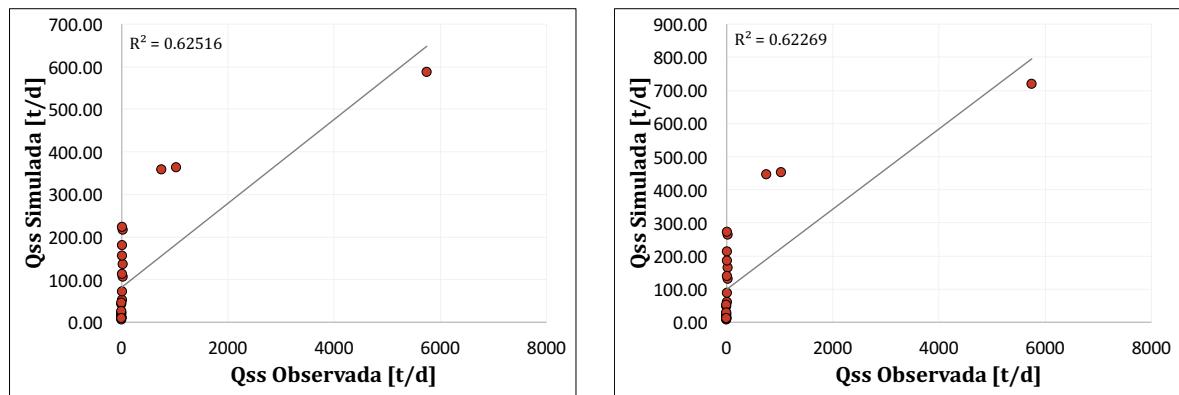


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 103. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 104. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico São Sepé Montante (85623000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

5.1.7 Sub-bacia dos Rios Camaquã e Gravataí, Lago Guaíba e Litoral

5.1.7.1 Estação fluviométrica Passo do Capão (87590000)

A estação fluviométrica Passo do Capão fica localizada no Rio Camaquã na região mais a montante. Os valores utilizados para a calibração se encontram na Tabela 52.

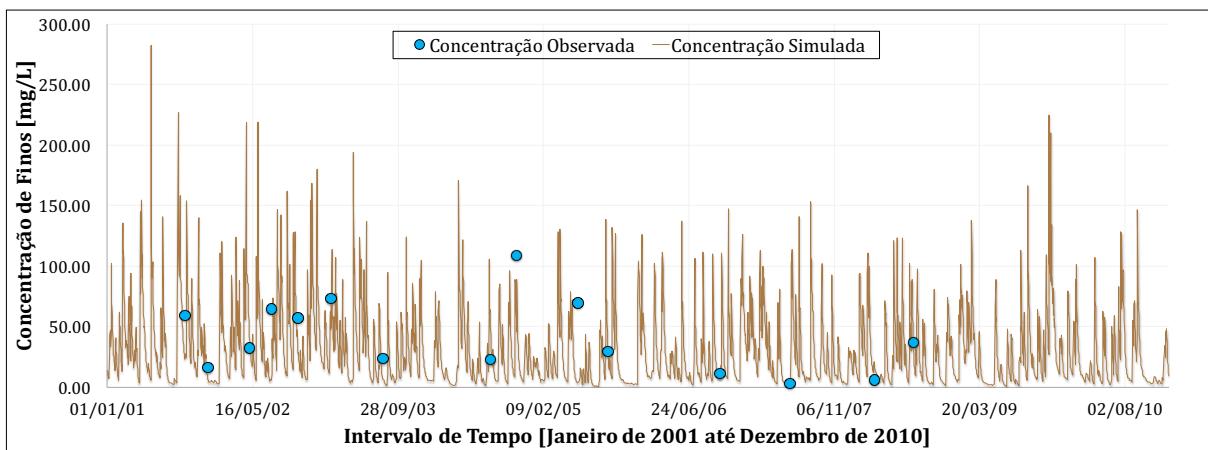
Tabela 52. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 17.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	55,80	22,20	22,00	1,32	0,02005
Floresta solo profundo	32,90	23,70	43,40	2,02	0,02005
Agricultura solo raso	53,30	17,20	29,50	1,74	0,02005
Agricultura solo profundo	35,70	16,30	48,00	1,93	0,02005
Campo solo raso	60,50	17,00	22,50	1,17	0,02005
Campo solo profundo	65,50	15,55	18,95	0,87	0,20005
Várzea	35,70	16,30	48,00	1,93	0,05005
Área semi-impermeável	53,30	17,20	29,50	1,74	0,05005

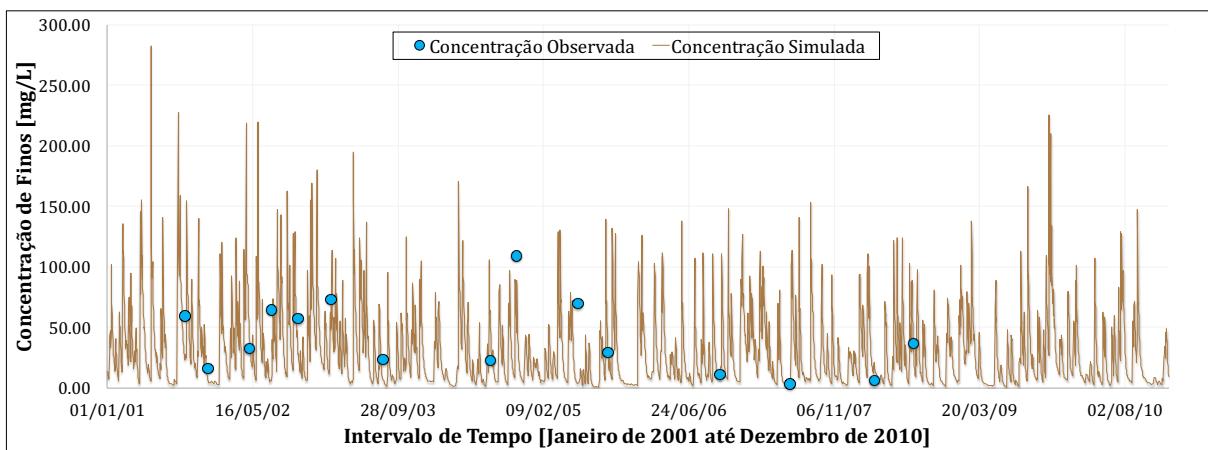
Após diversas tentativas de calibração, optou-se por utilizar os parâmetros padrão do modelo, com leve alteração no parâmetro C, para aumentar um pouco a quantidade de sedimentos, sem que isso modificasse a calibração a jusante.

Tanto a análise visual quanto a análise a partir das métricas de desempenho, demonstram que não havia necessidade de realizar grandes alterações nos parâmetros, pois o modelo já apresentava bom desempenho. Dessa forma, destaca-se na Tabela 53 e na Tabela 54 os valores das métrica. O principal é o bom desempenho da correlação entre os dados observados e os dados simulados, apresentando valores de 0,571 e 0,526 para concentração de sedimentos finos e descarga sólida dos sedimentos, respectivamente. Esses valores são de grande importância, visto que a correlação da modelagem hidrológica não é tão alta, em torno de 0,652.

Além disso, outros valores importantes em destaque são a PBIAS com 33,99% e 30,90% para concentração de finos e descarga sólida, respectivamente, e o NSE LOG, que apresentou valor de 0,59.



(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

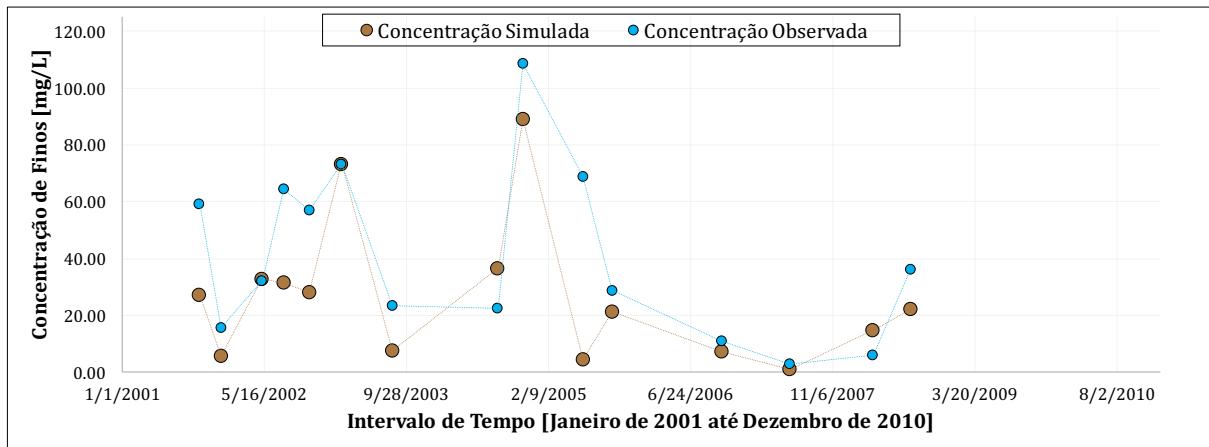


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

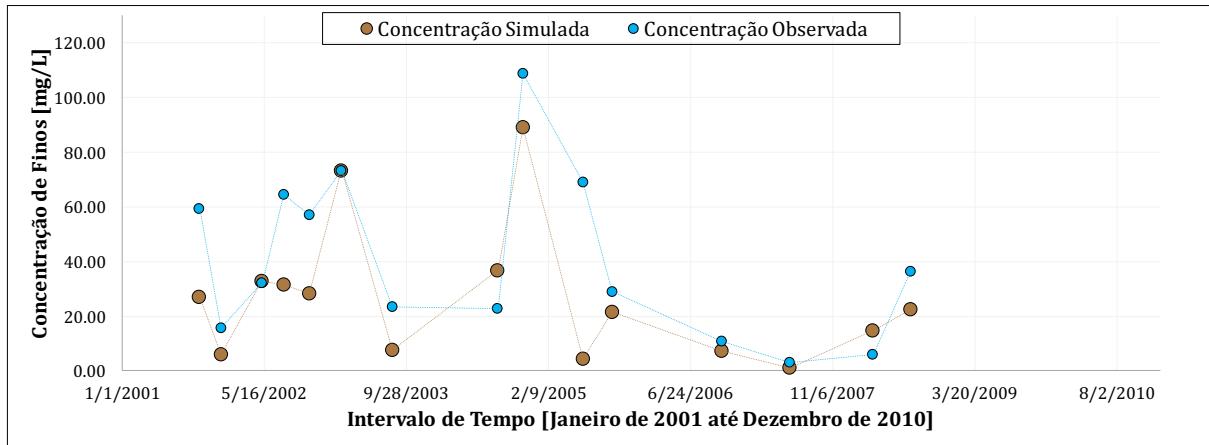
Figura 105. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).

Tabela 53. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo do Capão (87590000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,571	0,571
PBIAS (%)	34,13	33,99
RSR	0,81	0,79

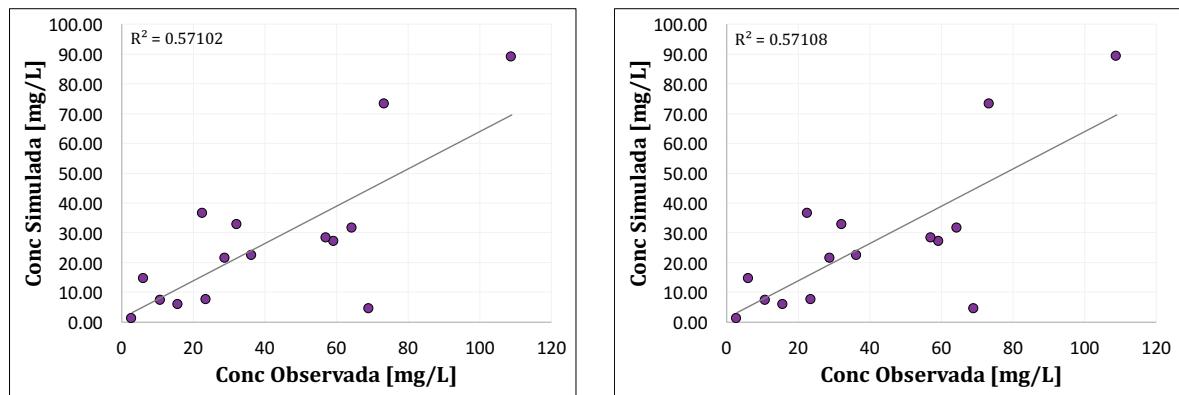


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

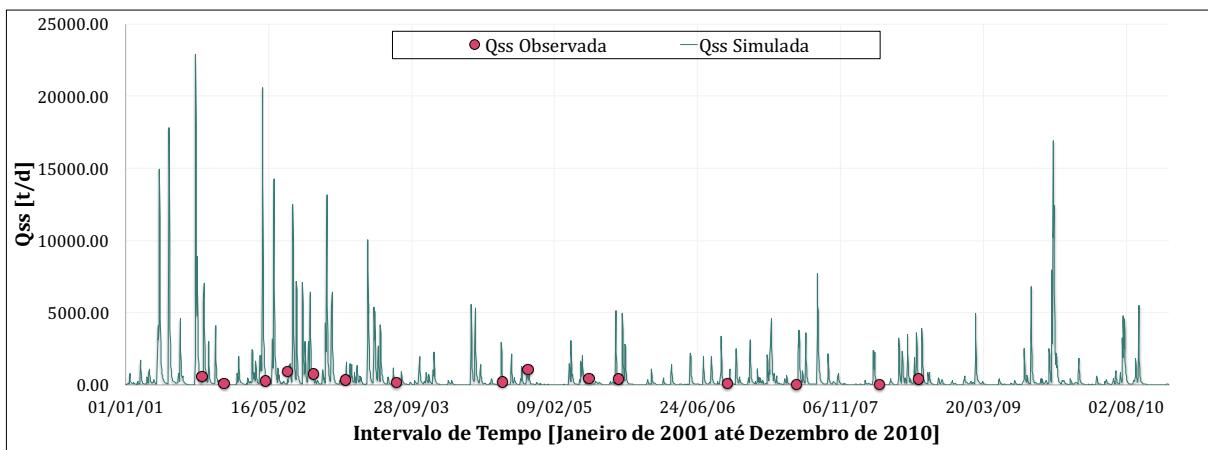
Figura 106. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).



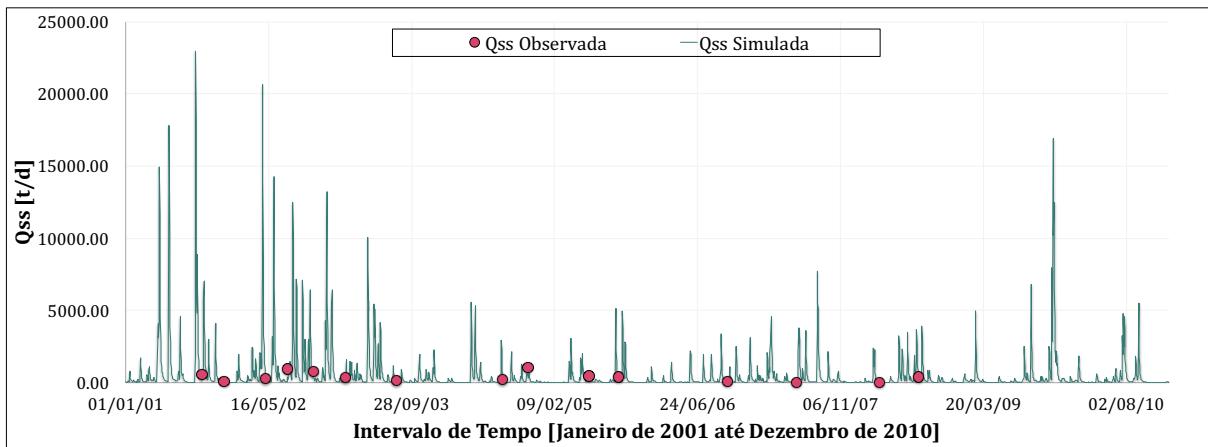
(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 107. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

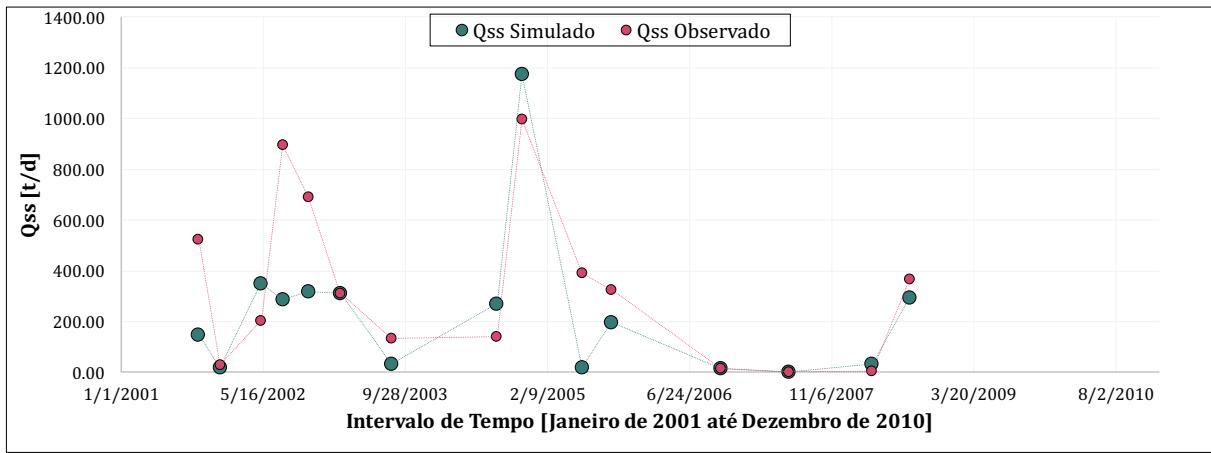


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

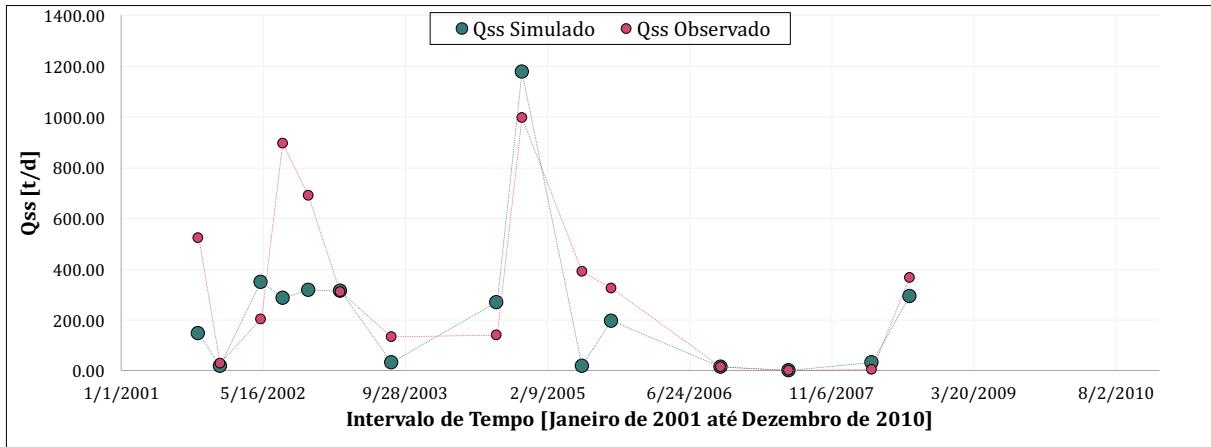
Figura 108. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).

Tabela 54. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo do Capão (87590000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,526	0,526
NSE	0,37	0,38
NSE LOG	0,59	0,59
PBIAS (%)	31,04	30,90
RSR	0,79	0,79

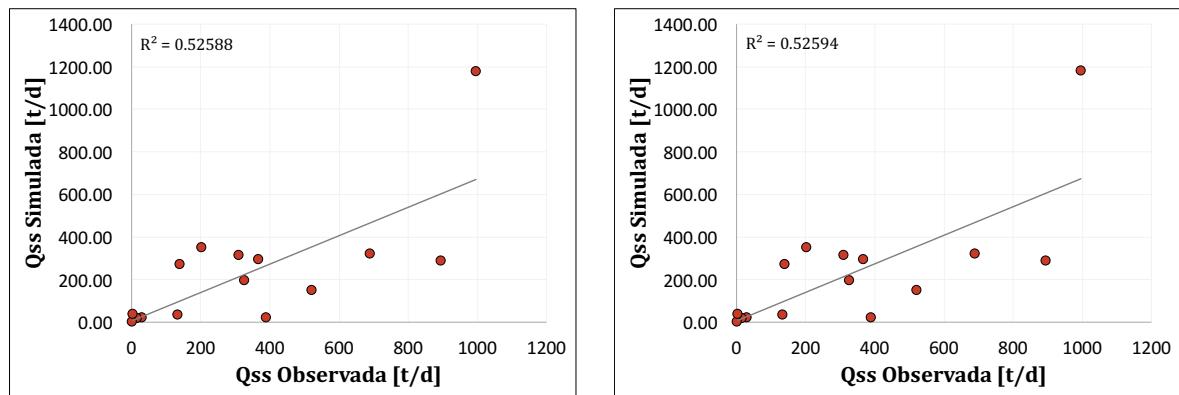


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 109. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 110. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo do Capão (87590000).

5.1.7.2 Estação fluviométrica Passo Mendonça (87905000)

A estação fluviométrica Passo Mendonça está localizada a jusante no Rio Camaquã, muito próxima da confluência com a Laguna dos Patos. A Tabela 55 apresenta os valores utilizados para realizar a calibração do modelo.

Tabela 55. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 19.

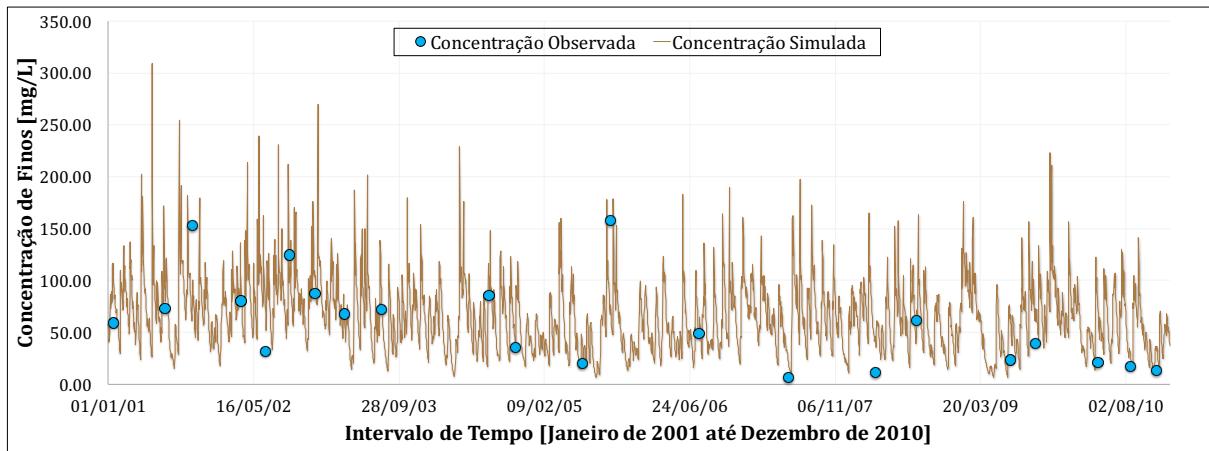
URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,00950
Floresta solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,20	0,00950
Agricultura solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,03500
Agricultura solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,10	0,03500
Campo solo raso	60,00	20,00	20,00	0,90	0,08000
Campo solo profundo	45,00	22,00	33,00	0,90	0,08000
Várzea	46,00	21,50	32,50	2,80	0,01900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,80	0,03000

Assim como a estação anterior, essa estação apresentou bom desempenho do modelo mesmo antes de ser realizada a calibração. Dessa forma, procurou-se não realizar alterações bruscas para não modificar muito o desempenho, e apenas melhorar alguns aspectos.

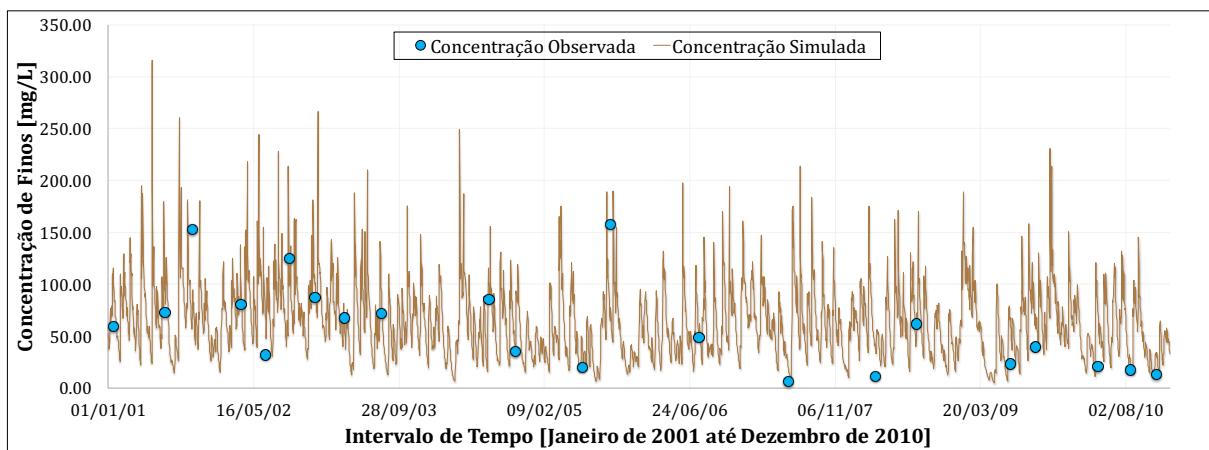
Os valores obtidos para as métricas de desempenho se encontram na Tabela 56 e na Tabela 57. Destaca-se os valores de r de 0,462 e 0,594 para concentração de sedimentos no trecho do rio e para descarga sólida de sedimentos, respectivamente. Os valores de NSE e NSE LOG de 0,53 e 0,73. Além disso, os valores encontrados para PBIAS de -10,33% e 17,76% para concentração de sedimentos e descarga sólida.

Tabela 56. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto Passo Mendonça (87905000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,470	0,462
PBIAS (%)	-13,22	-10,33
RSR	0,75	0,75



(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

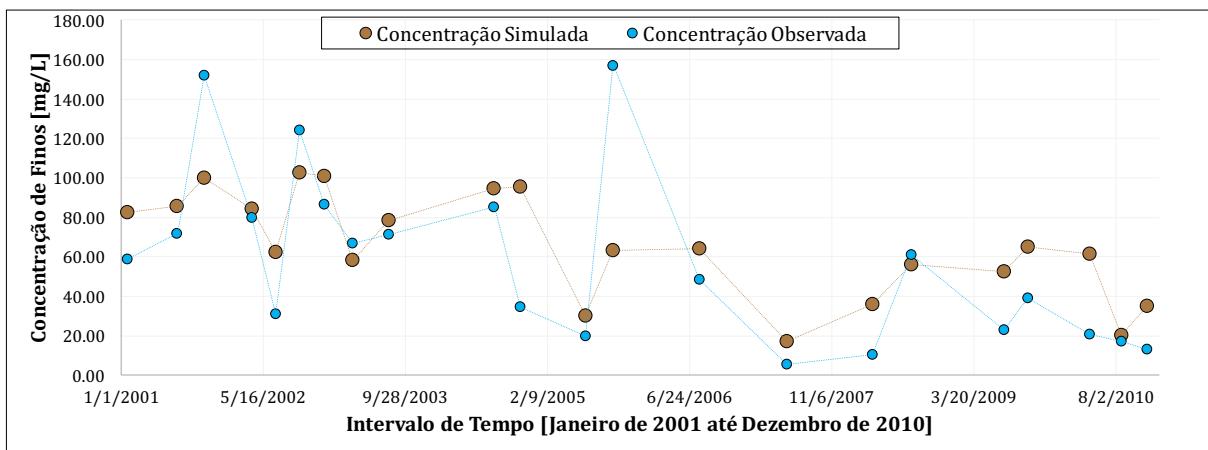


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

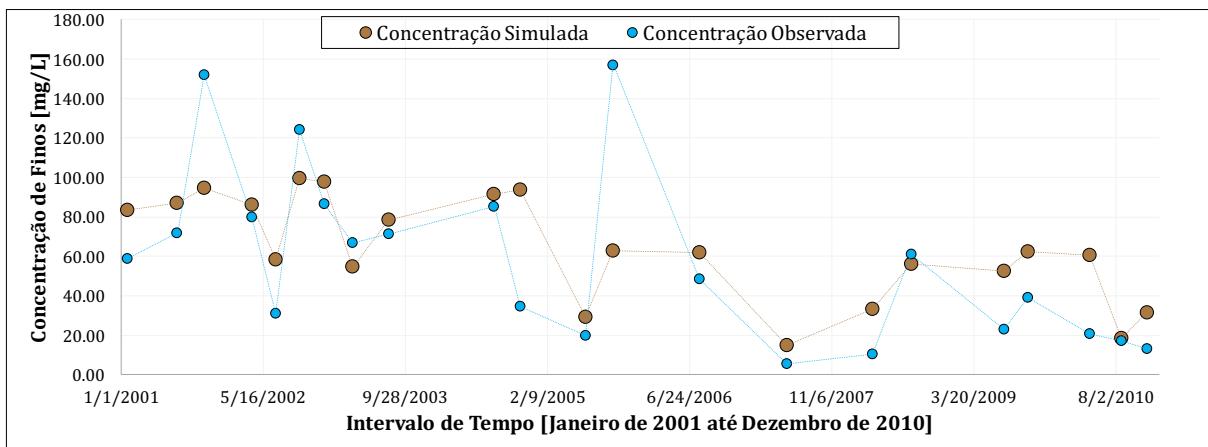
Figura 111. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).

Tabela 57. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto Passo Mendonça (87905000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,590	0,594
NSE	0,53	0,53
NSE LOG	0,71	0,73
PBIAS (%)	16,01	17,76
RSR	0,68	0,69

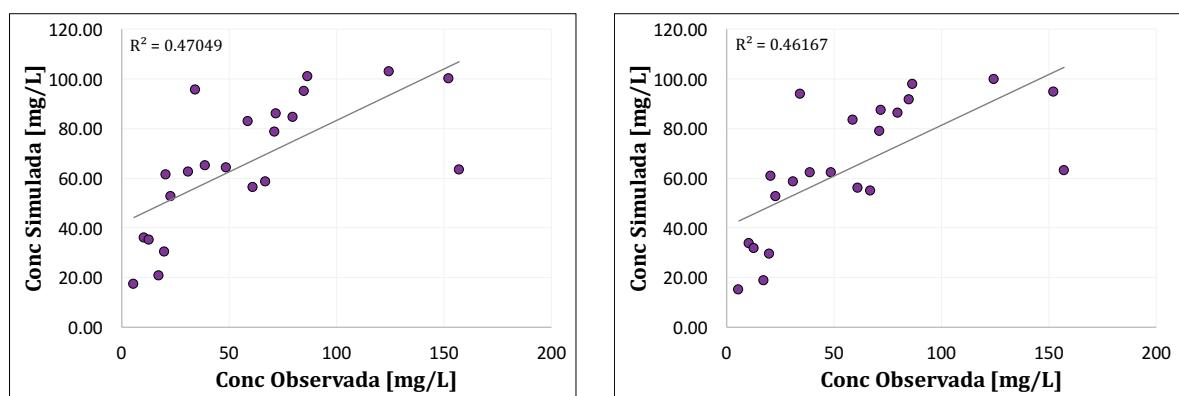


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 112. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).

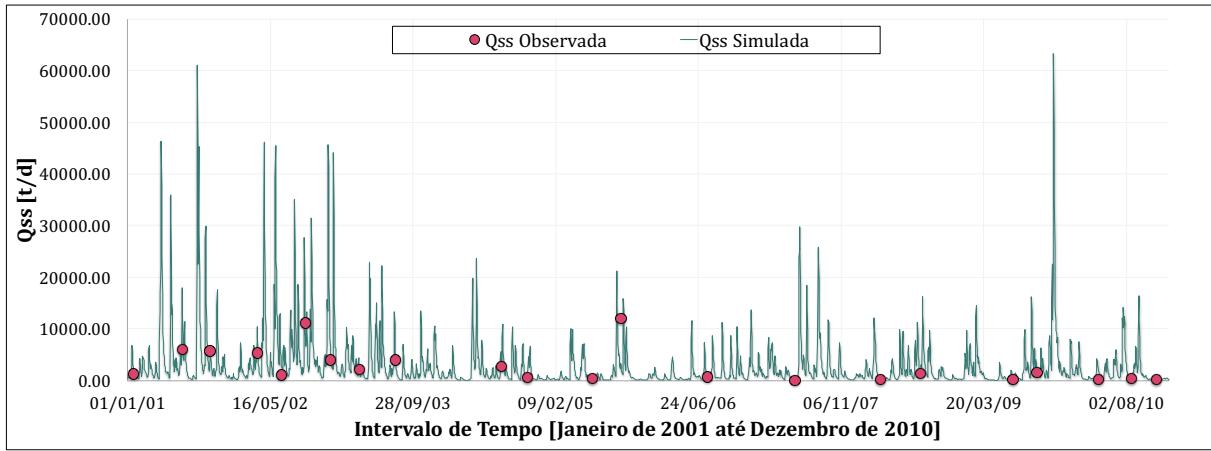


(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

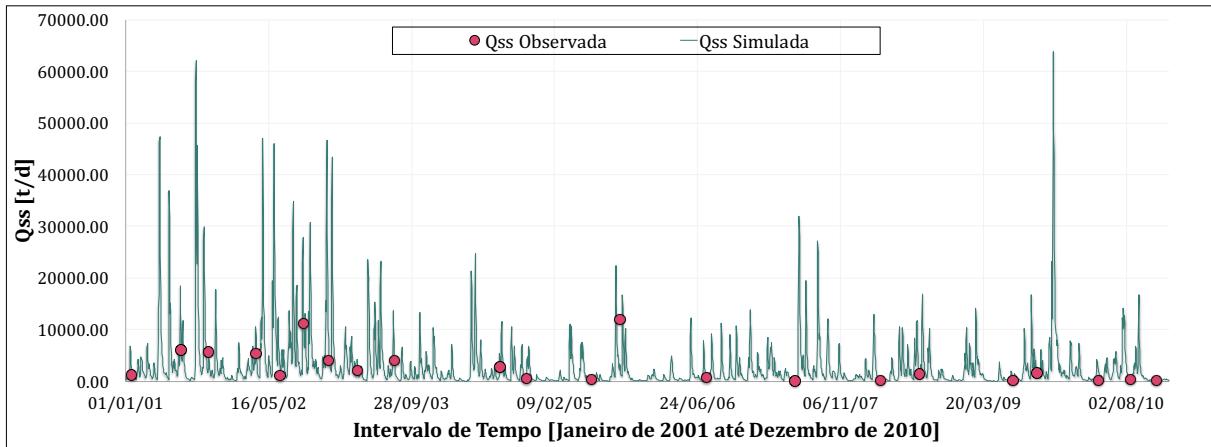
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 113. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

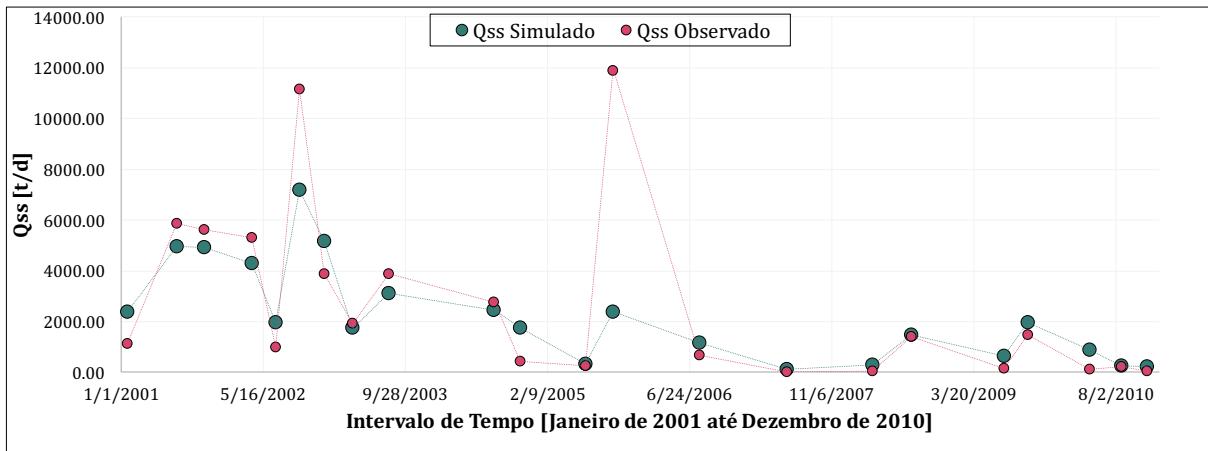


(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

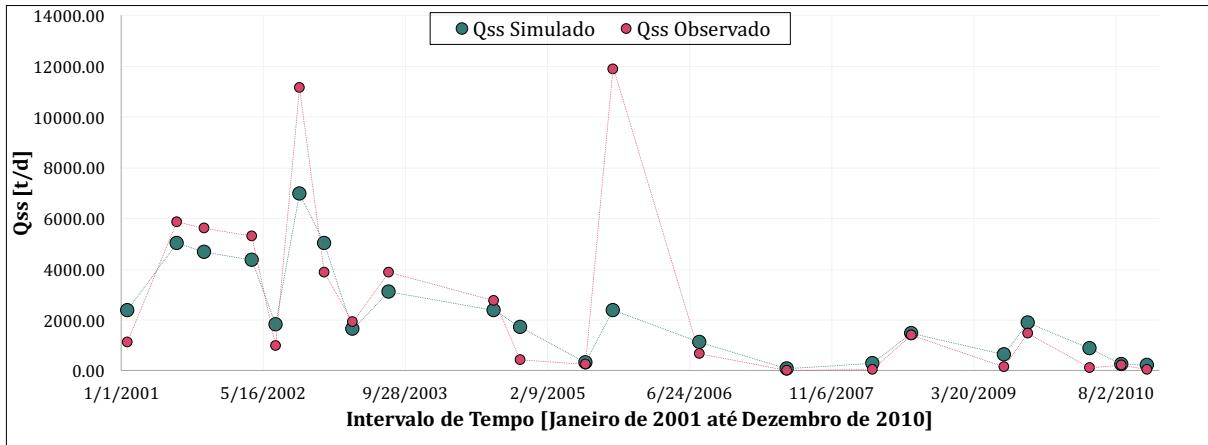


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 114. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).

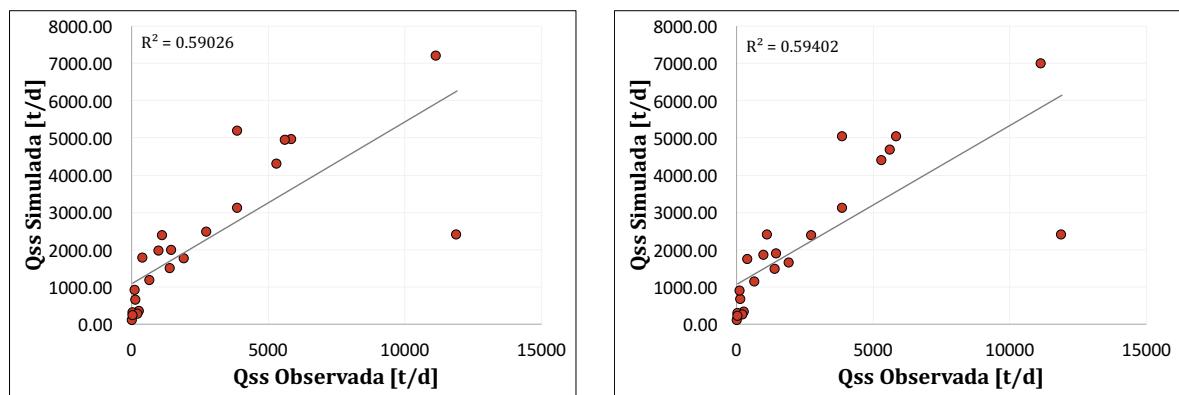


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 115. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 116. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico Passo Mendonça (87905000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

5.1.8 Sub-bacia do Rio Jaguarão

5.1.8.1 Estação fluviométrica UHE Seival (88176000)

A estação fluviométrica UHE Seival se localiza no Arroio Candiota, que desagua na Lagoa Mirim, a montante. A Tabela 58 apresenta os valores encontrados para a calibração do modelo para a sub-bacia 23, a qual pertence a estações.

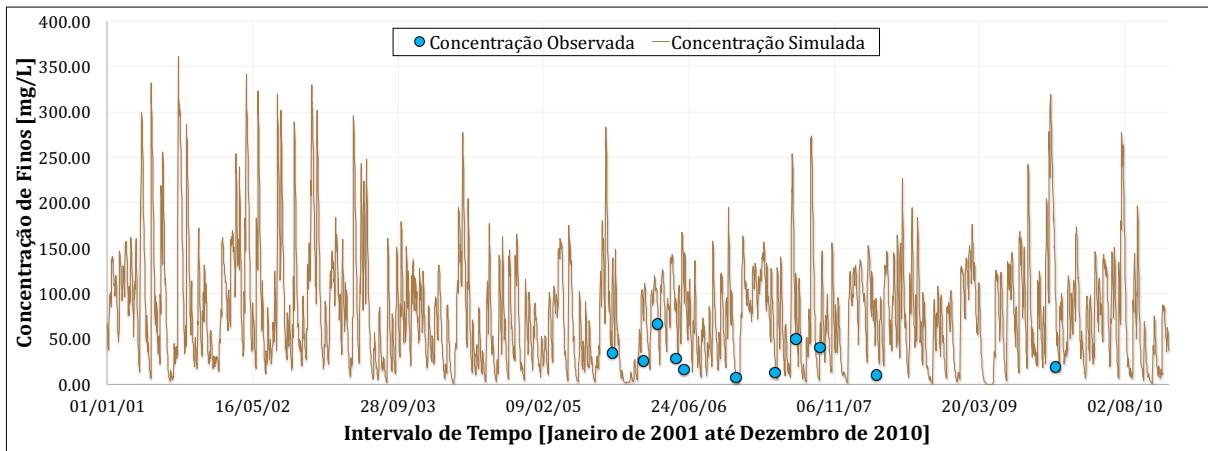
Tabela 58. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 23.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

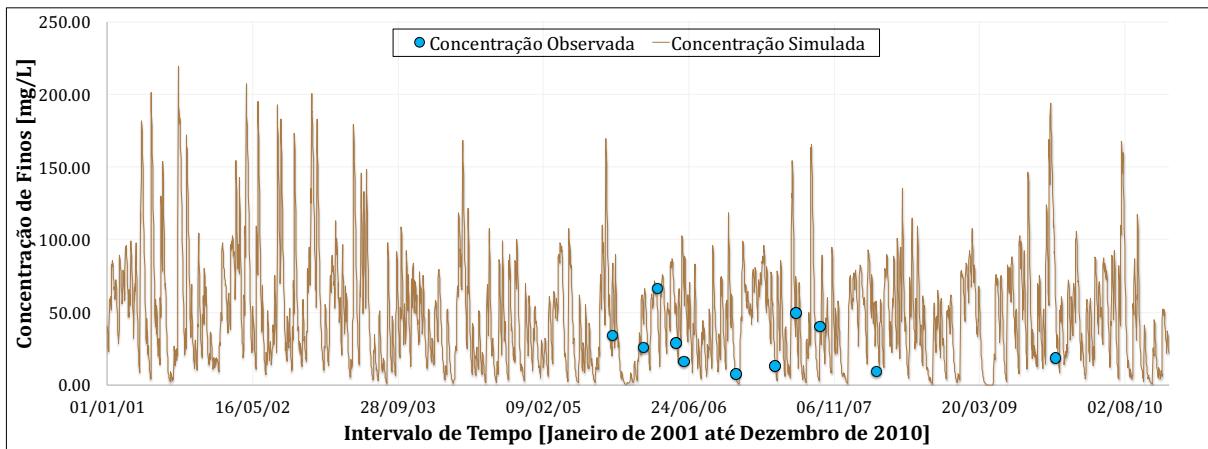
A análise visual e das métricas de desempenho demonstram que a sub-bacia apresentou pouca coerência entre os dados observados e os dados calibrados, antes e após a calibração. Os valores de r encontrados foram de 0,252 e 0,245 para concentração de sedimentos e 0,291 e 0,212 para descarga sólida, antes e após a calibração. Os valores encontrados para PBIAS foram de -168,15% e 18,02% antes da calibração e -62,32% e 50,46% após a calibração, para concentração de sedimentos finos e descarga sólida de sedimentos, respectivamente. Destaca-se o valor encontrado para NSE LOG de 0,69.

Tabela 59. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto UHE Seival (88176000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,252	0,245
PBIAS (%)	-168,15	-62,32
RSR	3,17	0,92



(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

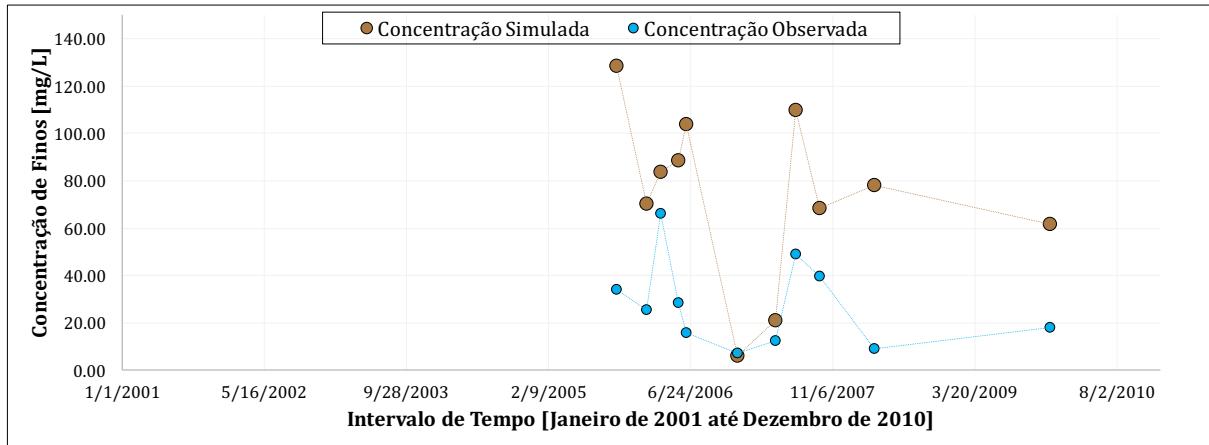


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

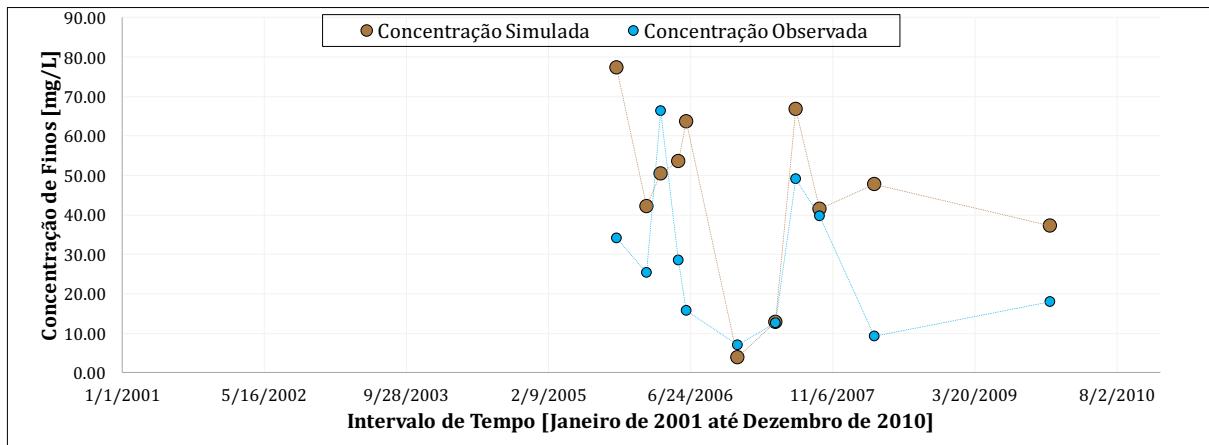
Figura 117. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).

Tabela 60. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto UHE Seival (88176000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,291	0,212
NSE	0,20	0,15
NSE LOG	0,56	0,69
PBIAS (%)	18,02	50,46
RSR	0,89	0,92

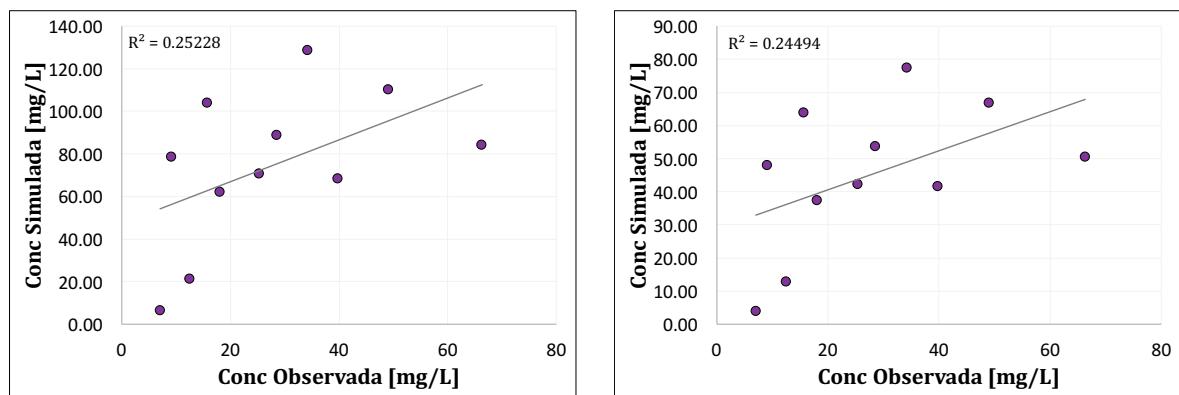


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

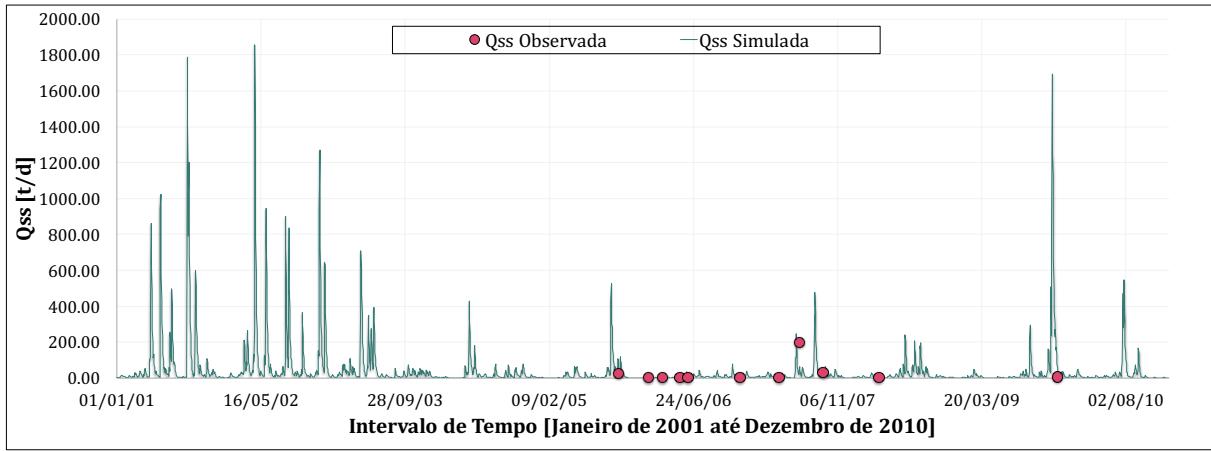
Figura 118. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).



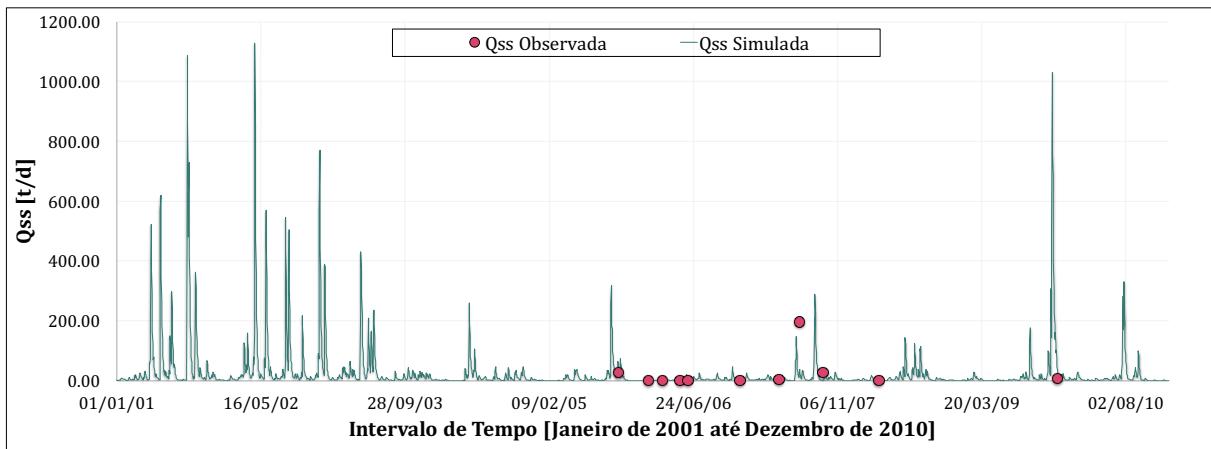
(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 119. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico UHE Seival (88176000).



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 120. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).

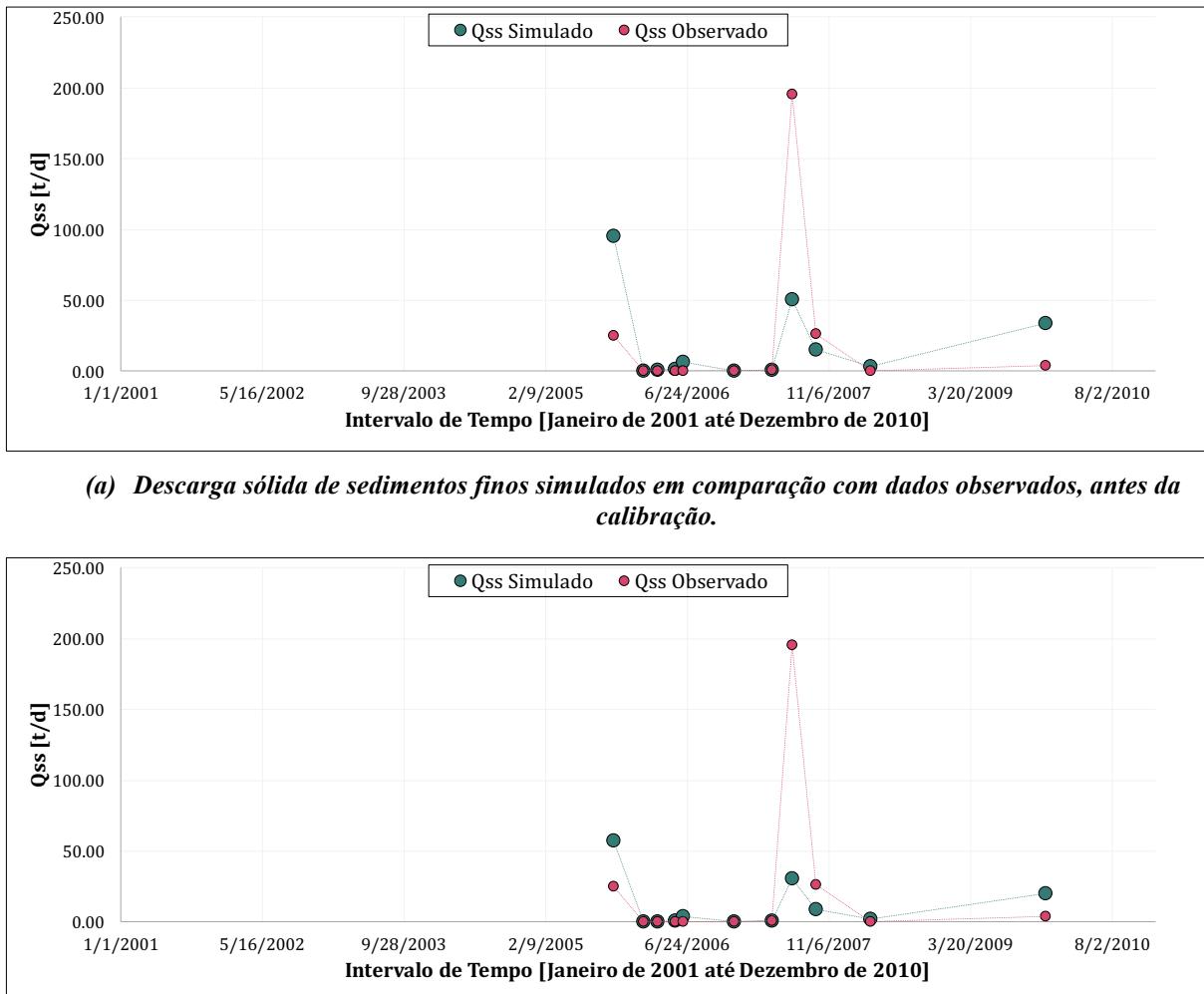


Figura 121. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico UHE Seival (88176000).

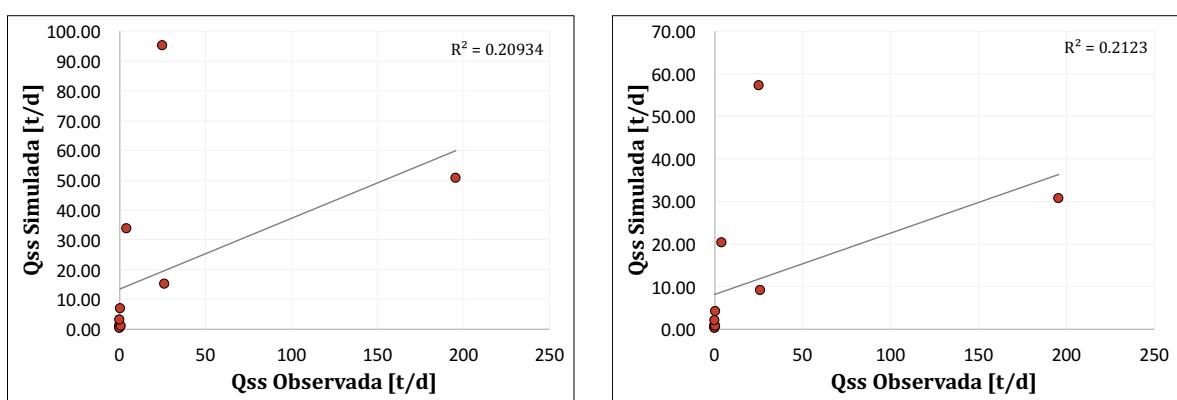


Figura 122. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico UHE Seival (88176000).

5.1.8.2 Estação fluviométrica UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000)

A estação fluviométrica UHE Seival Sanga Funda Montante fica localizada no Arroio Sanga Funda antes da confluência com o Arroio Candiota. Ela está localizada na sub-bacia 23, mesma da anterior, e a Tabela 61 apresenta os valores utilizados na calibração.

Tabela 61. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 23.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Antes da calibração, como é observado na Figura 123, Figura 124, Figura 126 e Figura 127, o modelo antes da calibração superestimou os valores de concentração e descarga sólida. Assim, a calibração teve por finalidade diminuir as quantidades de sedimentos e melhorar as métricas de desempenho.

A correlação entre os dados observados e os dados simulados praticamente se manteve a mesma, com valores de 0,360 e 0,449 para concentração e descarga sólida de sedimentos no trecho do rio. Os valores de PBIAS passaram de -304,17% e -101,17%, concentração e descarga sólida de sedimentos respectivamente, para -136,30% e -17,73%. Destaca-se os valores de NSE e NSE LOG, que tiveram uma grande melhoria, de 0,44 e 0,58 após a calibração.

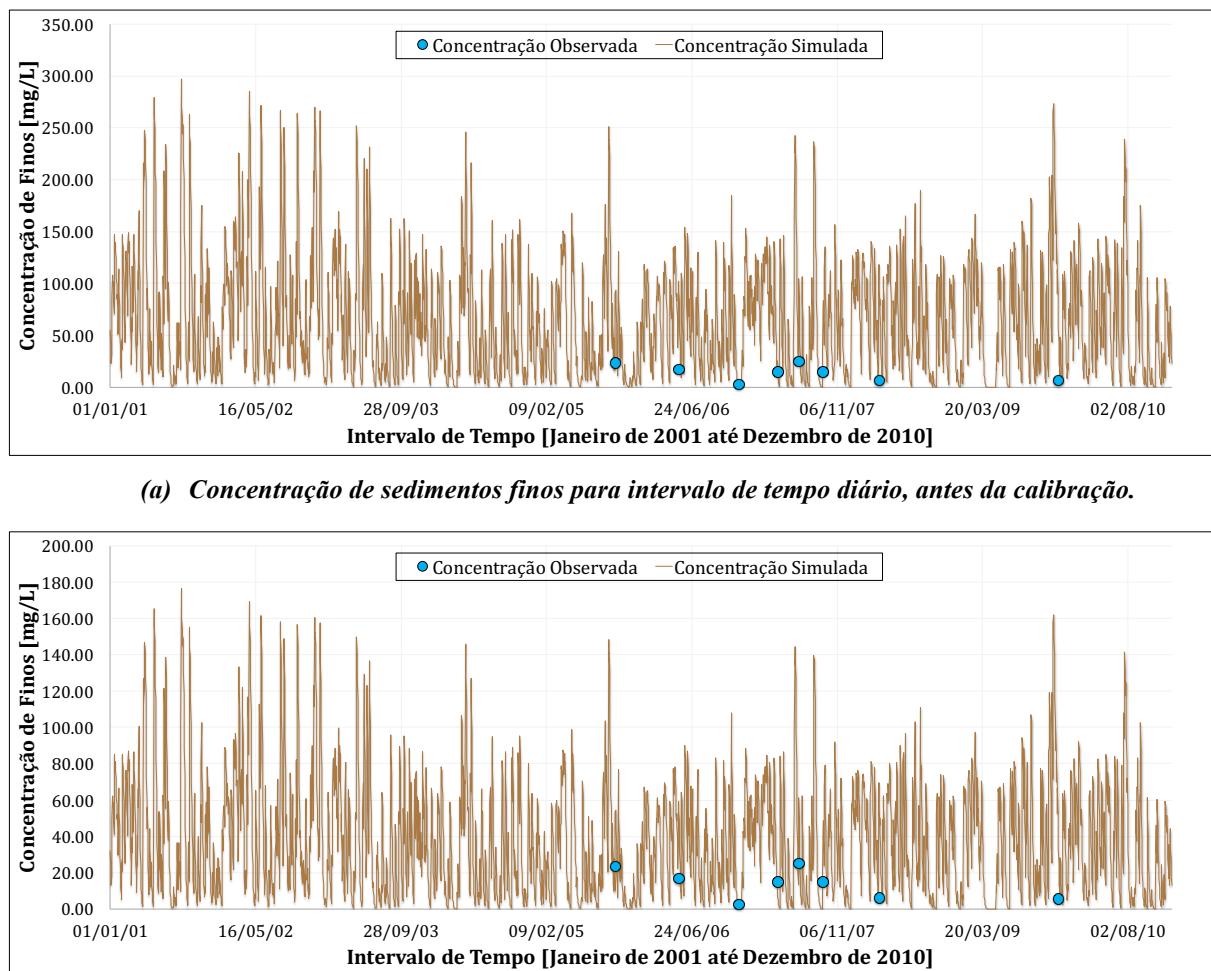
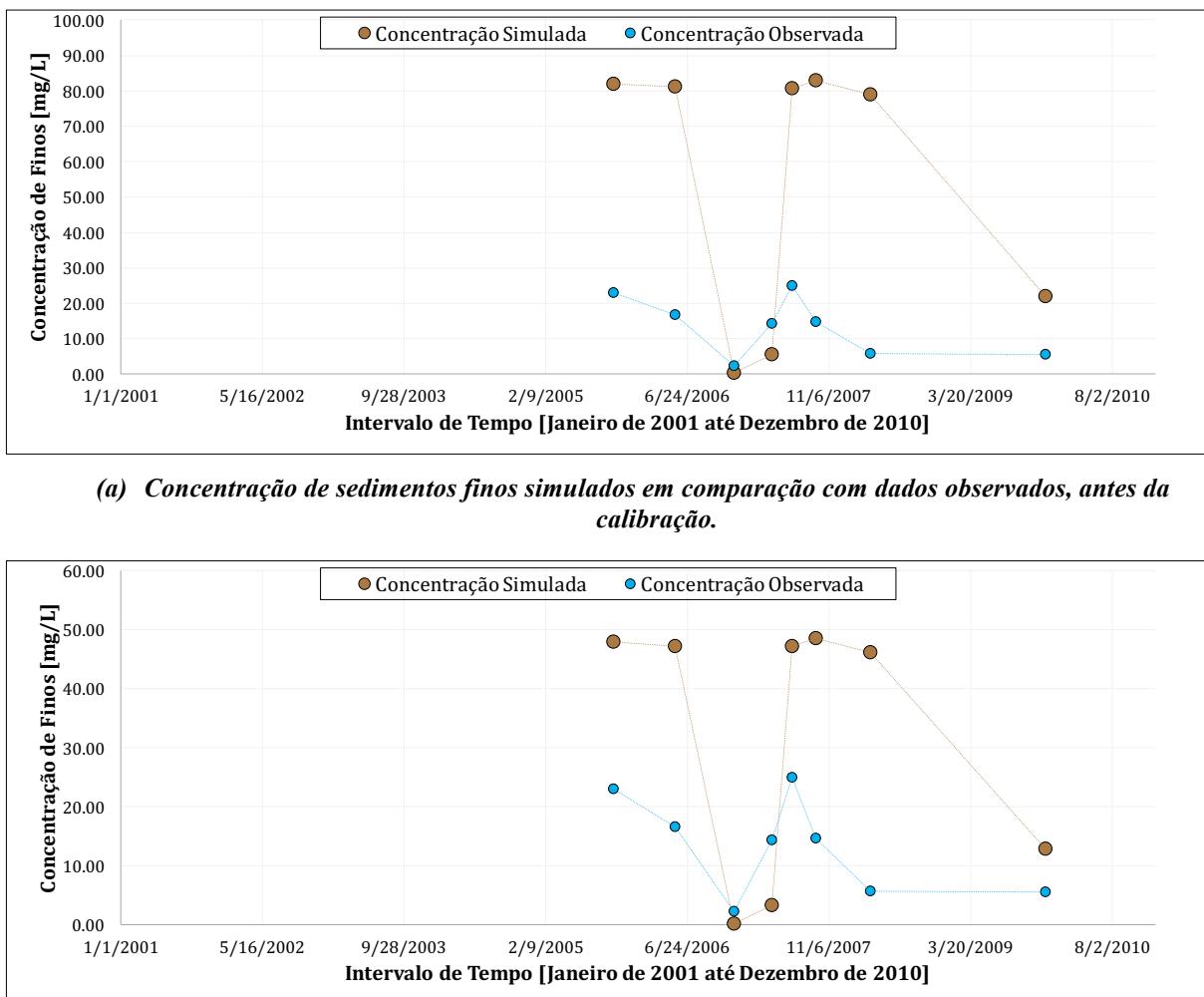


Figura 123. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).

Tabela 62. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).

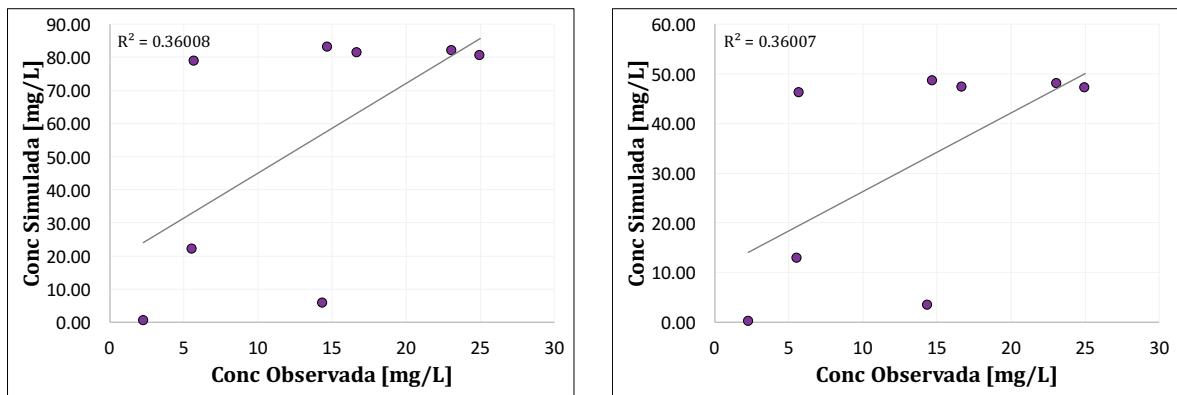
Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,360	0,360
PBIAS (%)	-304,17	-136,30
RSR	6,59	3,21



(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.

(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 124. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).

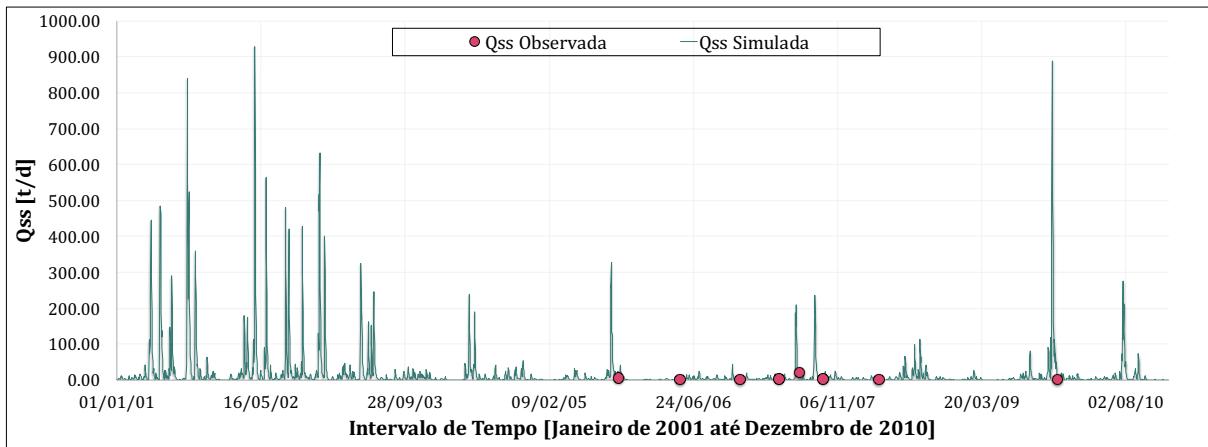


(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

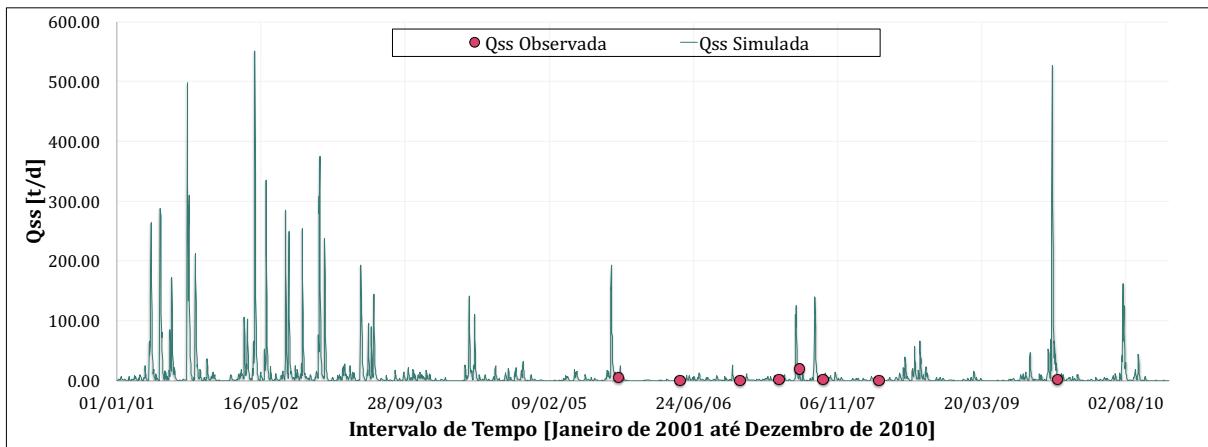
(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 125. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

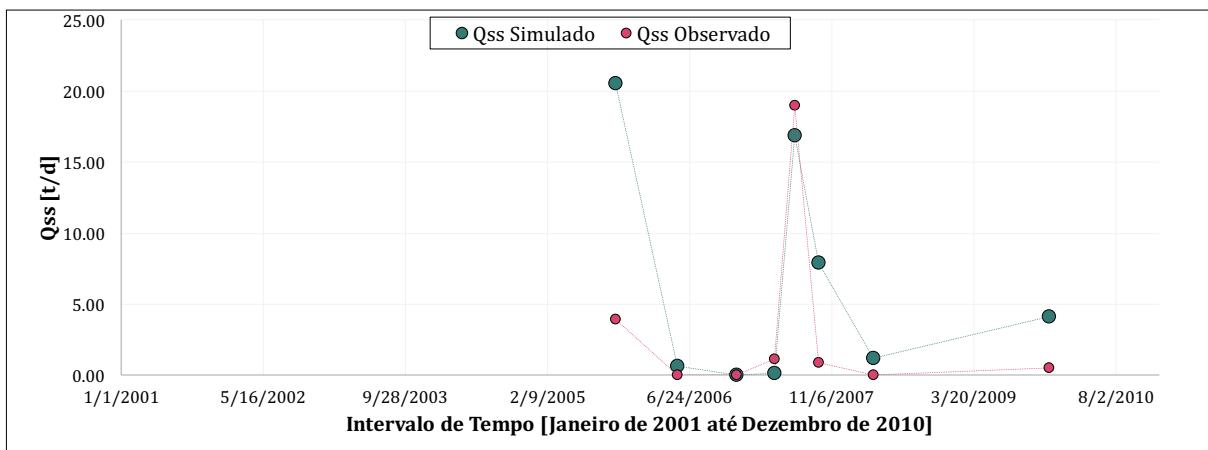


(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

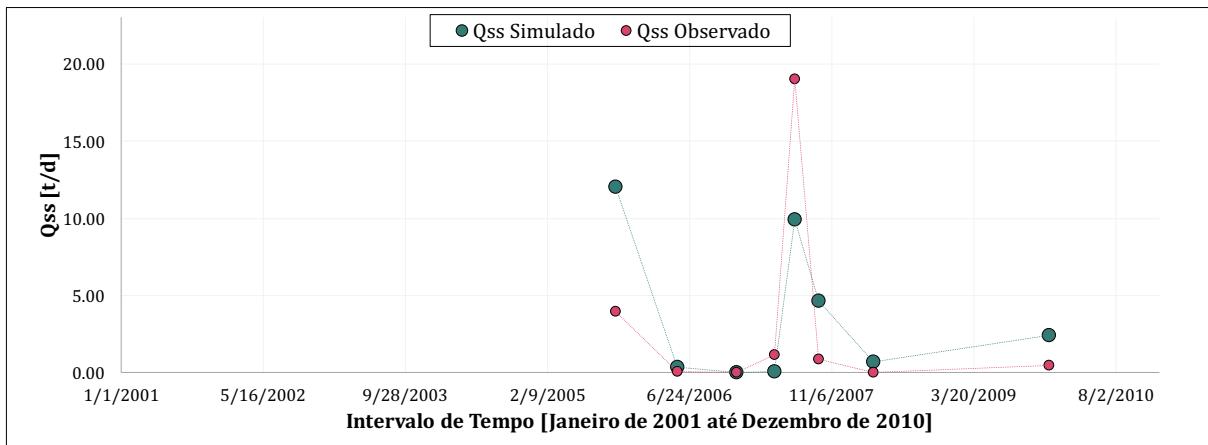
Figura 126. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).

Tabela 63. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,448	0,449
NSE	-0,16	0,44
NSE LOG	0,45	0,58
PBIAS (%)	-101,17	-17,73
RSR	1,08	0,75

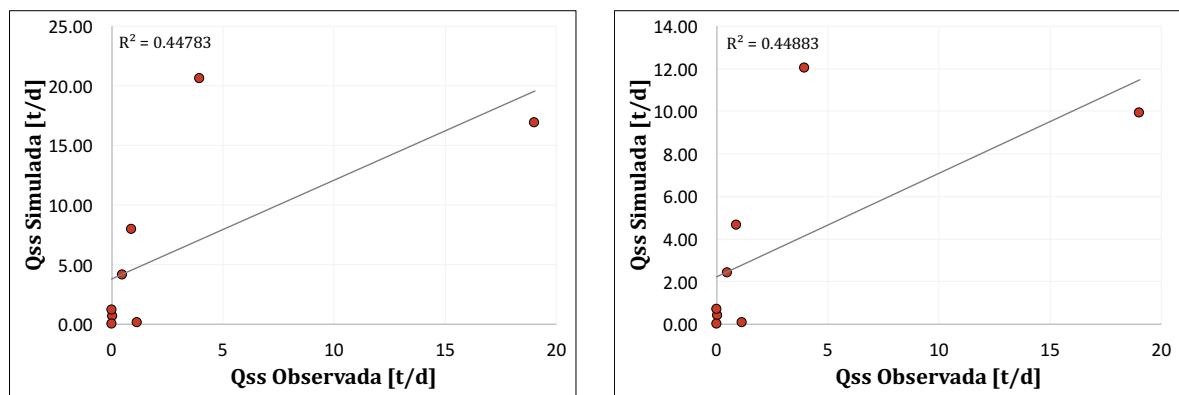


(a) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

Figura 127. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).



(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 128. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico UHE Seival Sanga Funda Montante (88177000).

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

5.1.8.3 Estação fluviométrica UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000)

A estação fluviométrica UHE Seival Arroio Candiota Jusante se localiza no Arroio Candiota, a jusante das outras duas estações fluviométricas anteriores. Faz parte da sub-bacia 23 de calibração do modelo, assim como a estação UHE Seival e UHE Arroio Sanga Funda Montante. A Tabela 64 apresenta os valores utilizados para calibração da sub-bacia.

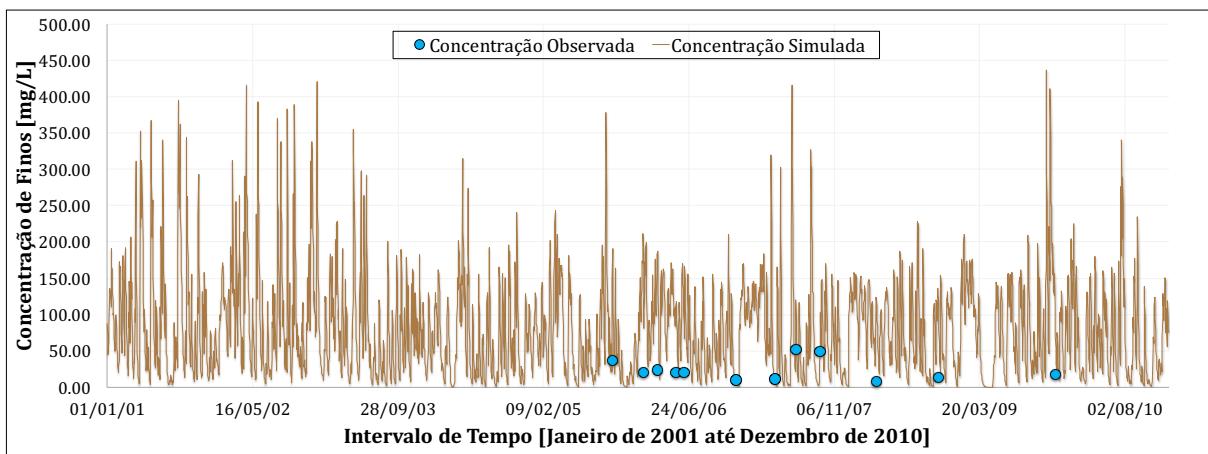
Tabela 64. Valores definidos para os parâmetros de calibração da sub-bacia 23.

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

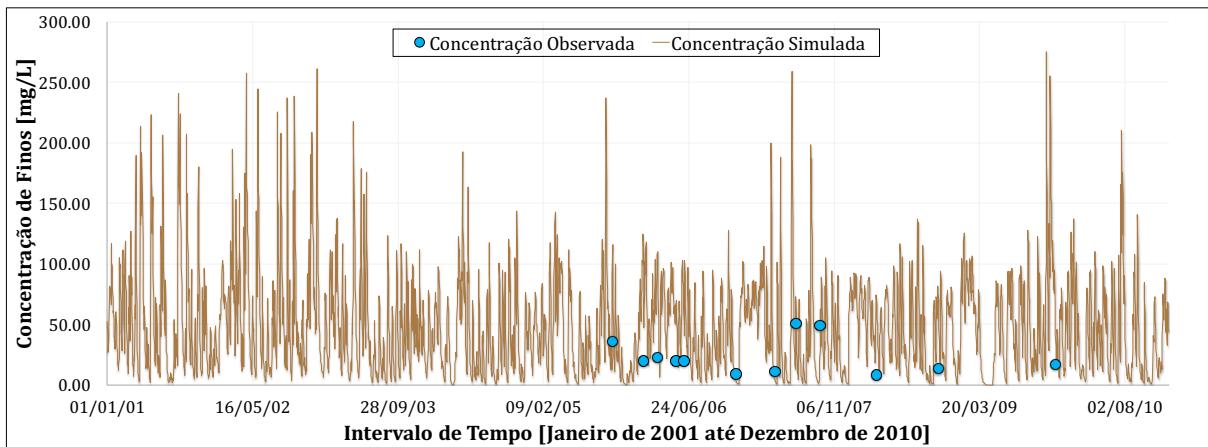
Assim como para as estações anteriores, os valores *default* dos parâmetros de calibração do modelo superestimaram os valores de produção de sedimentos. Como as três estações se encontram na mesma sub-bacia, não foi possível encontrar um valor que fosse ótimo para as três. Dessa forma, optou-se por utilizar os valores que representassem da melhor forma a sub-bacia. Por isso, a presente estação obteve os piores desempenhos entre as três.

Em conjunto, a modelagem hidrológica não teve desempenho tão satisfatório na região. Para a estação UHE Seival a correlação foi aproximadamente 0,240, para a estação UHE Arroio Sanga Funda Montante foi de aproximadamente 0,369 e para a estação UHE Seival Arroio Candiota Jusante foi aproximadamente 0,024, apresentando o pior desempenho.

Todos os resultados das métricas utilizadas foram insatisfatórios. Destaca-se os valores PBIAS que foram de -312,54% para -146,20% para concentração de sedimentos finos e de 57,42% para 74,33% para descarga sólida. Pode-se notar que com a quantidade de informações obtidas para o presente trabalho, não seria possível encontrar valores de PBIAS satisfatórios, uma vez que, após a calibração, nota-se que o modelo superestima os valores de concentração, enquanto ele subestima os valores de descarga sólida.



(a) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.

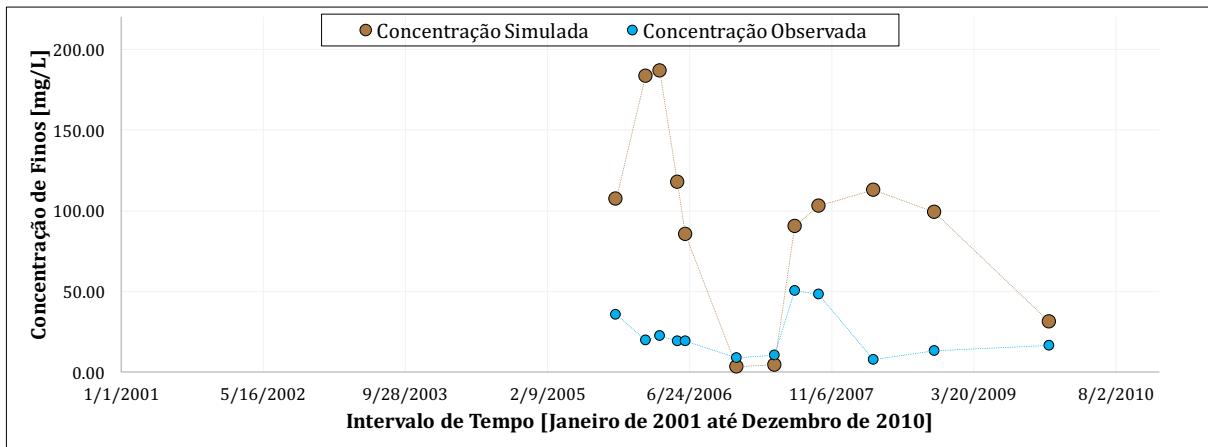


(b) Concentração de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

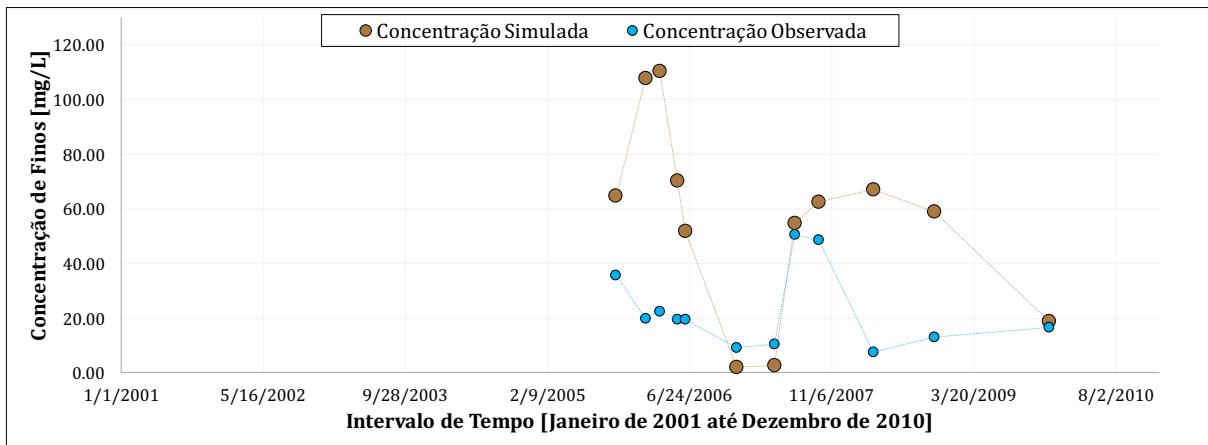
Figura 129. Análise qualitativa da concentração de sedimentos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).

Tabela 65. Análise quantitativa da concentração de finos para o posto UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,062	0,069
PBIAS (%)	-312,54	-146,20
RSR	6,43	3,34

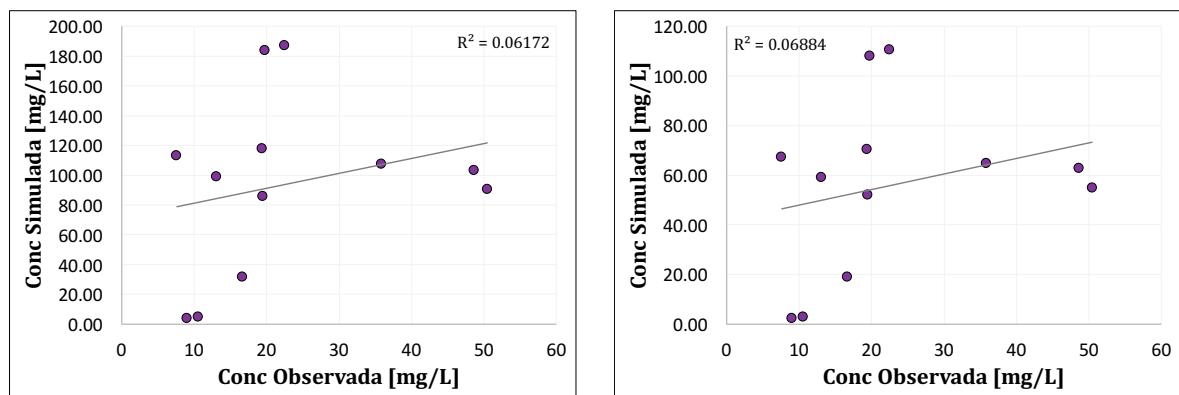


(a) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, antes da calibração.



(b) Concentração de sedimentos finos simulados em comparação com dados observados, após calibração.

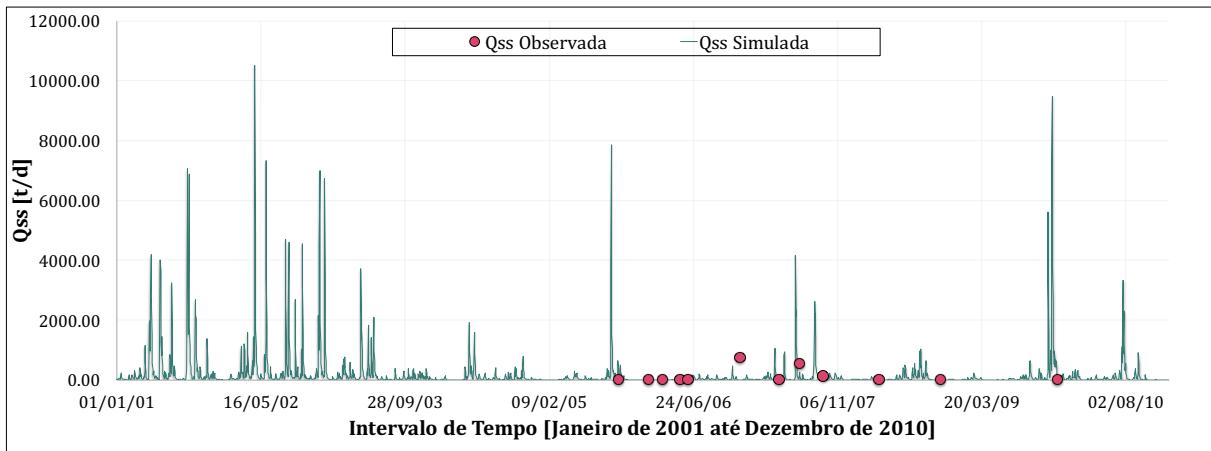
Figura 130. Análise qualitativa da comparação de sedimentos finos simulados e observados, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).



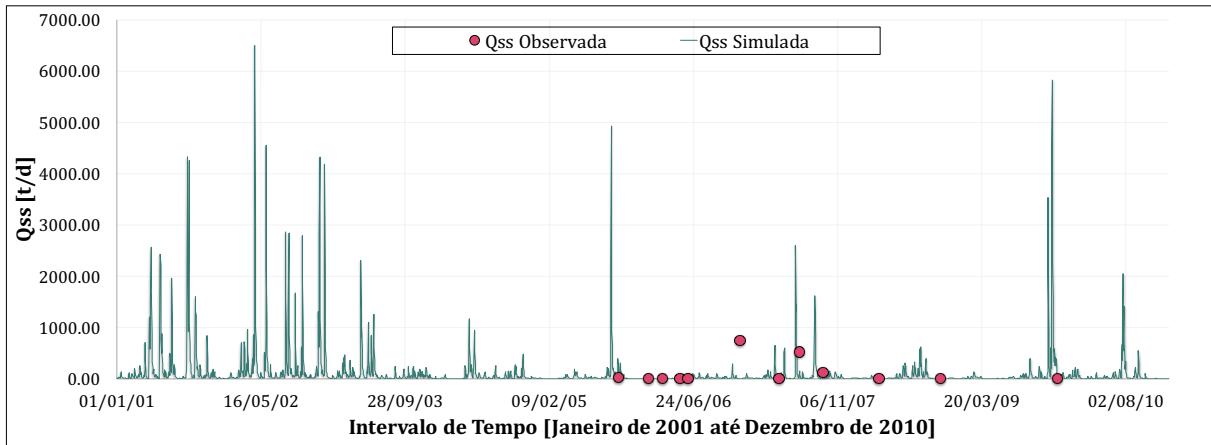
(a) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre as concentrações de finos simuladas e as concentrações de finos observadas, após calibração.

Figura 131. Gráfico de correlação da concentração de sedimentos finos para o posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).



(a) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, antes da calibração.



(b) Descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, após calibração.

Figura 132. Análise qualitativa da descarga sólida de sedimentos finos para intervalo de tempo diário, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).

Tabela 66. Análise quantitativa da descarga sólida para o posto UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).

Métrica utilizada	Sem calibração	Com calibração
r	0,020	0,021
NSE	-0,09	-0,11
NSE LOG	-0,58	-0,48
PBIAS (%)	57,42	74,33
RSR	1,04	1,06

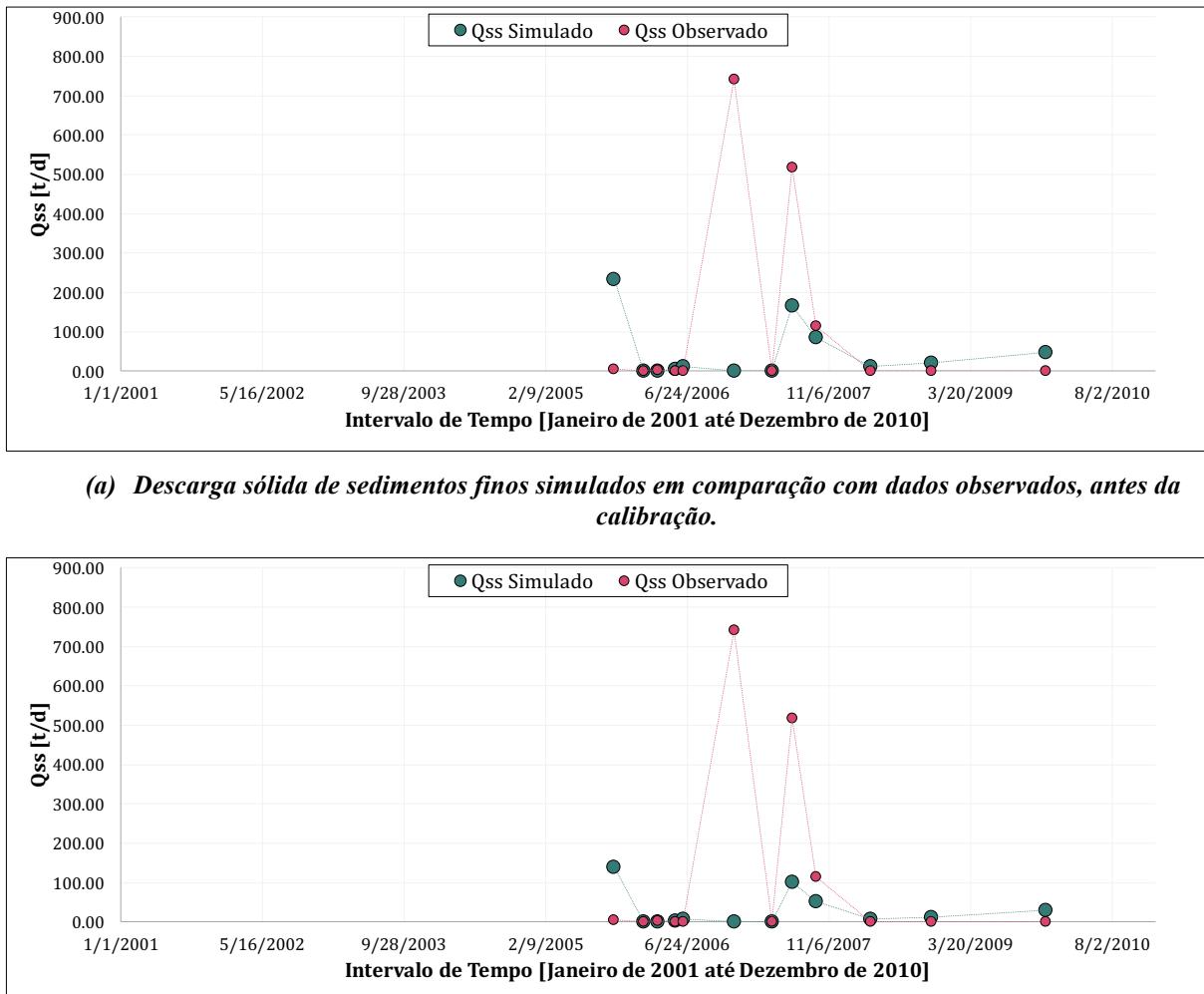
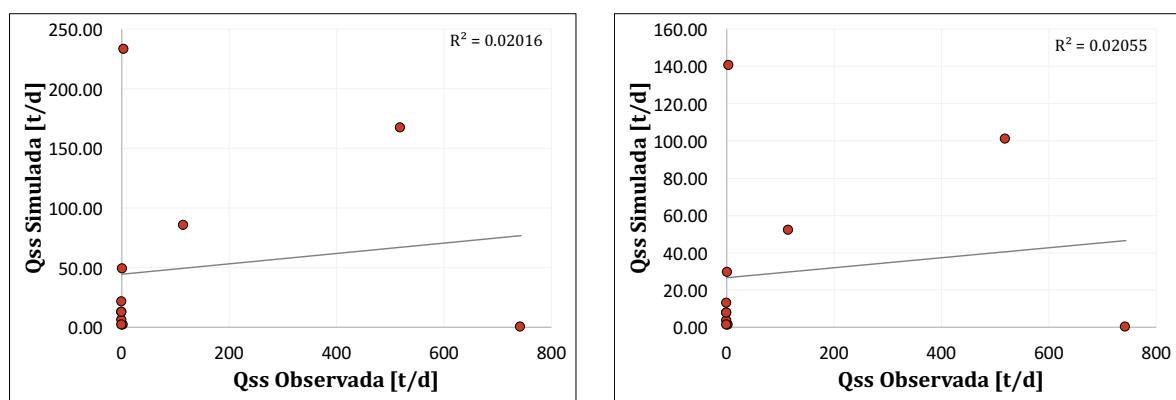


Figura 133. Análise qualitativa da comparação de descarga sólida de sedimentos finos simulada e observada, posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).



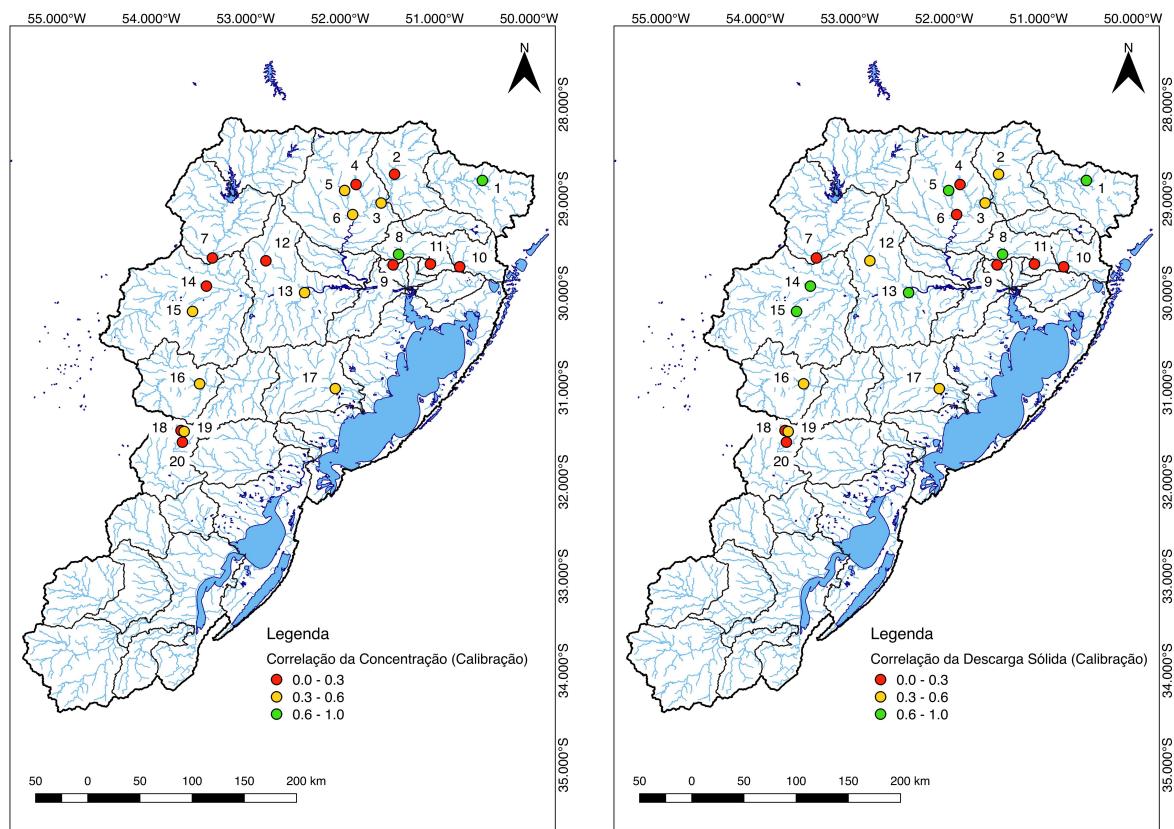
(a) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, antes da calibração.

(b) Gráfico de correlação entre a descarga sólida de finos simulada e a descarga sólida de finos observada, após calibração.

Figura 134. Gráfico da correlação das descargas sólidas de sedimentos simuladas e observadas para o posto fluviométrico UHE Seival Arroio Candiota Jusante (88181000).

5.2 Análise integrada da calibração para a bacia da Laguna dos Patos

A calibração, apesar de não ter apresentado resultados considerados ótimos em todas as métricas, mostrou-se satisfatória para a maior parte da bacia. A Figura 135, Figura 136 e Figura 137 apresentam os resultados da calibração distribuídos de forma espacial na bacia. Como pode ser observado na Figura 135, as correlações encontradas para a concentração de sedimentos finos foram insatisfatórias para 10 entre as 20 estações analisadas, já a descarga sólida de sedimentos apresenta 8 resultados insatisfatórios, entre as 20 estações analisadas. Isso demonstra que houve maior correlação para os resultados de descarga sólida, provavelmente porque esse resultado é relacionado às vazões, e estas apresentam ótimas correlações para a maioria das estações analisadas.



(a) Análise da correlação das concentrações de sedimentos finos simulados e observados para etapa de calibração.

(b) Análise da correlação das descargas sólidas de sedimentos finos simuladas e observadas para etapa de calibração.

Figura 135. Análise integrada da correlação para etapa de calibração.

Além disso, a PBIAS, métrica principal de calibração, mostrou valores muito satisfatórios em praticamente toda a bacia (Figura 136) tanto para os valores de concentração, quanto para os valores de descarga sólida. Apenas 3 estações, tanto para os valores de concentração, como para os valores de descarga sólida, apresentaram resultados insatisfatórios. Os valores de NSE e NSE LOG foram bons para a maior parte da bacia também, principalmente os valores de NSE LOG que demonstram uma calibração mais precisa para os valores mais baixos de descarga sólida, sem sofrer muita influência dos picos (Figura 137). Ressalta-se que a métrica de desempenho RSR não foi avaliada no texto principal, uma vez que teve pouca influência na tomada de decisões, sendo utilizada principalmente para dar um maior grau de confiabilidade à calibração.

Ao analisar os resultados, nota-se que foi de fundamental importância uma boa calibração do modelo hidrológico. Dessa forma, foi possível encontrar resultados coerentes e que apresentassem boas correlações de dados de concentração e de descarga sólida simulados e observados.

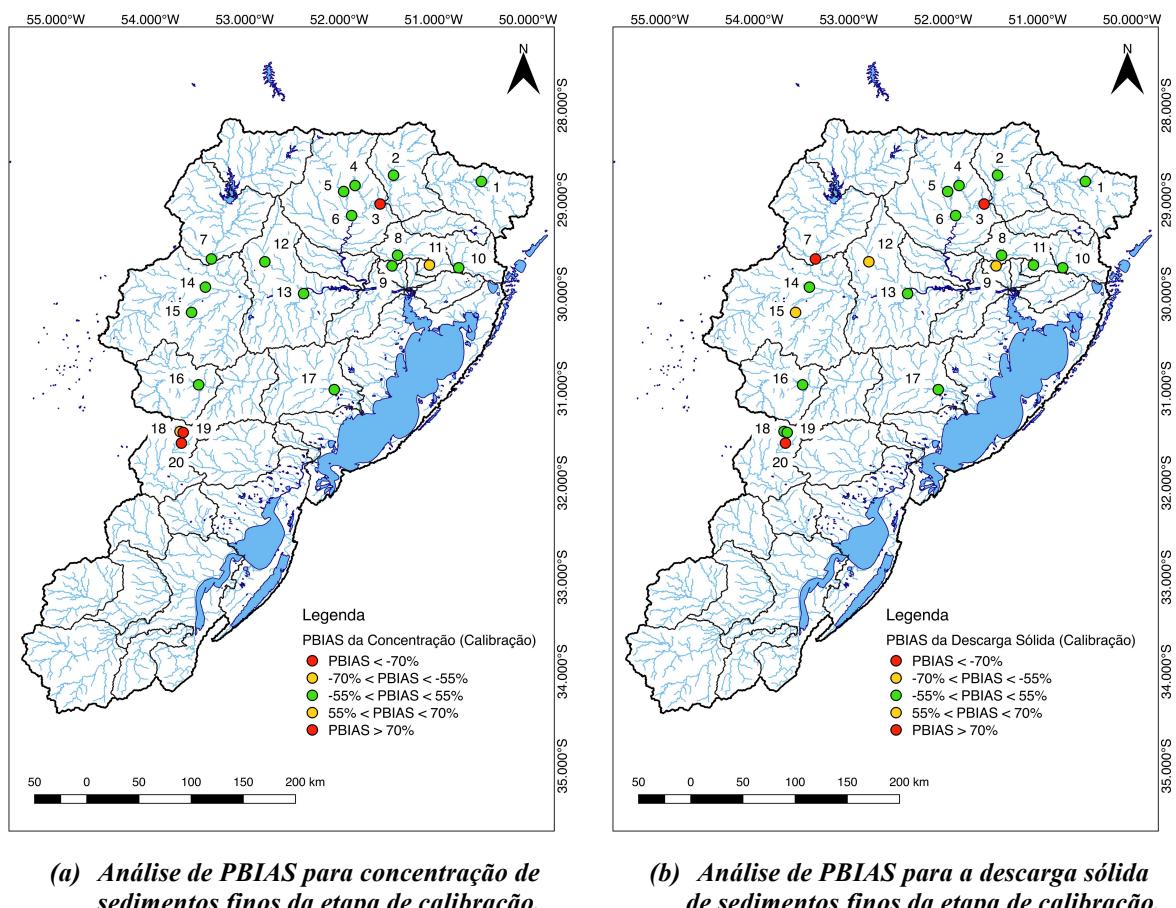


Figura 136. Análise integrada de PBIAS para a etapa da calibração.

Renata Barão Rossoni. Porto Alegre: IPH/UFRGS, 2017.

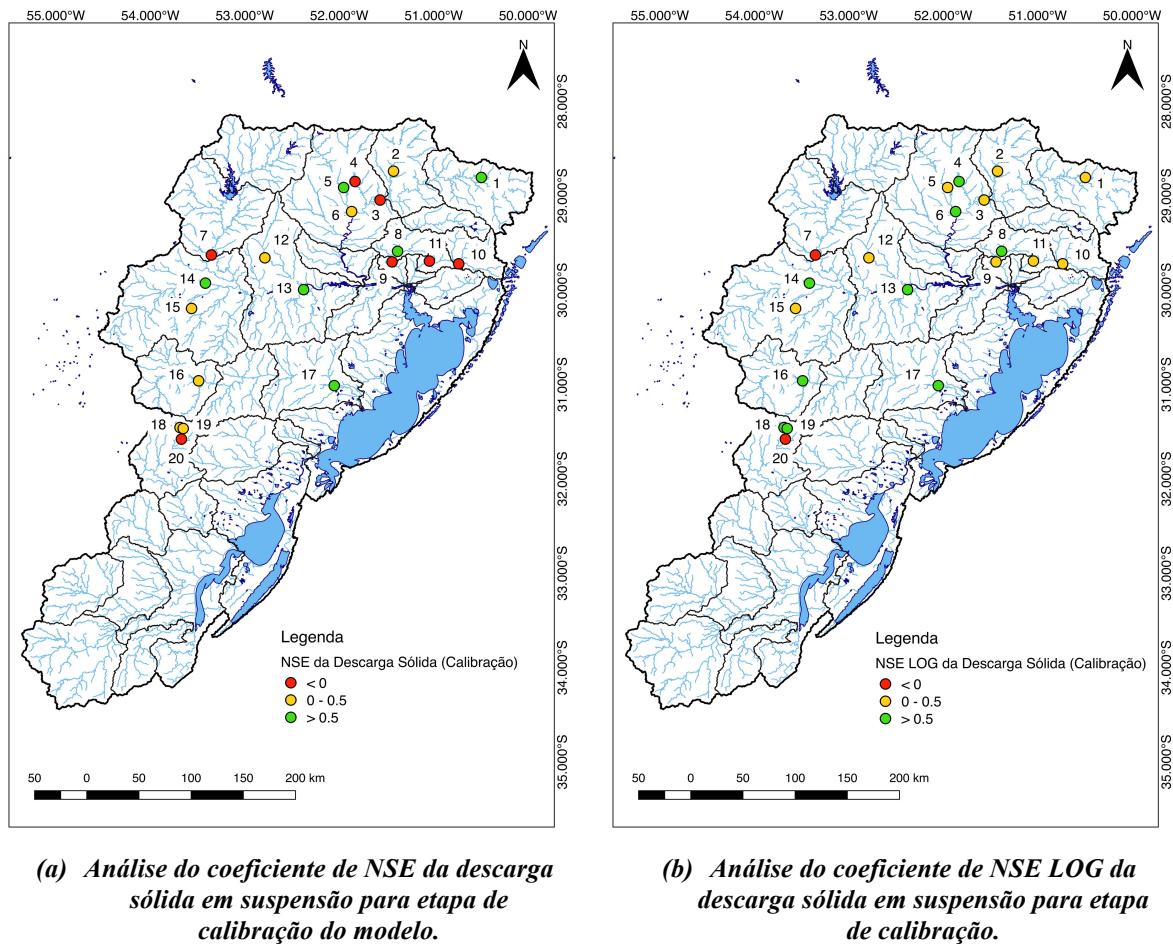


Figura 137. Análise integrada do NSE e NSE LOG para a descarga sólida em suspensão na etapa de calibração.

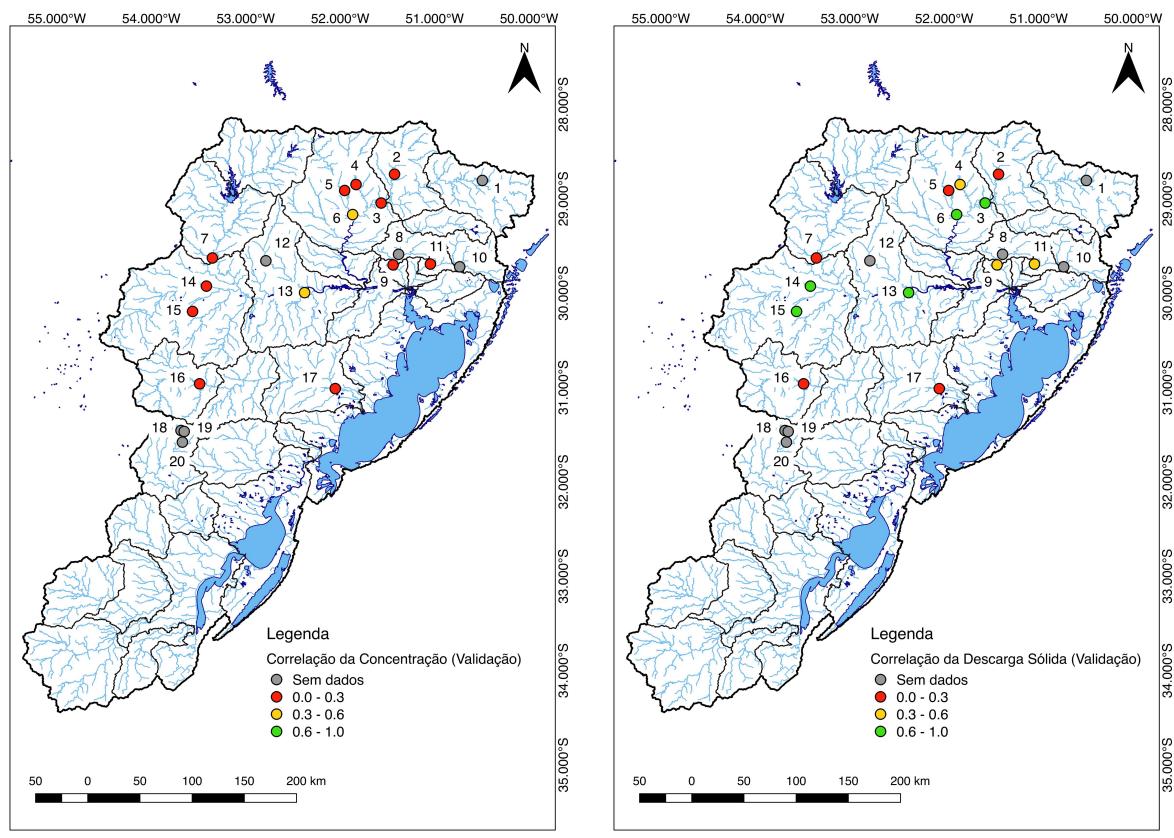
Destaca-se a dificuldade de realizar a calibração para as bacias embutidas, isto é, aquelas que apresentam mais de uma estação na mesma sub-bacia de calibração. Essa dificuldade ocorre, uma vez que as URHs escolhidas para realizar a modelagem não são as mais adequadas para uma análise de sedimentos, pois abrange para uma mesma URH características diferentes de textura de solo. Dessa forma, diferentes estações podem se encontrar numa mesma URH, contudo essa URH pode não ser representativa para as características da região onde se encontram as estações com a metodologia proposta no presente trabalho.

5.3 Análise integrada da validação para a bacia da Laguna dos Patos

Para realizar a etapa de validação foram utilizados os dados simulados e observados entre os anos 1990 e 2000. A Figura 138 e Figura 139 resumem de forma espacial os valores

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

encontrados para as métricas de desempenho. Entre as 20 estações utilizadas para realizar a calibração da bacia, sete delas não possuem dados observados no período utilizado para validação dos dados simulados. Essas estações são sinalizadas pela cor cinza nas figuras. A correlação entre sedimentos finos simulados e observados foi a que teve desempenho menos satisfatório. Nenhum dos dados ficaram acima de 0,6. Contudo, para a descarga sólida, o desempenho foi bem melhor, apresentando cinco estações com valores de r maiores do que 0,6. Entre as treze estações com dados observados na etapa de validação, apenas cinco apresentaram valores não satisfatórios.



(a) Análise da correlação da concentração de sedimentos finos para etapa de validação.

(b) Análise da correlação de descarga sólida em suspensão para etapa de validação.

Figura 138. Análise de correlação para etapa de validação.

Para os valores de PBIAS, obteve-se resultados mais satisfatórios para a concentração de sedimentos finos. Ao todo, cinco estações apresentaram resultados entre -55% e 55%. A descarga sólida não apresentou resultados satisfatórios, das treze estações, nove são classificadas como resultados insatisfatórios. De todas as estações, a 87380000 (número 11) foi

a que apresentou os piores valores de PBIAS, -593,67 e -629,41, para concentração e descarga sólida respectivamente. A PBIAS não apresentou resultados muito satisfatórios para a etapa de validação, pois para encontrar valores satisfatórios de PBIAS na calibração, em algumas estações eram superestimadas as concentrações e descargas sólidas baixas, para encontrar valores razoáveis para as concentrações e descargas sólidas de pico. Dessa forma, na etapa de validação, que não possuía muitas concentrações e descargas de pico, ocorreu uma produção muito maior de sedimentos. Pode-se atribuir este fato a duas hipóteses: primeiro, a etapa de validação possuía menos dados observados, dessa forma, não foram realizadas amostragens em épocas de pico, como na etapa de calibração; segundo, com as mudanças de manejo e uso do solo, em conjunto com as mudanças climáticas e alterações de eventos extremos, a hidrossedimentologia da bacia da Laguna dos Patos pode ter sido alterada entre os períodos utilizados para calibração e validação dos dados.

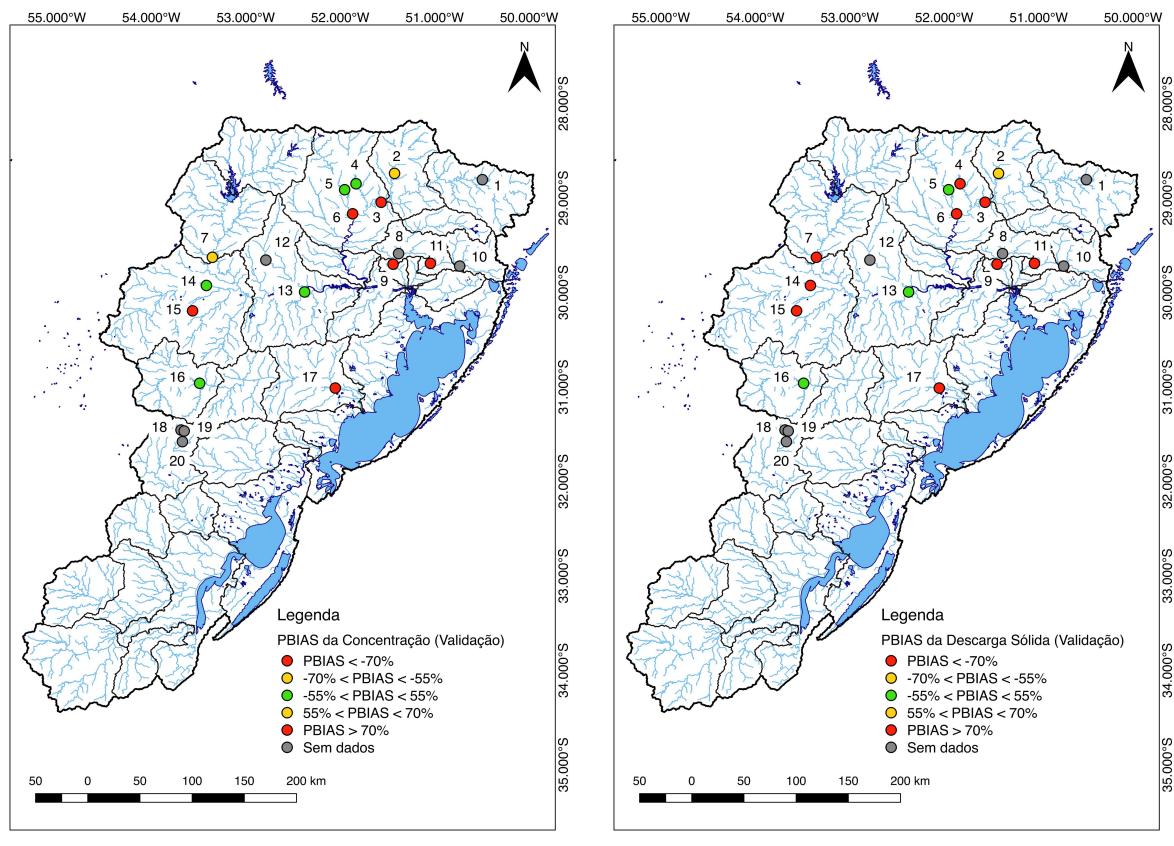


Figura 139. Análise de PBIAS para etapa de validação.

5.4 Análise integrada da bacia da Laguna dos Patos para o período total

5.4.1 Métricas de desempenho

A Figura 140 apresenta o gráfico de correlação das concentrações de sedimentos finos e descarga sólida de todos os dados simulados e observados para toda a bacia para o período total de simulação do modelo (Figura 140a e b). Pela figura, podemos perceber que a maioria dos dados possuem coerência entre si, no entanto, há alguns pontos, considerados *outliers* que, consequentemente, tornam os valores de correlação encontrados baixos. Mesmo que os resultados não apresentem valores tão satisfatórios para a métrica analisada, ainda há uma correlação levemente positiva entre os dados simulados e observados. Para o período total, os valores encontrados são aproximadamente 0,09 para a concentração de finos e 0,19 para a descarga sólida.

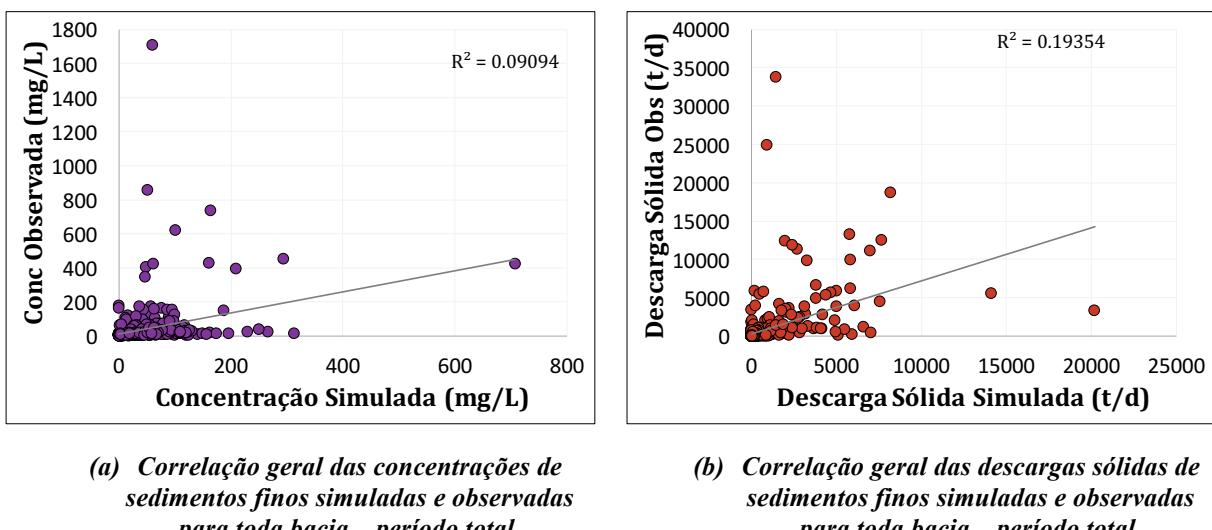
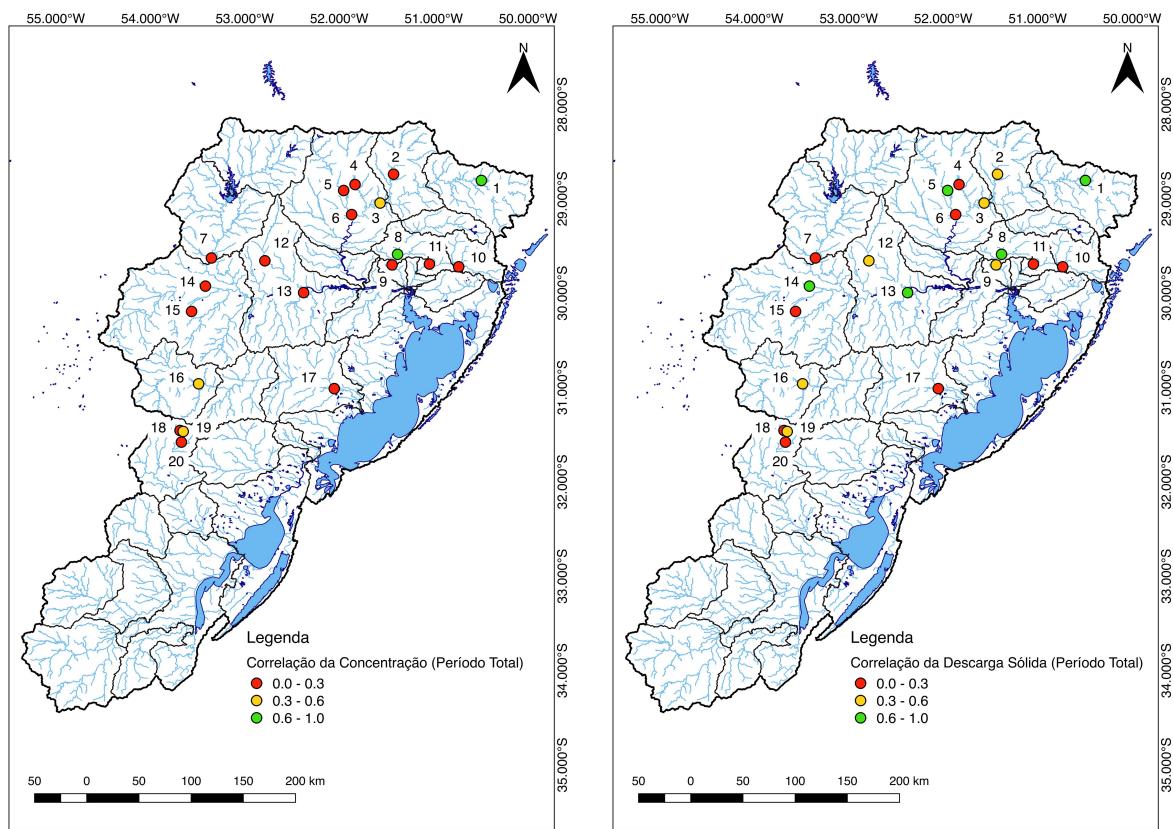


Figura 140. Gráficos da análise integrada da correlação da bacia da Laguna dos Patos para etapa de calibração e período total.

A Figura 141, a Figura 142 e a Figura 143 apresentam os valores das métricas encontradas para a bacia da Laguna dos Patos, desde 1990 até 2010, que é o período total de calibração e validação utilizados anteriormente. Ao observar as figuras, nota-se que os valores não são tão satisfatórios, como aqueles encontrados apenas para a etapa de calibração, mas de forma geral são bem positivos.

Os valores para a correlação entre os dados simulados e os dados observados de concentração de sedimentos finos foram os menos satisfatórios, sendo que para apenas duas

estações os valores de r ficaram acima de 0,6. Contudo, para os valores de descarga sólida, dez estações obtiveram resultados satisfatórios ou muito satisfatórios (Figura 141).



(a) Análise integrada da correlação da concentração de sedimentos finos.

(b) Análise integrada da correlação da descarga sólida de sedimentos finos.

Figura 141. Análise integrada da correlação da bacia da Laguna dos Patos.

Além disso, foram analisados de forma integrada os valores de PBIAS, apresentando praticamente os mesmos resultados obtidos para a calibração. Apenas a estação 87380000 (número 11), pertencente à bacia do Rio dos Sinos, apresentou resultados diferentes daqueles encontrados na etapa de calibração. Nessa estação, os valores calculados foram superestimados, apresentando um erro maior em excesso de sedimentos. De forma geral, o modelo manteve os resultados satisfatórios, mesmo ao prolongar a análise para os anos anteriores a calibração, tanto para as concentrações de sedimentos finos, quanto para as descargas sólidas de sedimentos.

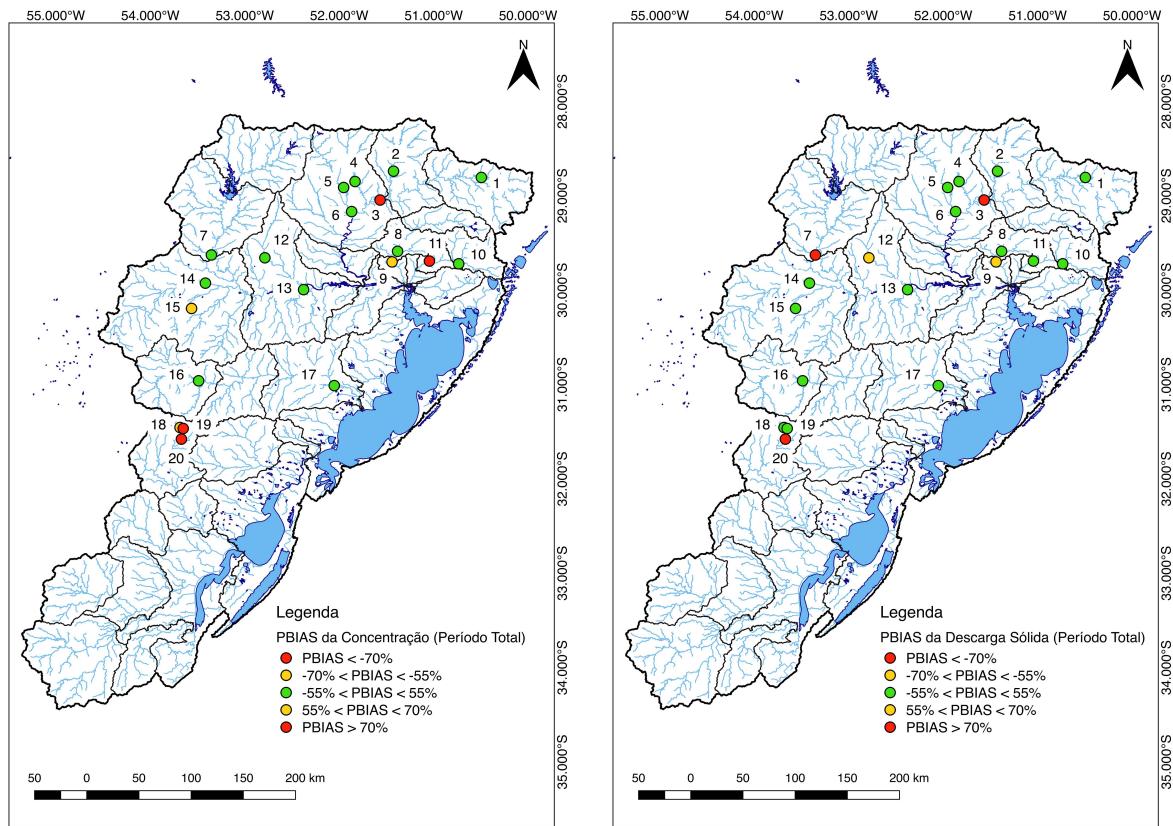


Figura 142. Análise integrada da PBIAS para a bacia da Laguna dos Patos.

Por fim, os valores de NSE e NSE LOG são apresentados na Figura 143. Os valores do coeficiente de NSE foram satisfatórios ou muito satisfatórios para dez, entre as 20 estações fluviométricas analisadas. Já os valores de NSE LOG obtiveram um desempenho muito melhor, sendo que 15, entre as 20 estações fluviométricas, apresentaram resultados satisfatórios ou muito satisfatórios. Esses valores satisfatórios de NSE LOG demonstram que, para valores de descarga sólida baixos ou medianos, o modelo consegue realizar uma boa estimativa.

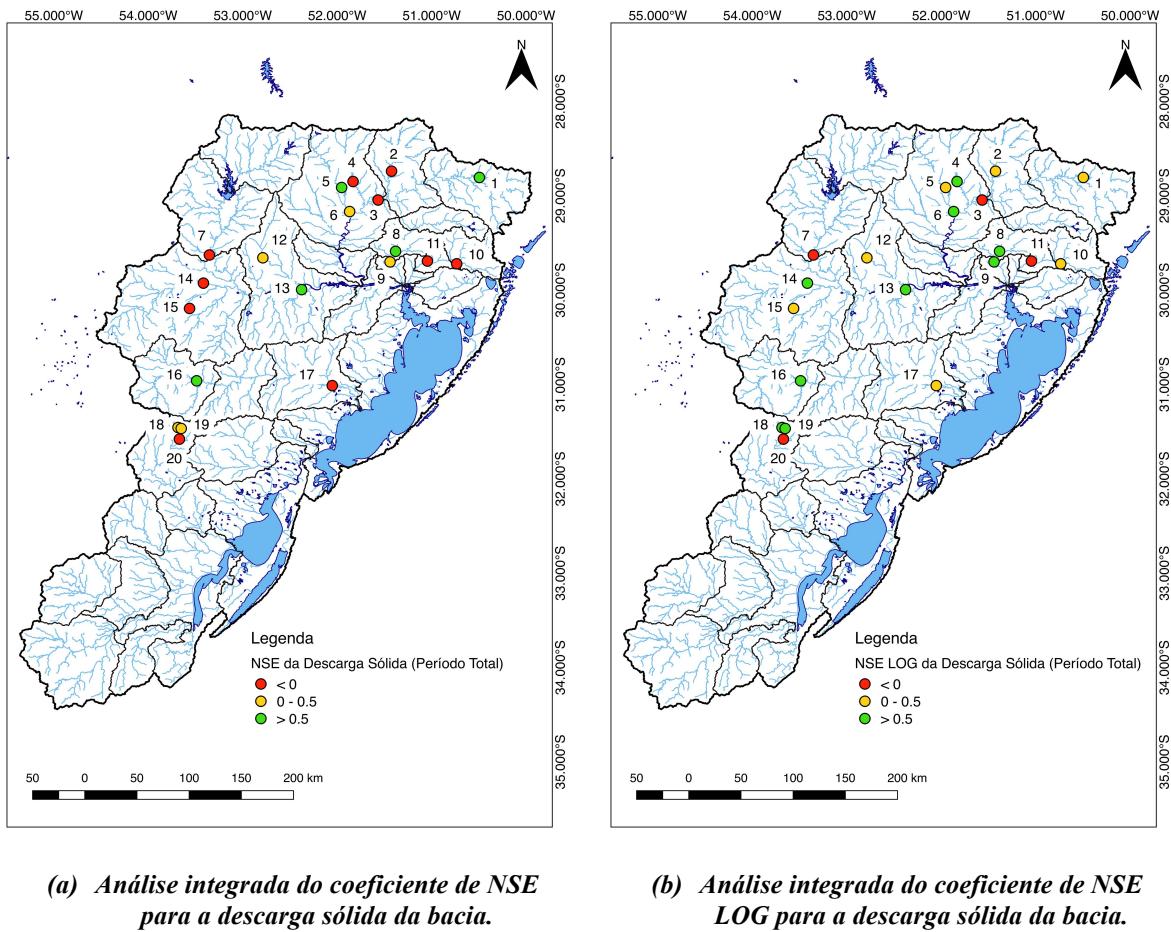


Figura 143. Análise integrada dos coeficientes de NSE e NSE LOG para a bacia da Laguna dos Patos.

5.4.2 Análise em relação às áreas de drenagem de montante

A Figura 144 apresenta a relação entre as correlações (r) das concentrações de sedimentos finos e das descargas sólidas de cada estação analisada versus a área total de montante em cada estação para o período total de simulação. A correlação entre as concentrações e a área da bacia é praticamente nula, isto é, não existe um padrão bem definido de área de bacia que seja mais favorável a se obter melhores resultados. Para as descargas sólidas, contudo, tem-se uma leve inclinação a se encontrar melhores resultados de correlação para bacias maiores, apesar de ser possível encontrar resultados bons ou muito bons para bacias menores.

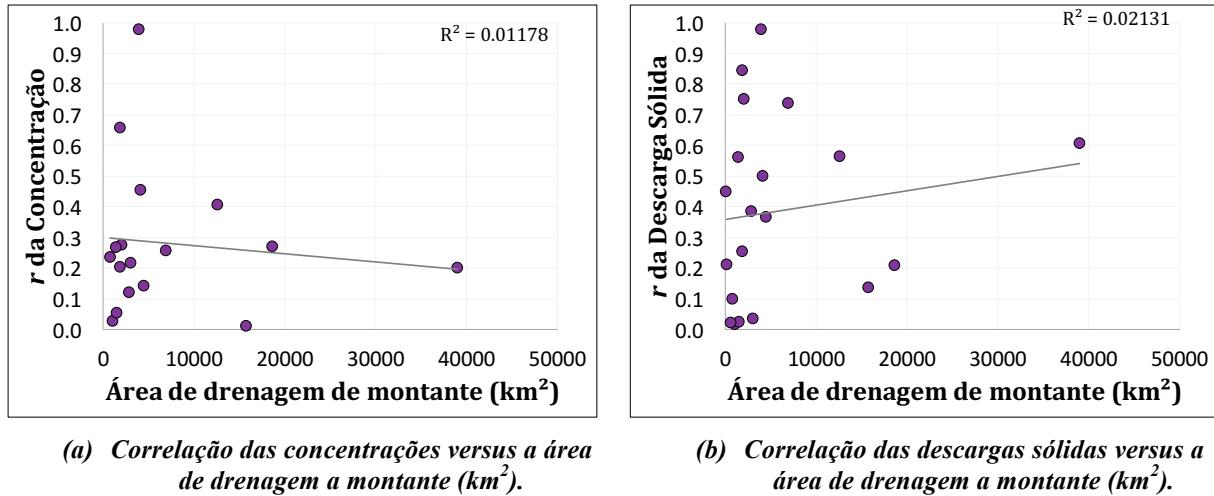


Figura 144. Análise das correlações versus a área de drenagem a montante.

5.4.3 Análise em relação ao número de dados

Como havia uma grande diversidade da quantidade de dados observados, analisou-se se havia alguma relação entre o número de dados e as correlações apresentadas no período total de simulação do modelo. A Figura 145 apresenta esses resultados. Apesar de, em um primeiro momento, haver uma tendência a melhores resultados com poucos dados observados, se retirarmos o ponto o qual a correlação é próxima de 1, essa tendência se inverte a apresentar melhores resultados a medida que aumenta o número de dados observados, sendo que os melhores resultados são apresentados para estações que haviam mais do que 20 dados observados.

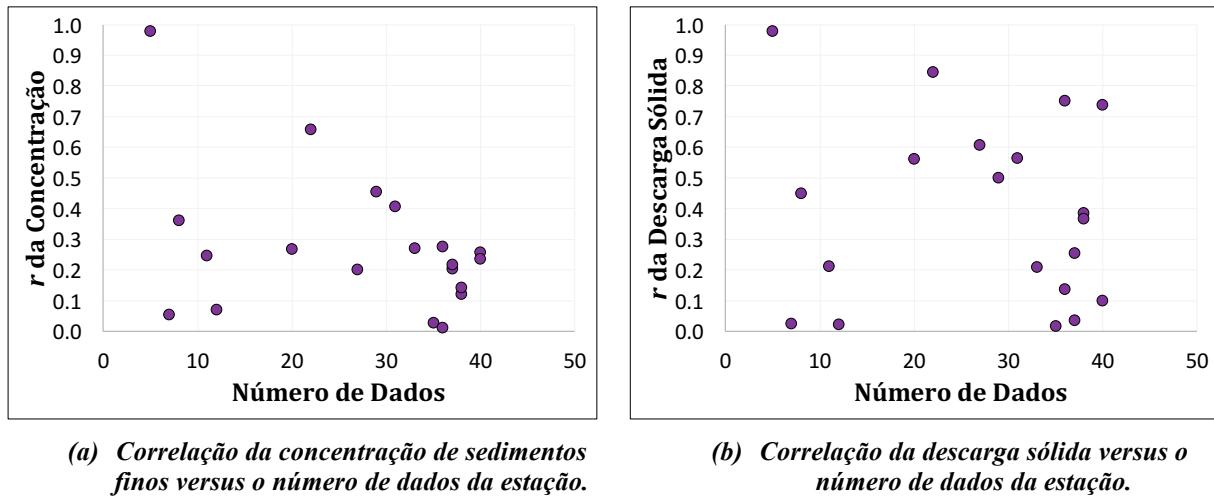


Figura 145. Análise das correlações versus o número de dados da estação.

5.4.4 Análise em relação às vazões

As correlações encontradas para a concentração de sedimentos finos são inferiores para aquelas encontradas para a descarga sólida de sedimentos. Isso ocorre, uma vez que as descargas sólidas são calculadas a partir da multiplicação das concentrações pelas vazões, dessa forma, como as vazões apresentam bons valores de correlação, acaba aumentando indiretamente a correlação existente entre as descargas sólidas. A Figura 146 apresenta a relação entre as concentrações e a descarga sólida em relação às vazões.

Quanto maiores as correlações entre as vazões, maiores também são os valores encontrados para as correlações de concentração e descarga sólida. Apesar de haver alguns pontos onde, mesmo com valores elevados de r para as vazões, os valores de r para as concentrações ou descargas eram baixos, contudo não há nenhum valor elevado de r para as concentrações ou descargas quando os valores de r para vazões são baixos. Isso demonstra a importância do módulo hidrológico para se obter bons resultados no módulo de sedimentos.

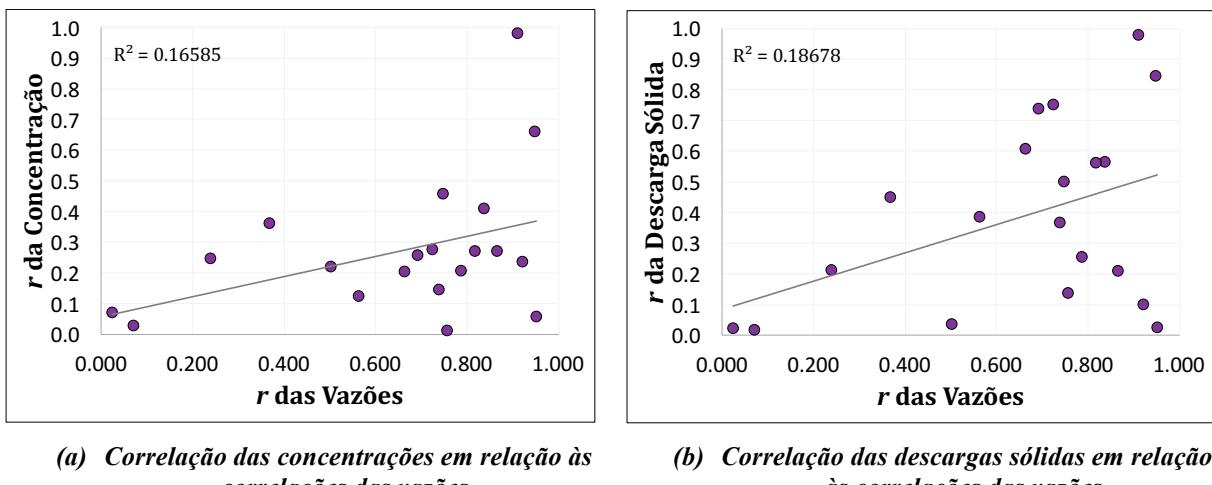


Figura 146. Correlações de concentração e descarga sólida versus correlação das vazões.

Ainda, esses resultados demonstram que, entre os fatores analisados (a área de bacia de montante, o número de dados e a vazão simulada), que podem influenciar o modelo de sedimentos, a simulação satisfatória da vazão é o fator que possui maior influência. Para melhores valores de vazão simulada, é mais provável que se obtenha melhores valores de concentrações e descarga de sedimentos simuladas.

5.5 Análise hidrossedimentológica da bacia da Laguna dos Patos

5.5.1 Mapa do transporte de sedimentos da bacia da Laguna dos Patos

A Figura 147 apresenta a estimativa do transporte de sedimentos em cada trecho de rio para a bacia da Laguna dos Patos, a partir da descarga sólida média anual para o período de 1990 até 2010.

Segundo Baisch (1994) *apud* Torres (2000), a estimativa de descarga sólida, para a Laguna dos Patos, proveniente do Sistema Guaíba e do Rio Camaquã é aproximadamente 5,3 milhões de toneladas por ano, sendo que 82% provém do Guaíba, enquanto 18% do Rio Camaquã. Isso daria aproximadamente 0,95 milhões de toneladas por ano proveniente do Rio Camaquã e 4,35 milhões de toneladas por ano provenientes do Sistema Guaíba. O modelo estimou aproximadamente 1,14 milhões de toneladas por ano aportando do Rio Camaquã na Laguna dos Patos, valor próximo daquele encontrado por Baisch (1994).

Como na presente simulação, a qual apresenta a metodologia de propagação de vazões Muskingum-Cunge (COLLISCHONN, 2001), não é possível analisar os valores estimados nos grandes corpos hídricos, como a Laguna dos Patos e o Lago Guaíba, não é possível estimar as descargas que aportam diretamente na Laguna dos Patos a partir do Sistema Guaíba. Contudo, o modelo estima que aporte no Lago Guaíba, a partir do Delta do Jacuí, é de aproximadamente 4,6 milhões de toneladas por ano de sedimentos, o que poderia ser coerente, considerando a ordem de grandeza da descarga de sedimentos estimada por Baisch (1994).

Em Hartmann, *et al.* (2010), é realizada uma estimativa do transporte de sedimentos no Baixo Jacuí, próximo da cidade de Charqueadas. No estudo, estima-se que era transportado em média 378 t/h, o que seria aproximadamente 3,3 milhões de toneladas por ano. O modelo estimou, após a calibração, aproximadamente 2,8 milhões de toneladas por ano para o mesmo trecho de rio.

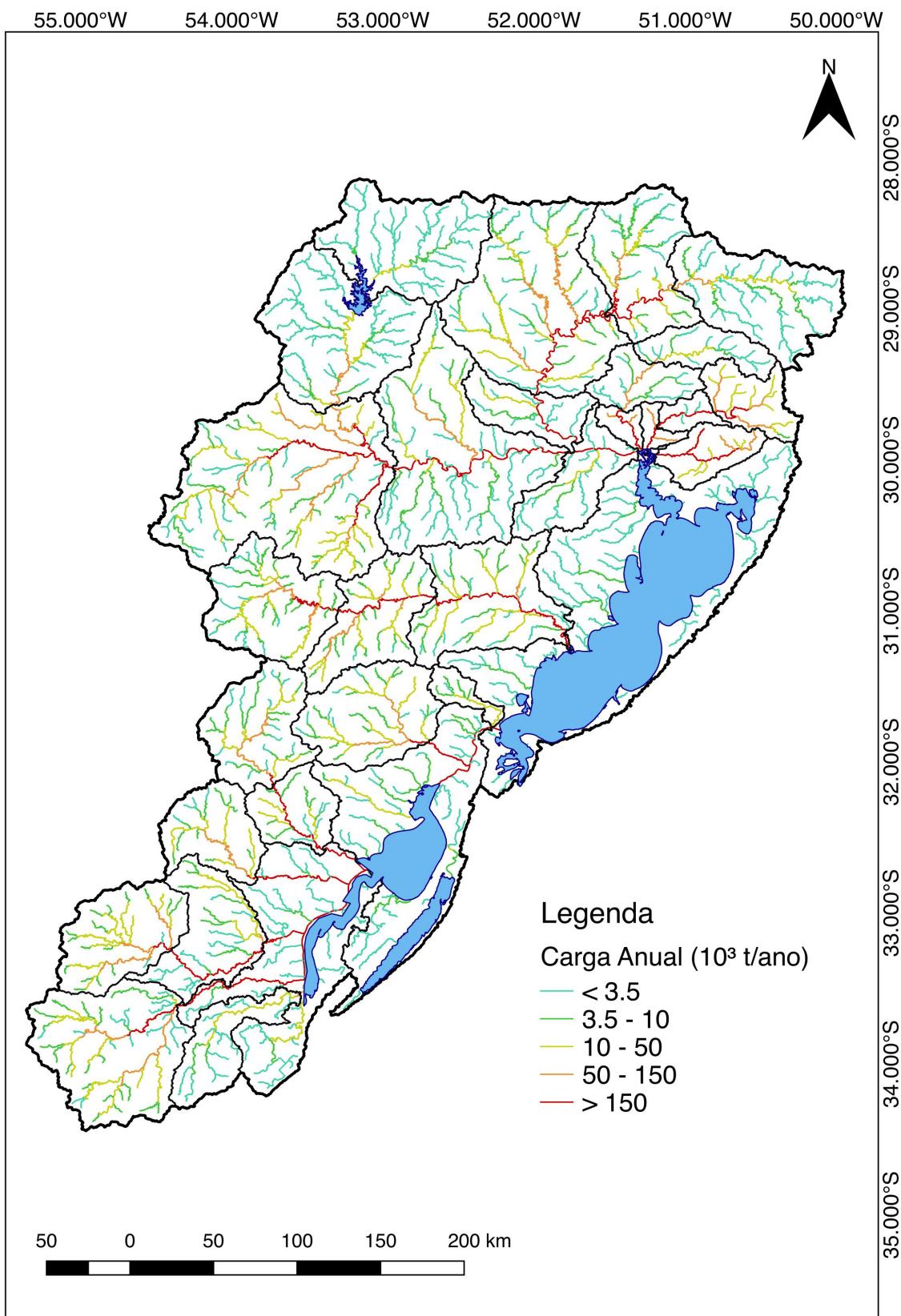


Figura 147. Estimativa da Carga Anual de sedimentos finos para bacia da Laguna dos Patos no período de 1990 até 2010.

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

5.5.2 Mapa das concentrações de sedimentos por trecho de rio

A Figura 148 e a Figura 149 apresentam as concentrações médias de argila e silte, individualmente, e de sedimentos finos (argila mais silte) por trecho de rio para o período total de simulação, de 1990 até 2010. Ao comparar a estimativa de concentração de argila e silte, percebe-se que há uma maior concentração de argila, pois como a maior parte dos solos são argilosos ou muito argilosos, optou-se por utilizar maiores porcentagens de argila do que silte ao estimar o parâmetro K da equação da MUSLE. Contudo, é importante realizar a calibração individual dessas concentrações futuramente, realizando amostragens de solo em diversas regiões da bacia para se obter resultados mais confiáveis e indicar se as estimativas realizadas em SIG (como o mapa da FAO e dados do IBGE) são possíveis de serem utilizadas para calibrar esse modelo. Além disso, pode-se estimar as concentrações de argila e silte a partir de ensaios realizados com as amostras coletadas em campo dos sólidos em suspensão nos trechos de rio.

Em estudo realizado por Hartmann, *et al.* (2010), foram encontrados valores de concentração de material em suspensão entre aproximadamente 18 mg/L e 42 mg/L, para o trecho do rio Jacuí, pouco antes de chegar no Delta do Jacuí, próximo à cidade de Charqueadas. O modelo estimou valores entre 17 mg/L e 30 mg/L para o mesmo trecho, demonstrando a semelhança entre os valores calculados e os valores observados.

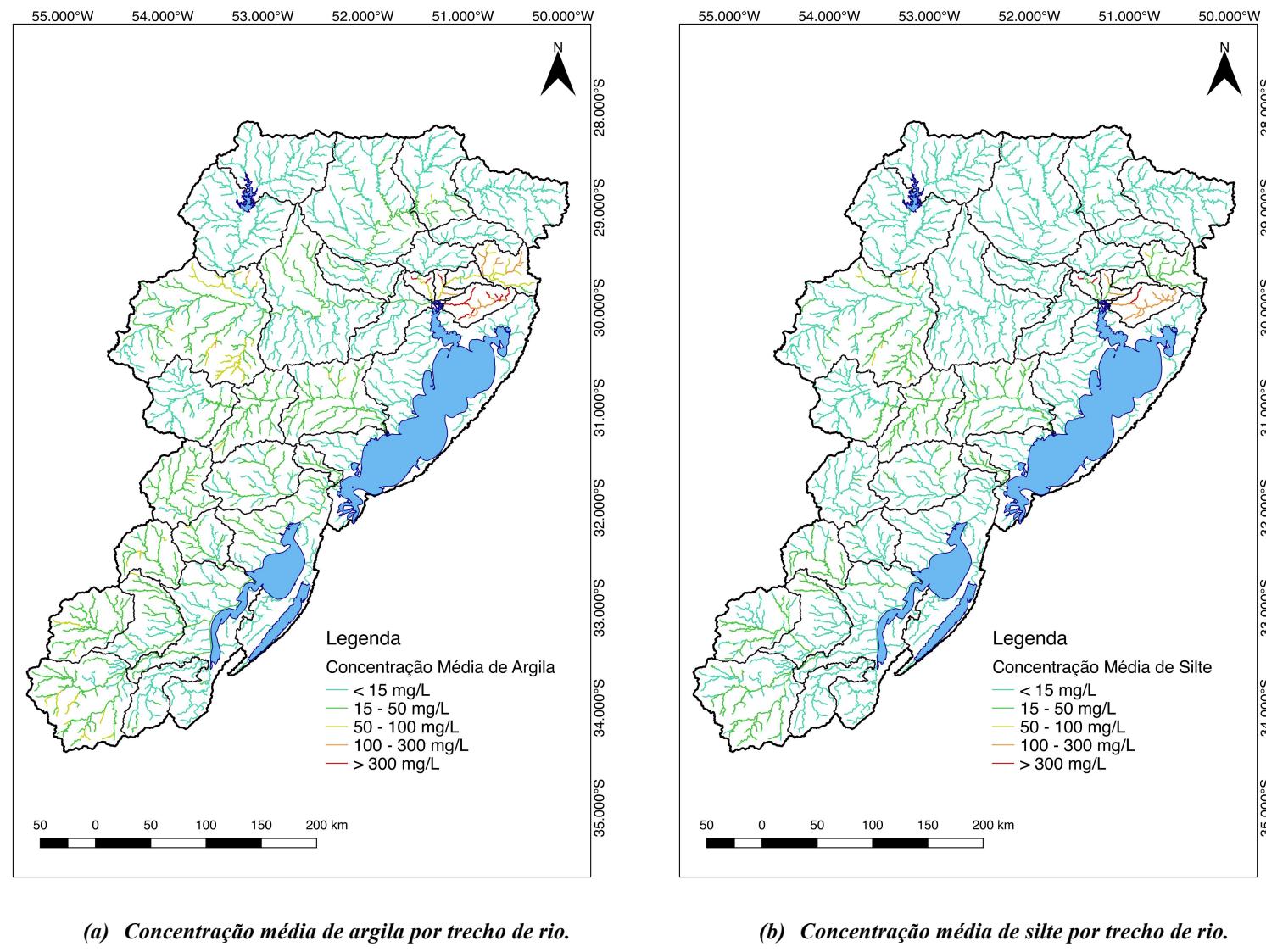


Figura 148. Estimativa da concentração média de argila e silte por trecho de rio

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

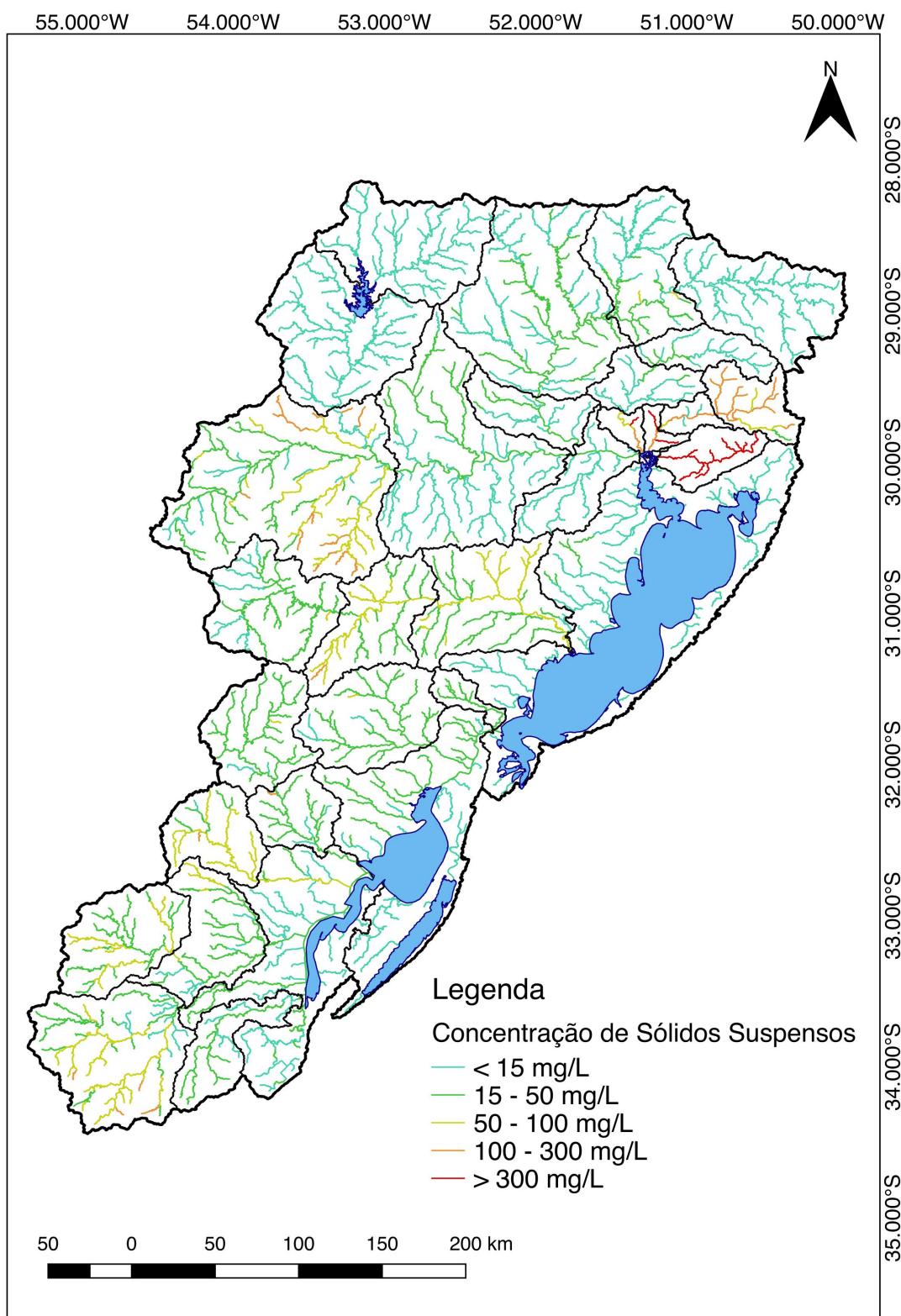


Figura 149. Estimativa da concentração média de finos (argila e silte) por trecho de rio.

5.5.3 Mapa da produção de sedimentos anual

A Figura 150 e a Figura 151 apresentam a estimativa simulada pelo modelo para produção de sedimentos em toneladas por ano para a bacia da Laguna dos Patos no período total de simulação, entre 1990 até 2010. De forma geral, é possível notar que os locais onde há maior produção de sedimentos são nos locais onde há as maiores declividades do terreno. Além disso, é estimada uma produção bem acentuada de sedimentos na bacia do Rio Caí, bacia do Rio dos Sinos e bacia do Rio Gravataí, que pode ser coerente com a realidade, pois a região possui histórico de poluição, pressão antrópica e altos valores de concentração e de descarga sólida.

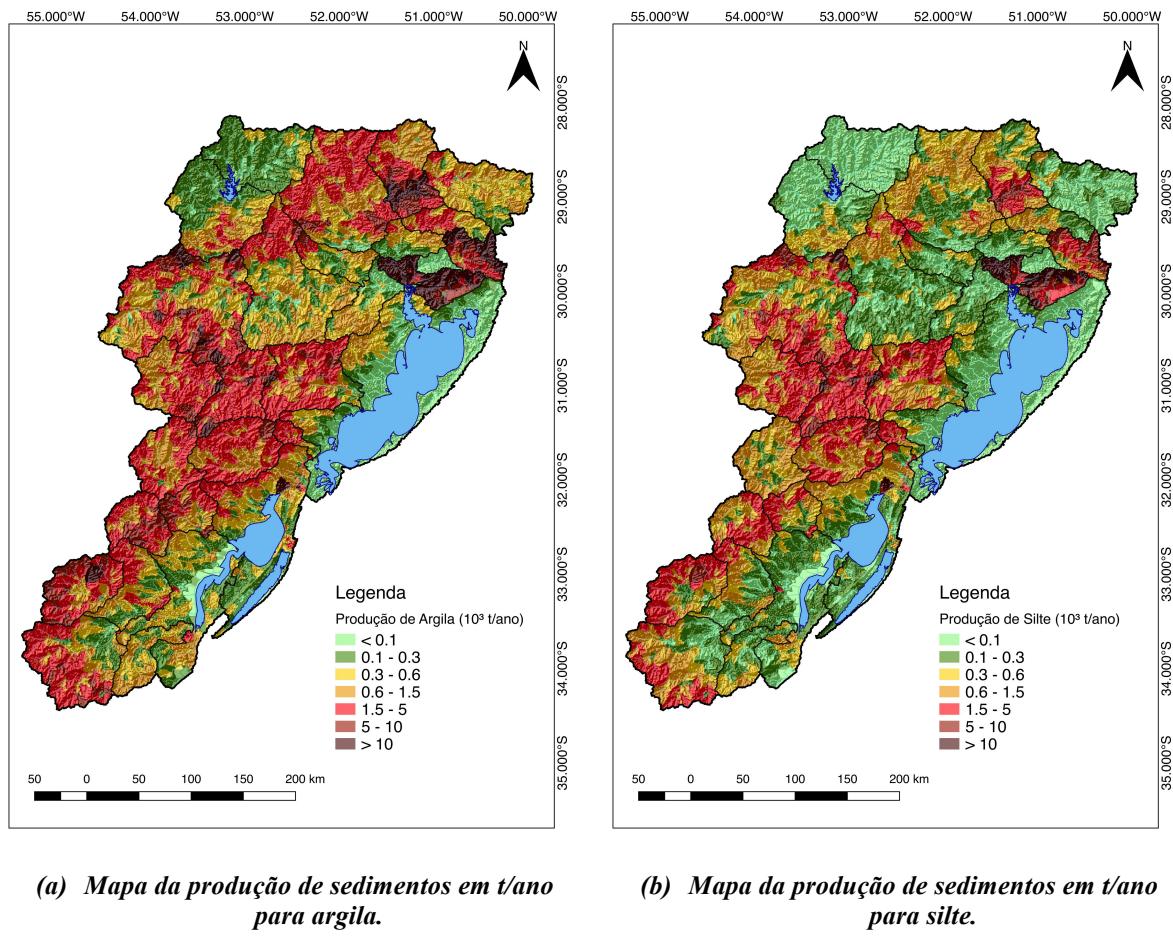


Figura 150. Mapa da estimativa da produção de sedimentos anual gerado pela bacia por ano para argila e silte para bacia da Laguna dos Patos.

A Figura 151 apresenta uma estimativa da produção anual de areia, em toneladas por ano, para a bacia da Laguna dos Patos, para o período total de calibração do modelo, entre 1990 até 2010. Destaca-se que este resultado de areia ainda precisa ser melhor investigado, pois o

modelo não foi calibrado para sedimentos mais grossos, como a areia, uma vez que não estava no escopo desse trabalho. A calibração refere-se apenas aos sedimentos finos. No entanto, foi gerado esse mapa com a estimativa dos sedimentos de areia para verificar se há alguma coerência entre os resultados, além de demonstrar alguns resultados que podem ser úteis futuramente e que podem ser gerados a partir de calibrações satisfatórias do modelo.

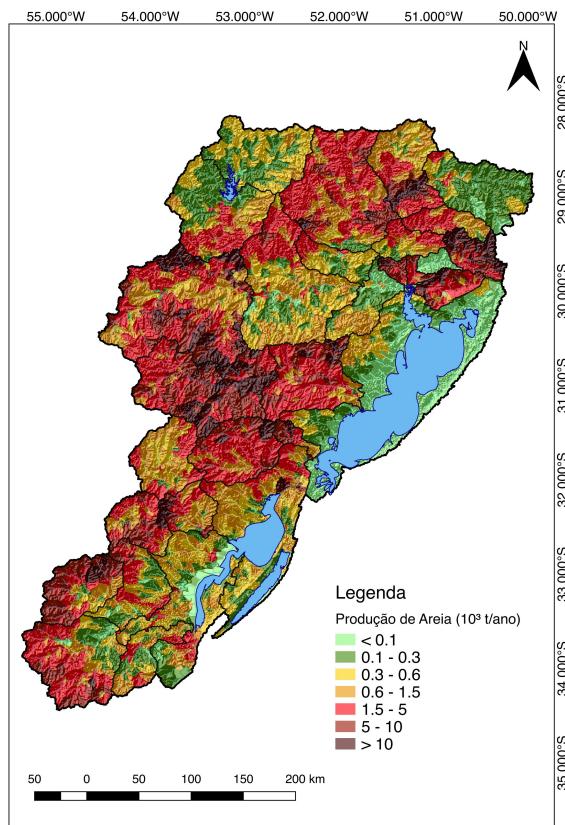


Figura 151. Mapa da estimativa da produção de sedimentos anual, em toneladas por ano, de areia para a bacia da Laguna dos Patos.

A Figura 152 apresenta as estimativas de produção de sedimentos anuais para sedimentos finos (argila e silte) e sedimentos totais (argila, areia e silte). De forma geral, o mapa apresenta resultados satisfatórios para a bacia da Laguna dos Patos, apresentando coerência entre seus resultados. Contudo, é necessário destacar que a sub-bacia de calibração número 3, localizada na sub-bacia do Rio dos Sinos, apresenta um resultado incoerente com as outras sub-bacias de calibração da sub-bacia do Rio dos Sinos. Como pode ser observado pelo mapa de produção total de sedimentos, é a sub-bacia que apresenta a menor produção de sedimentos da bacia da Laguna dos Patos, o que não está de acordo com os usos do solo na região. Além disso, a sub-

bacia de calibração a montante e a jusante são as sub-bacias que apresentam um dos maiores valores de produção de sedimentos totais, corroborando com a incoerência apresentada pela sub-bacia de calibração número 3.

Isso ocorreu, uma vez que os valores de C estimados para essa sub-bacia ficaram muito abaixo dos valores utilizados na literatura, dessa forma as estimativas de produção de sedimentos não estão de acordo com a realidade da região. Contudo, ao observar as métricas de desempenho e os gráficos para essa estação, nota-se que a calibração foi satisfatória para as concentrações de sedimentos finos e descargas sólidas de sedimentos finos. Provavelmente, por ser uma região de planícies de inundação e com grande pressão antrópica, os regimes de transporte de sedimentos podem apresentar alterações. Além disso, a bacia de montante havia poucos dados para realizar a calibração e, ainda, esses dados apresentavam incoerência entre si. Dessa forma, recomenda-se uma análise mais aprofundada para a sub-bacia do Rio dos Sinos, com maior coleta de dados para realizar uma calibração mais coerente.

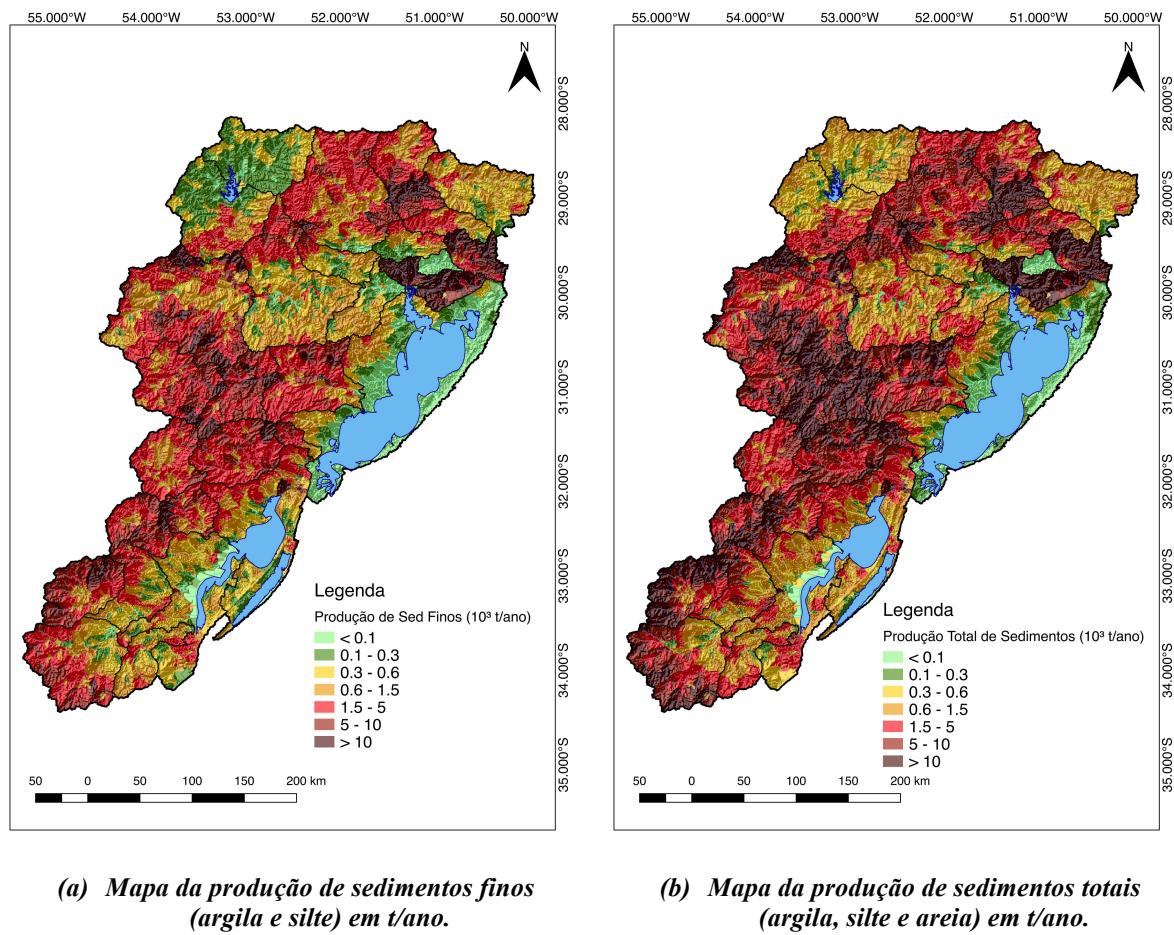


Figura 152. Mapa da estimativa da produção anual de sedimentos finos e sedimentos totais, em toneladas por ano, para a bacia da Laguna dos Patos.

Simulação Hidrossedimentológica de Grandes Bacias: O estudo de caso da bacia da Laguna dos Patos.

6 CONCLUSÕES

O objetivo geral, do presente trabalho, foi analisar os aspectos hidrossedimentológicos da produção e fluxo de sedimentos finos na bacia da Laguna dos Patos. Para isso, foi proposto a utilização do modelo MGB-SED, um módulo de sedimentos acoplado ao modelo hidrológico MGB-IPH. De forma geral, pode-se concluir que foi possível realizar a análise desses aspectos de forma integrada para a bacia em questão. Assim, são respondidas as questões levantadas anteriormente, que auxiliaram na obtenção do objetivo geral proposto.

- 1. É possível obter resultados aceitáveis para simulações hidrossedimentológicas com a utilização do Modelo de Grandes Bacias – Módulo de Sedimentos (MGB-SED), no contexto da bacia em questão, com os dados disponíveis? A calibração do modelo gera melhorias para a simulação de forma geral?*

A partir da utilização do modelo MGB-SED, para a bacia da Laguna dos Patos, e com os dados disponíveis, foi possível realizar a simulação hidrossedimentológica para a maior parte da bacia. Nem toda bacia possuía dados observados disponíveis, principalmente na região do Uruguai. Dessa forma, em algumas sub-bacias foi necessário estimar os parâmetros de calibração. Acredita-se que, como o modelo não apresenta valores estimados padrão para cada tipo de solo e uso e que os valores chamados, no presente trabalho, de padrão são valores pré-determinados utilizados em outro estudo, há necessidade de calibrar o modelo para os parâmetros de calibração sugeridos nesse estudo. As sub-bacias que apresentaram bons resultados antes da calibração apresentaram esse comportamento, pois de forma aleatória os valores pré-estabelecidos no modelo estavam de acordo com as características daquela região, contudo, isso não é padrão para toda sub-bacia. Mesmo aquelas sub-bacias que já apresentaram bons resultados antes da calibração, ainda assim, foram feitas algumas modificações nos parâmetros, de forma que gerassem resultados ainda melhores do que aqueles gerados anteriormente à calibração. Além disso, ao alterar valores das sub-bacias de montante, acabou-se alterando valores das sub-bacias de jusante. Assim, uma bacia de jusante que apresenta bons resultados antes da calibração, pode sofrer alterações caso haja modificações na bacia de montante.

2. *Quão adequados são os valores encontrados, em termos de correlação e tendência média dos dados observados em relação aos dados simulados? Quais alterações poderiam ser realizadas para melhorar a metodologia de calibração do modelo, visando obter melhores resultados?*

Visto que realizar a calibração de um modelo de sedimentos, com uma série de dados pouco representativa (entre 5 e 25 dados para um período de 10 anos de calibração), é, de forma geral, bem complexo, os valores encontrados para as métricas escolhidas, bem como a análise qualitativa, mostraram-se satisfatórias a muito satisfatórias. Entre 20 estações fluviométricas analisadas, 17 estações apontaram resultados satisfatórios ou muito satisfatórios para os valores de PBIAS para concentração de sedimentos finos e 17 estações apresentaram resultados satisfatórios ou muito satisfatórios para valores de PBIAS para a descarga sólida de sedimentos finos. Além disso, obteve-se valores de NSE entre -1,68 até 0,91 para o período de calibração e valores de NSE LOG de -6,29 até 0,81 para o período de calibração. Entre as 20 estações, 10 apresentaram valores satisfatórios ou muito satisfatórios para os valores de correlação de sedimentos finos, enquanto 12 apresentaram resultados satisfatórios ou muito satisfatórios para correlação das descargas sólida de sedimentos.

O período de validação não apresentou resultados tão satisfatórios, demonstrando que houve um excesso de sedimentos simulados nesse período. Contudo, ao analisar de forma integrada os resultados encontrados na bacia, nota-se que não há diferenças acentuadas entre as análises realizadas no período de calibração e as análises realizadas no período total.

A calibração do modelo pode obter resultados mais satisfatórios ao realizar uma maior e melhor coleta de dados observados, para que os valores estimados possam ser mais realistas e estarem mais de acordo com os dados diários. Os dados, da forma como são monitorados, são úteis para realizar estimativas médias anuais, contudo, são pouco confiáveis para realizar estimativas com passo de tempo diário. Além disso, poderia ser proposto, para melhorar a metodologia da calibração, uma alteração no mapa das URHs. Ao invés de serem divididas por profundidade de solo, sugere-se que o mapa de URHs seja dividido por tipos de textura de solo. Uma das grandes dificuldades de calibrar o modelo, é devido a essa divisão, pois para um mesmo tipo de solo, existem áreas que variam de arenosa a argilosa. Dessa forma, como o que interessa para o modelo é a textura, as estimativas seriam mais realistas com essa alteração.

Além disso, a calibração provavelmente apresentaria resultados melhores ao utilizar o modelo de propagação inercial ou hidrodinâmico, uma vez que a área possui diversos pontos

que são localizados em planícies de inundação, dessa forma, o modelo poderia prever melhor as trocas de água e sedimentos entre a planície e o leito do rio.

3. Os valores encontrados na simulação hidrossedimentológica estão de acordo com os valores médios encontrados na literatura?

Ao analisar a literatura utilizada, percebe-se que são poucos os dados sobre estimativas de produção e concentração de sedimentos na bacia da Laguna dos Patos. Contudo, para os dados encontrados, destaca-se que os valores obtidos pelo modelo são bem próximos da realidade. No Rio Camaquã é estimado uma descarga sólida média de 0,95 milhões de toneladas por ano e o modelo simulou para o Rio Camaquã aproximadamente 1,14 milhões de toneladas por ano. Já para o Rio Jacuí, a estimativa é uma descarga sólida média de 3,3 milhões de toneladas por ano, enquanto o modelo estimou 2,8 milhões de toneladas por ano.

Além disso, os valores de concentração estimados apresentam semelhança com o valor encontrado na referência. Para o Rio Jacuí os valores estimados em estudos apontam entre 18 mg/L e 42 mg/L, e os valores simulados se encontram entre 17 mg/L e 30 mg/L, mostrando que o modelo consegue chegar a estimativas bem próximas da realidade nas regiões onde possuem dados observados.

Destaca-se a dificuldade de encontrar dados hidrossedimentológicos estimados na literatura que sejam possíveis de comparar com os dados simulados. A maioria dos estudos são focados na Laguna dos Patos, na Lagoa Mirim ou no Lago Guaíba, que não entram no escopo do presente trabalho.

4. A modificação dos parâmetros utilizados, para realizar a calibração, são suficientes em termos de simulação? O que pode ser alterado no modelo para melhorar os resultados encontrados?

Apesar de não ter sido encontrados resultados satisfatórios ou muito satisfatórios em todas estações analisadas, contudo, após observar os mapas gerados pelo modelo e as comparações dos dados com a literatura existente, acredita-se que modificando apenas os valores de K (fator de erodibilidade do solo) e C (fator de cobertura e manejo do solo) é possível encontrar boas estimativas para a simulação da hidrodinâmica dos sedimentos em grandes bacias com a utilização do modelo MGB-SED, desenvolvido por Buarque (2015). Contudo,

para melhorar os resultados simulados, poderia ser proposto uma alteração nos parâmetros da MUSLE relacionados às equações numéricas do modelo em questão, como os valores de alfa (α) e beta (β). O alfa, por ser um coeficiente que está multiplicando a equação, provavelmente aumentaria ou diminuiria a geração de sedimentos, sem alterar o formato do gráfico. O beta, contudo, é um coeficiente da equação exponencial presente na MUSLE. Como esse expoente está relacionado diretamente com as vazões e volume de água que chega em cada minibacia, ele poderia modificar os picos e vales dos gráficos de sedimentos, causando, assim, alteração no formato do gráfico. Além disso, poderia ser alterado o TKS (tempo de retardo do reservatório linear de sedimentos) e verificar se ocorriam alterações nas descargas sólidas de sedimentos finos e, consequentemente, alterariam os picos e vales dos gráficos.

Além disso, pode-se destacar algumas limitações inerentes ao modelo utilizado no presente trabalho. Entre elas, as limitações apresentadas pela equação da MUSLE, que utiliza parâmetros de alfa (α) e beta (β) determinados em estudos para regiões dos Estados Unidos, sendo necessário determinar valores para esses parâmetros que sejam mais adequados para a região de estudo. Ainda referente a MUSLE, há grande dificuldade de estimar valores coerentes de C, uma vez que esse parâmetro pode variar muito dependendo da época do ano, do tipo de cultura, do tipo de vegetação, da porcentagem de floresta/cultura/campo na área em estudo, entre outros. Dessa forma, sugere-se que seja incorporado no modelo um parâmetro C variável, de forma a estimar melhor os valores para cada época do ano. Além disso, outra limitação encontrada no modelo, foi a pouca quantidade de dados observados encontrada para realizar a calibração.

7 INDICAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

A seguir, são apresentadas indicações para trabalhos futuros, a partir dos resultados encontrados no presente estudo.

- *Desenvolvimento de um módulo que calcule a taxa de sedimentação para grandes corpos hídricos, como a bacia da Laguna dos Patos e outros lagos e lagunas, que estão em processo constante de sedimentação de curto período;*
- *Realizar análise da hidrodinâmica dos sedimentos com a utilização do modelo MGB-SED com metodologia de propagação de vazões hidrodinâmico ou inercial;*
- *Realizar a calibração, dessa bacia ou de outras futuramente, a partir do mapa de URHs modificado. Ao invés de dividir os solos em profundos, rasos e de várzea, poderia ser divido por tipos de textura de solo;*
- *Detectar as áreas de maior erosão, realizar seu monitoramento e realizar o manejo da área, dessa forma, poderia ser desenvolvido um modelo que possa simular as alterações em áreas de maior erosão e quais alterações seriam observadas nos trechos a jusante;*
- *Analizar a influência de práticas de dragagem e/ou mineração de sedimentos a jusante e a montante e acoplar um módulo nesse modelo que descreva essas alterações;*
- *Desenvolver práticas de manejo nas áreas mais afetadas pela erosão e produção de sedimentos, evitando, dessa forma, o aumento da taxa de sedimentação nos grandes corpos hídricos (como a Laguna dos Patos) ou em áreas de interesse econômico (como os Portos), evitando custos maiores de dragagem e de tratamento de água de captação;*
- *Desenvolver um módulo de transporte de sedimentos na zona marítima com a finalidade de analisar até onde chega esse sedimento que é aportado do continente e, dessa forma, poderia ser previsto até onde chegam os poluentes que saem do continente e chegam no oceano para, futuramente, poder desenvolver práticas de tratamento dos mares e fundos oceânicos;*
- *Realizar simulações para averiguar se, nos casos em que há o manejo e consequentemente alterações na dinâmica de sedimentos, isso modificaria a hidrologia e hidrodinâmica dos corpos hídricos;*
- *Desenvolver um módulo de previsão de assoreamento de reservatórios;*
- *Comparar os resultados com dados de sensoriamento remoto;*
- *Realizar a calibração de sedimentos grossos, principalmente a areia, e verificar se os valores de concentração de argila e silte simulados em conjunto são coerentes se analisados individualmente.*
- *Adicionar parâmetro de C dinâmico.*

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Setor Aquaviário – Desempenho 1 semestre de 2017. ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários, Brasília, 2017. Disponível em: <<http://portal.antaq.gov.br/wp-content/uploads/2017/08/Estat%C3%ADsticas-Aquavi%C3%A1rias-do-1º-Semestre-de2017.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2017.
- AKSOY, H; KAVVAS, M. L. A review of hillslope and watershed scale erosion and sediment transport models. *Catena*, v. 64, p. 247-271, 2005, doi:10.1016/j.catena.2005.08.008.
- ANDRADE NETO, J. S. de; RIGON, L. T.; TOLDO JR, E. E.; SCHETTINI, C. A. F. Descarga sólida em suspensão do sistema fluvial do Guaíba, RS, e sua variabilidade temporal. *Pesquisas em Geociências*, Porto Alegre: Instituto de Geociências/UFRGS, v. 39, p. 161-171, 2012, ISSN 1518-2398.
- ARAÚJO, J. C. Assoreamento em Reservatórios do Semi-Árido: Modelagem e Validação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, p. 39-56, 2003.
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal American Water Works Association*, v. 34, p. 73-89, 1998.
- ASMUS, L. M. A Planície Costeira e a Lagoa dos Patos. In: SEELIGER, U.; ODEBRECHT, C.; CASTELLO, J. P. (Ed.). **Os ecossistemas costeiros e marinho do extremo sul do Brasil**, Rio Grande: Ecoscientia, 1998. p. 9-12.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6.502: Rochas e Solos. Rio de Janeiro: ABNT, 1995.
- BAISCH, P. R. M. **Les oligo-elements métalliques du système fluvio-lagunaire des Patos, Flux et devenir (Brésil)**. Tese de Doutorado (Géologie Marine). Université de Bordeaux I, Bordeaux: [s.n], 1994, 345p.
- BARENHO, C. **A zonas úmidas no contexto da Agenda 21: O estudo do Núcleo de Educação Ambiental da orla da Laguna dos Patos como instrumento de educação ambiental**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Biologia). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2005.
- BEASLEY, D. B.; HUGGINS, L. F.; MONKE, E. J. ANSWERS: a model for watershed planning. *Transactions of the ASAE*, 1980, 938-944, doi:10.13031/2013.34692.
- BESKOW, S.; MELLO, C. R.; NORTON, L. D.; CURRI, N.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J.C. Soil prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. *Catena*, v. 79, p. 49-59, 2009, doi:10.1016/j.catena.2009.05.010.
- BORDAS, M. P; SEMMELMANN, F. R. Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**, v. 2, Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001, p. 915-943.

BORDAS, M. P.; CASALAS, A. B.; SILVEIRA, A.; GONÇALVES, M. **Circulação e dispersão em sistemas costeiros e oceânicos. Caso da Lagoa dos Patos.** Relatório Técnico, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 1984.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1998.

BREMICKER, M. **Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells.** Dissertation Doktorgrad, Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 1998.

BUARQUE, D. C. **Simulação da geração e do transporte de sedimentos em grandes bacias: Estudo de caso do Rio Madeira.** Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2012, 224p.

BUARQUE, D. C.; PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; GUYOT, J. L. Modelagem computacional da dinâmica de sedimentos em suspensão na bacia do Rio Madeira. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 12. **Anais...** [S.l.]: ABRH, 2016, ISSN 2359-2141.

CALLIARI, L. J.; TAGLIANI, C. R. Geologia – Geomorfologia. In: TAGLIANI, P. R. A.; ASMUS, M. L. (Coord.). **Estudo de Impacto Ambiental do Porto de Rio Grande (EIA).** Rio Grande: [s.n.], p. 412-425, 1997.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática.** Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CHANG, H. H. **Fluvial processes in river engineering.** New York: John Wiley & Sons, 1988. 432p.

COLLISCHONN, W. & DORNELLES, F. **Apostila: introduzindo hidrologia.** Porto Alegre: [s.n.], 2013.

COLLISCHONN, W. & TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, p. 95-118, 2001.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias.** Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, 2001.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, v. 52, p. 878-895, 2007, doi:10.1623/hysj.52.5.878.

CPRM. **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul.** Projeto Geologia do Brasil ao Milionésimo. Porto Alegre: CPRM, 2008. Escala 1:750.000.

DANTAS, J. C.; SILVA, M. A.; SILVA, R. M.; VIANNA, P. C. G. Simulação vazão-erosão usando o modelo SWAT para uma grande bacia da região semiárida da Paraíba. **Geociências**, v. 34, n. 4, p. 816-827, 2015.

DULAC, V.; NUNES, A. S.; GODOI, L. F. S.; GODOI, S. G.; CUNHA, C.; BLASCKESI, T. F.; CRUZ, R. C. Análise exploratória dos fatores de alteração do regime hidrológico pré e pós barragens de regularização: efeito do uso da terra. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6. SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2., 2010, Coimbra. **Anais...** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

ECKHARDT, K.; HAVERKAMP, S.; FOHRER, N; FREDE, H. G. SWAT-G: a version of SWAT99.2 modified for application to low mountain range catchments. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 27, p. 641-644, 2002.

ECOPLAN. **Consolidação do conhecimento sobre os recursos hídricos da bacia do Rio do Pardo e elaboração do programa de ações da sub-bacia do Rio Pardinho**. Relatório de Diagnóstico. Secretaria Estadual do Meio Ambiente/Departamento de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 244 p., 2005.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**, 2 ed., Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006, 306 p., ISBN 85-85864-19-2.

FAGUNDES, H. O.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C. Simulação hidrossedimentológica preliminar na bacia do Rio Doce com modelo MGB-SED. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 2. **Anais...** 2017.

FAN, F. M.; COLLISCHONN, W. Integração do modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, p. 243-254, 2014.

FAN, F. M. **Previsão por conjunto de vazões afluentes a reservatórios em grandes bacias hidrográficas brasileiras**. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015, 384 p.

FAN, F. M.; BUARQUE, D. C.; PONTES, P. R. M.; COLLISCHONN, W. Um mapa de Unidades de Resposta Hidrológica para a América do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., Brasília/DF. **Anais...** Brasília: ABRH, 2015.

FAO. **Digital Soil Map of the World 3.6**. FAO Geonetwork. Disponível em: <<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>>. Último acesso: 04 de dezembro de 2017. Escala 1:5.000.000, 2007.

FARINASSO, M.; CARVALHO JR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solo, utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba-PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FEPM. **Qualidade Ambiental – Região Hidrográfica do Guaíba: Qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Caí**. FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_cai/cai.asp>. Último acesso em: 10 de dezembro de 2017, 2017a.

FEPM. Qualidade Ambiental – Região Hidrográfica do Guaíba: Qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio das Antas e Rio Taquari. FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_taquari_antas/taquariantas.asp>. Último acesso em: 25 de novembro de 2017, 2017b.

FEPM. Qualidade Ambiental: Qualidade das águas da bacia hidrográfica do Rio Jacuí. FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/qualidade_jacui/jacui.asp>. Último acesso em: 15 de novembro de 2017, 2017c.

FERREIRA, A. M.; SILVA, A. M.; PURCINO, M. D.; MENEZES, P. H. B. J.; ALMEIDA FILHO, G. S.; ZANON, M. C. Mapeamento da erosão hídrica na bacia do Ribeirão do Cipó, Poços de Caldas – MG, com base na USLE e SIG. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 2. *Anais...* 2017.

FLEISCHMANN, A.; SIQUEIRA, V.; PARIS, A.; COLLISCHONN, W.; PAIVA, R.; GOSSETT, M.; PONTES, P.; CALMANT, S.; BIANCAMARIA, S.; CRÉTAUX, J. F.; TANIMOUNE, B. Coupled hydrologic and hydraulic modeling of Upper Niger River Basin. *Geophysical Research Abstracts*, v. 19, 2017.

FRIZZARIM, S. S.; SILVA, B. P. C.; SILVA, M. L. N.; BOTEGA, A. A.; BATISTA, P. V. G.; ELISEI, L. G. Fator cobertura e manejo do solo em cultivos de eucalipto e floresta nativa no município de Eldorado do Sul, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 35, Natal. *Anais...* Natal, 2015.

G1. Chuva forte no RS provoca cheias e tira famílias de casa. G1 Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/chuva-forte-no-rs-provoca-cheias-e-tira-familias-de-casa-fotos.ghtml>>. Último acesso em: 22 de novembro de 2017. Maio de 2017, 2017a.

G1. Responsável por 90% das exportações do RS, porto de Rio Grande tem risco de encalhe por falta de dragagem. G1 Rio Grande do Sul. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/responsavel-por-90-das-exportacoes-do-rs-porto-de-rio-grande-tem-risco-de-encalhe-por-falta-de-dragagem.ghtml>>. Último acesso em: 21 de janeiro de 2018. Outubro de 2017, 2017b.

GLYSSON, G. D. **Sediment-transport curves.** U. S. Geological Survey/Department of the Interior. Denver: U. S. Geological Survey, Books and Open-File Reports, 1987.

GOMES, A. P; PAIVA, E. M. C. D. Acumulação e transporte de sedimentos na microdrenagem: monitoramento e modelagem. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, p. 45-55, 2010.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**. [S.l]: American Meteorological Society, v. 11, p. 2863-2880, 1998.

GUILHON, L. G. F.; ROCHA, V. F.; MOREIRA, J. C. Comparação de métodos de previsão de vazões naturais afluentes a aproveitamentos hidroelétricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 3, p. 13-20, 2007.

- GÜNTNER, A. **Large-scale hydrological modelling in the semi-arid North-East of Brazil.** Dissertation. Institut für Geoökologie, Universität Potsdam, PIK-Report, Nr. 77, 2002.
- GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas. **J. Hydrol.**, v. 297, p. 136-161, 2004.
- GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **J. Hydrologic Eng.**, v. 4, p. 135-143, 1999.
- HARTMANN, C.; BULLA, L. A. S.; FELLINI, B. D. Uso do ADCP na avaliação do fluxo e transporte de sedimentos no baixo Rio Jacuí, Charqueadas, RS/Brasil. **Gravel**, v. 8, n. 1, p. 33-44, 2010, ISSN 1678-5975.
- HERZ, R. **Circulação das águas de superfície da Lagoa dos Patos.** Tese (Doutorado em Geociências). São Paulo/Instituto de Geociências, 1977, 234p.
- IBGE. **Geografia do Brasil: Região Sul.** Rio de Janeiro: SERGRAF; IBGE, v. 5, 1977.
- IBGE. **Cartas Temáticas.** Disponível em: <<https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/cartas-tematicas.html>>. Último acesso em: 04 de dezembro de 2017. Escala 1:250.000. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Coordenação de Cartografia de Geociências do IBGE. Projeto Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM), 2000.
- JAMES, W.; HUBER, W. C.; DICKINSON, R. E.; PITI, R. E.; JAMES, W. R. C.; ROSENER, L. A.; ALDRICH, J. A. **User's Guide to SWMM.** Ontario: CHI; Guelph, 2003.
- KJERFVE, B. Coastal Lagoons. In: KJERFVE, B (Ed.). **Coastal Lagoon Processes.** [S.l.]: Elsevier Science Publishers, 1994.
- KJERFVE, B. Comparative Oceanography of Coastal Lagoons. In: KJERFVE, B. (Ed.). **Estuarine Variability.** [S.l.]: Academic Press, 1986.
- KRYSANOV, V.; MUELLER-WOHLFEIL, D. I.; BECKER, A. Development and test of a spatially distributed hydrological/water quality model for mesoscale water-sheds. **Ecological Modelling**, v. 106, p. 261-289, 1998.
- KRYSANOV, V.; WECHSUNG, F.; ARNOLD, J.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J. **SWIM (Soil and Water Integrated Model), User Manual.** PIK Report Nr. 69, 2000, 239p.
- LACERDA, K. C.; CURBANI, F. E.; BARRETO, F. T. C.; CHACALTANA, J. T. A. Análise de sensibilidade e calibração de um modelo de transporte de sedimentos para a baía de Vitória, ES. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 2. **Anais...** 2017.
- LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- LOPES, V. A. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada de bacias e sistemas lagunares com influência do vento.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2017.

LOPES, V. A. R.; FAN, F. M.; COLLISCHONN, W.; PONTES, P. R. M.; SIQUEIRA, V. A. Aplicação preliminar do modelo MGB-IPH para a bacia hidrográfica completa da Laguna dos Patos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21. Brasília, 2015. *Anais...* Brasília: ABRH, 2015.

MAHMOOD, K. **Reservoir Sedimentation: Impact, extent and mitigation.** The George Washington University. Washington/D.C.: Word Bank Technical Paper, Nº 71, 1987.

MARCONDES, C. R. **Estudo da descarga sólida em suspensão nos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Sapucaí.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia). Universidade Federal de Itajubá, 2011, 78p.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURI, N.; FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e Mata Atlântica nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo. **Scientia Forestalis.** Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

MEDEANIC, S.; CORRÊA, I. C. S.; WESCHENFELDER, J. Polimorfos nos sedimentos de fundo da Laguna dos Patos, RS: Aplicação nas reconstruções paleoambientais. **Gravel**, Porto Alegre, n. 5, p. 89-102, 2007, ISSN 1678-5975.

MENEGAT, R. **Atlas Ambiental de Porto Alegre.** Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1999, 228p.

MERRIT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, p. 761-799, 2003.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; RUHOFF, A. L. Utilização de métodos de representação especial para cálculo do fator topográfico na Equação Universal de Perda de Solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1455-1462, 2010.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Avaliação e identificação de áreas prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade nos biomas brasileiros.** Brasília: SBF, 2002, 404p.

MINOTI, R. T. **Abordagens qualitativa e quantitativa de micro bacias hidrográficas e áreas alagáveis de um compartimento do Médio Mogi-Superior/SP.** Tese de Doutorado (em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2006.

MOLLER, O. O.; LORENZZENTTI, J. A.; STECH, J. L.; MATA, M. M. The Patos Lagoon summertime circulation and dynamics. **Continental Shelf Research**, v. 16, n. 3, p. 335-351, 1996

MORGAN, R. P. C.; QUINTON, J. N.; SMITH, R. E.; GOVERS, G.; POESEN, J. W.; AUERSWALD, K.; CHISCI, G.; TORRI, D.; STYCZEN, M. E. The European soil erosion model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 23, p. 527-544, 1998.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**. Transactions of the ASABE, v. 50, p. 885-900, 2007, ISSN 0001-2351.

MUELLER, E. N.; GÜNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. Modelling sediment export, retention and reservoir sedimentation in drylands with the WASA-SED model. **Geosciences Model Development**, v. 3, p. 275-291, 2010.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, Version 2005**. Soil and Water Research Laboratory. Temple: USDA-ARS Grassland, 2005.

OLIVEIRA, A. O. Caracterização sedimentar e aplicação do diagrama de Pejrup para interpretação da dinâmica em uma enseada estuarina na Lagoa dos Patos/Brasil. **Geographia Meridionalis**, v. 1, n. 2, p. 363-384, 2015, ISSN 2446-9165.

OLIVEIRA, H. A.; FERNANDES, E. H. L.; MÖLLER, O. O.; COLLARES, G. L. Processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 1, p. 34-45, 2015, ISSN 2318-0331.

PAIVA, R. C. D. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de caso: bacia do Rio Solimões**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2009, 168p.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina dos Textos, 2006.

PONTES, P. R.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C.; BUARQUE, D. C. Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 888-904, 2015, ISSN 2318-0331.

PRATES, A. P. L.; GONÇALVES, M. A.; ROSA, M. R. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**, v. 12. Brasília: MMA, 2012, 152p.

PROFILL. **1 Etapa do plano de bacia do Rio Caí: consolidação do conhecimento sobre recursos hídricos e enquadramento dos recursos hídricos superficiais**. Relatório Temático A.2: Diagnóstico da Disponibilidade Hídrica. Porto Alegre: Departamento de Recursos Hídricos/ SEMA, 2007.

PROSSER, I. P.; YOUNG, B.; RUSTOMJI, P.; HUGHES, A.; MORAN, C. A model of river sediment budgets as an element of river health assessment. In: **Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM'2001)**, p. 861-866, 2001.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; PORTER, J. P. RUSLE: revised universal soil loss equation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 46, n. 1, p. 30-33, 1991.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; YODER, D. C.; MCCOOL, D. K. RUSLE revisited: status, questions, answers, and the future. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 49, n. 3, p. 213-220, 1994.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. A.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). **Agricultural Handbook**, v. 703, Washington: U.S. Government Print Office, 1997.

SALINI, M. F. **A influência do fenômeno El Niño oscilação sul – ENOS (La Niña e El Niño) na ocorrência de inundações no Vale do Taquari – RS**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental). UNIVATES/Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Lajeado, 2011.

SANTOS, A. E. **Enchentes Rio Taquari – 1940 até 2011 – Régua do Porto de Estrela**. Disponível em: <<http://estrela-rs-aepan.blogspot.com.br/2011/07/enchentes-rio-taquari-1940-ate-2011.html>>. Último acesso em: 21 de dezembro de 2017. Folha de Estrela – Jornal para quem quer mais, 2011.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MADEIROS, P. H. A.; ARAÚJO NETO, J. R.; PALÁCIO, H. A. Q.; RODRIGUES, R. N. Determinação do fator de cobertura e dos coeficientes da MUSLE em microbacias do semi-árido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1157-1164, 2014.

SANTOS, J. Y. G.; SILVA, R. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, C. A. G.; CARVALHO NETO, J. G.; SILVA, A. M. Implicação das alterações no uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na bacia do Rio Tapacurá, Pernambuco. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 1. Anais... 2015.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **G020 – Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/g020-bacia-hidrografica-do-rio-dos-sinos>>. Último acesso em: 26 de novembro de 2017. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2017a.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **G010 – Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/g010-bacia-hidrografica-do-rio-gravatai>>. Último acesso em: 26 de novembro de 2017. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2017b.

SEMA; GPDEN. **Diagnóstico Preliminar**. Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2017.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation. In: MAIDMENT, D. **Handbook of hydrology**. [S.l.]: McGraw-Hill, 1993, 1424p.

SILVA, C. R.; CHAVES, H. M. L.; CAMELO, A. P. Calibração e validação da equação universal de perda de solos modificada (MUSLE) utilizando dados hidrossedimentológicos locais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1431-1439, 2011.

SILVA, T. S.; MÜLLER, J. A.; KICH, E. M.; SILVEIRA, V. M. M.; ROSSONI, R. B.; FAN, F. M.; HELFER, A. L.; ANDRADE, R. N.; BRENTANO, T. B.; WIEBBELLING, R. F.; FARINA, F. C.; ALVEZ, R. C. M.; SILVA, E. P.; MADHAVAN, R.; AYUP-ZOUAIN, R. N. Environmental risk in a changing world: advances and future perspectives on remote sensing and spatial modeling applied to coastal adaptation in Rio Grande do Sul, Southern Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM FOR GIS AND COMPUTER CARTOGRAPHY FOR COASTAL ZONES MANAGEMENT, 12., Cape Town, 2015. Anais..., 2015.

SILVEIRA, A. Ciclo hidrológico e a bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 2001, p. 35-51.

SUL21. **Sobrecarga do Rio Jacuí reacende debate sobre extração de areia no Guaíba**. Disponível em: <<https://www.sul21.com.br/jornal/sobrecarga-do-rio-jacui-reacende-debate-sobre-extracao-de-areia-no-guaiba/>>. Último acesso em: 15 de novembro de 2017. SUL21, 2013.

TOLDO, E. E.; DILLENBURG, S. R.; CORRÊA, I. C. S.; ALMEIDA, L. E. S. B.; WESCHENFELDER, J.; GRUBER, N. L. S. Sedimentação de longo e curto período na Lagoa dos Patos, Sul do Brasil. **Pesquisas em Geociências**. Porto Alegre: Instituto de Geociências, v. 33, p. 79-86, 2006.

TORRES, R. J. **Uma análise preliminar dos processos de dragagem do Porto de Rio Grande, RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Oceânica). Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS; ABRH, 1998, 669p.

VAZ, A. C.; MÖLLER, O. O.; ALMEIDA, T. L. Análise quantitativa da descarga dos rios afluentes da Lagoa dos Patos. **Atlântica**, v. 28, p. 13-23, 2006.

VENÂNCIO, S. S. **Simulação numérica aplicada ao assoreamento do reservatório Represa Velha**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo/Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2009.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Planície costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: BECKER, F.; RAMOS, R.; MOURA, L. (Org.). **Biodiversidade. Regiões da Lagoa do Casamento e dos Butiazais de Tapes, planície costeira do Rio Grande do Sul**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/SBF, 2007.

VINEY, N. R.; SIVAPALAN, M. A conceptual model of sediment transport: application to the Avon River Basin in Western Australia. **Hydrological Processes**, v. 13, p. 727-743, 1999.

WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W.; LETTENMAIER, D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. **Water Resources Research**, v. 30, n. 6, p. 1665-1679, 1994.

WILLIAMS, J. R.; BERNDT, H. D. Sediment yield computed with universal equation. **Journal Hydrology Div. ASCE**, v. 98, p. 2987-2999, 1972.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: U.S. Department of Agriculture. **Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources**. Washington: Publication ARS-S-40, p. 244-252, 1975.

WILLIAMS, J. R. Chapter 25. The EPIC Model. In: SINGH, V. P. **Computers Models of Watershed Hydrology**. Highlands Ranch: Water Resources Publications, p. 909-1000, 1995.

WINCK, N. B.; CARDOSO, N. C.; CARVALHO, C. T.; RODRIGUES, M. L. K. Avaliação dos sedimentos potencialmente tóxicos nos sedimentos do Rio Gravataí (RS) nos anos de 2000 e 2013. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, n. 12, p. 27-37, 2014.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall losses: A guide to conservation planning.** USDA Agricultural Handbook N° 537. Washington: U.S. Gov. Print. Office, 1978.

WU, W. **Computational River dynamics.** London: Taylor & Francis Group, 2008, 494p.

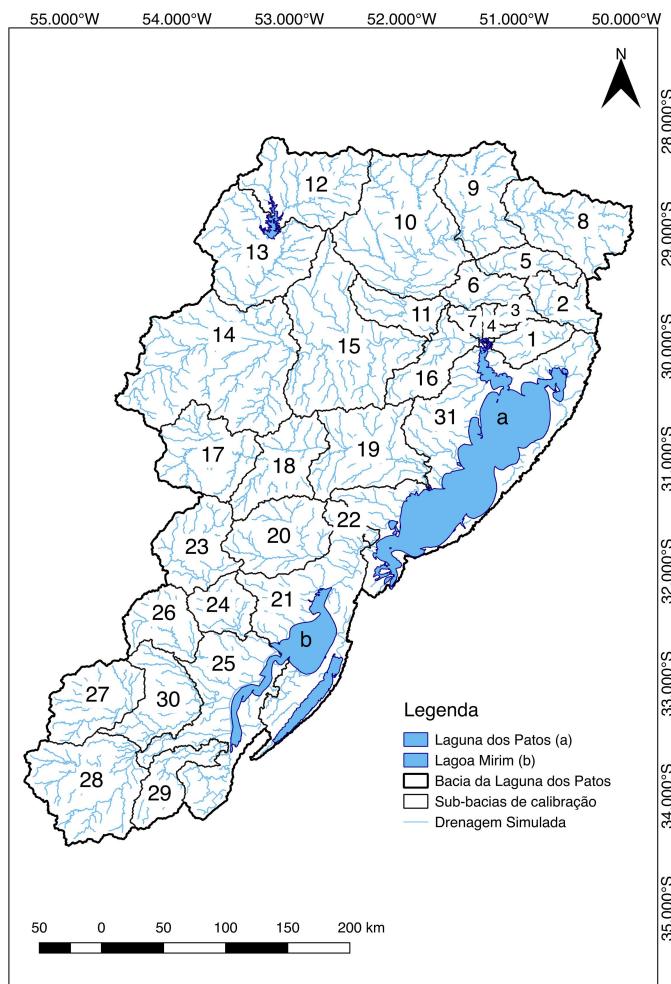
YOUNG, R. A.; ONSTAD, C. A.; BOSCH, D. D.; ANDERSON, W. P. AGNPS: a nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. **Journal of Soil and Water Conservation**, p. 168-173, 1989.

ZANIN, P. R.; BONUMÁ, N. B. Uso do modelo SWAT para avaliação de alterações fluviais causadas por barragens em bacias embutidas. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 1. **Anais...** 2015.

ANEXOS

Anexo I. Mapa das sub-bacias e respectivos parâmetros de calibração.

Mapa das sub-bacias de calibração do modelo:



Sub-bacia 1:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	12,00	29,50	58,50	1,20	0,17000
Floresta solo profundo	8,70	28,60	62,70	2,00	0,22000
Agricultura solo raso	18,00	27,00	55,00	1,80	0,34000
Agricultura solo profundo	14,00	28,50	57,50	2,00	0,38000
Campo solo raso	21,50	25,00	53,50	1,00	0,27000
Campo solo profundo	15,80	28,40	55,80	0,80	0,45000
Várzea	16,30	29,00	54,70	2,00	0,25000
Área semi-impermeável	22,00	25,00	53,00	1,80	0,17000

Anexo I. Mapa das sub-bacias e respectivos parâmetros de calibração.

Sub-bacia 2:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	40,50	14,50	45,00	2,50	0,01600
Floresta solo profundo	42,40	12,60	45,00	2,50	0,01400
Agricultura solo raso	48,00	12,00	40,00	1,40	0,04600
Agricultura solo profundo	50,90	10,50	38,60	1,00	0,04400
Campo solo raso	41,00	14,00	45,00	0,80	0,05500
Campo solo profundo	51,90	11,60	36,50	0,70	0,13600
Várzea	44,00	18,00	38,00	3,00	0,00140
Área semi-impermeável	48,00	22,00	30,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 3:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	60,00	5,00	35,00	3,00	0,00003
Floresta solo profundo	55,50	9,50	35,00	3,50	0,00004
Agricultura solo raso	57,50	5,00	37,50	2,00	0,00008
Agricultura solo profundo	60,00	9,00	31,00	2,00	0,00012
Campo solo raso	59,00	5,00	36,00	0,80	0,00034
Campo solo profundo	60,50	9,50	30,00	0,90	0,00090
Várzea	60,00	14,50	25,50	3,20	0,00007
Área semi-impermeável	48,00	22,00	30,00	0,80	0,00090

Sub-bacia 4:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	12,00	29,50	58,50	1,20	0,17000
Floresta solo profundo	8,70	28,60	62,70	2,00	0,22000
Agricultura solo raso	18,00	27,00	55,00	1,80	0,34000
Agricultura solo profundo	14,00	28,50	57,50	2,00	0,38000
Campo solo raso	21,50	25,00	53,50	1,00	0,27000
Campo solo profundo	15,80	28,40	55,80	0,80	0,45000
Várzea	16,30	29,00	54,70	2,00	0,25000
Área semi-impermeável	22,00	25,00	53,00	1,80	0,17000

Sub-bacia 5:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	48,00	12,00	40,00	3,00	0,00230
Floresta solo profundo	45,00	13,00	42,00	3,50	0,00077
Agricultura solo raso	53,00	12,00	35,00	1,50	0,00900
Agricultura solo profundo	49,00	13,00	38,00	1,50	0,00700
Campo solo raso	52,00	12,00	36,00	1,00	0,00560
Campo solo profundo	49,50	12,00	38,50	1,00	0,00140
Várzea	73,50	10,00	16,50	3,00	0,00360
Área semi-impermeável	77,50	10,00	12,50	1,00	0,01000

Sub-bacia 6:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	69,00	10,00	21,00	2,00	0,00100
Floresta solo profundo	63,80	10,70	25,50	1,50	0,00240
Agricultura solo raso	69,00	7,00	24,00	0,80	0,00560
Agricultura solo profundo	62,00	10,00	28,00	0,80	0,00680
Campo solo raso	67,00	8,00	25,00	0,80	0,00800
Campo solo profundo	62,50	10,50	27,00	0,80	0,01500
Várzea	61,00	13,00	26,00	1,50	0,00750
Área semi-impermeável	75,00	7,00	18,00	1,00	0,00600

Sub-bacia 7:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	8,00	29,50	62,50	1,00	0,75740
Floresta solo profundo	8,70	20,60	70,70	1,00	0,74550
Agricultura solo raso	8,00	27,00	65,00	1,20	0,93790
Agricultura solo profundo	8,00	28,50	63,50	0,80	0,95940
Campo solo raso	11,50	25,00	63,50	1,00	0,92860
Campo solo profundo	10,80	28,40	60,80	0,80	0,85370
Várzea	10,30	29,00	60,70	1,20	0,87930
Área semi-impermeável	12,00	25,00	63,00	1,10	0,76920

Sub-bacia 8:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	25,00	10,00	65,00	3,00	0,00070
Floresta solo profundo	27,00	17,00	56,00	3,00	0,00070
Agricultura solo raso	25,00	10,00	65,00	2,00	0,00400
Agricultura solo profundo	23,00	14,00	63,00	2,00	0,00100
Campo solo raso	25,00	10,00	65,00	1,20	0,00150
Campo solo profundo	38,00	12,00	50,00	1,80	0,02500
Várzea	25,00	10,00	65,00	3,50	0,00090
Área semi-impermeável	25,00	10,00	65,00	1,00	0,00090

Sub-bacia 9:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	32,00	15,00	53,00	3,00	0,00800
Floresta solo profundo	31,50	16,00	52,50	3,50	0,00400
Agricultura solo raso	34,00	14,00	52,00	1,50	0,03500
Agricultura solo profundo	31,50	15,00	53,50	1,50	0,01000
Campo solo raso	35,40	14,60	50,00	1,00	0,01000
Campo solo profundo	30,50	16,00	53,50	1,00	0,00700
Várzea	33,50	20,00	46,50	3,00	0,00700
Área semi-impermeável	33,50	20,00	46,50	1,00	0,01000

Sub-bacia 10:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	55,00	9,00	36,00	2,60	0,00015
Floresta solo profundo	39,00	12,50	48,50	3,00	0,00250
Agricultura solo raso	53,00	8,00	39,00	1,80	0,00300
Agricultura solo profundo	40,00	13,00	47,00	2,20	0,00600
Campo solo raso	61,00	8,00	31,00	1,20	0,00400
Campo solo profundo	55,50	8,50	36,00	1,20	0,03500
Várzea	49,00	15,00	36,00	3,00	0,00300
Área semi-impermeável	49,00	15,00	36,00	0,80	0,00100

Sub-bacia 11:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	48,50	12,00	39,50	3,00	0,00050
Floresta solo profundo	24,00	19,50	56,50	3,00	0,00080
Agricultura solo raso	51,00	12,00	37,00	0,80	0,00600
Agricultura solo profundo	28,00	20,00	52,00	0,80	0,00700
Campo solo raso	51,00	12,00	37,00	1,50	0,00600
Campo solo profundo	38,00	20,00	42,00	1,50	0,01000
Várzea	50,50	12,00	37,50	2,50	0,00900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,00	0,00370

Sub-bacia 12:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	56,00	12,00	32,00	2,00	0,00100
Floresta solo profundo	49,00	11,50	39,50	3,50	0,00150
Agricultura solo raso	54,00	11,00	35,00	1,00	0,00400
Agricultura solo profundo	54,00	8,00	38,00	1,20	0,00350
Campo solo raso	60,00	12,00	28,00	1,50	0,00500
Campo solo profundo	61,50	11,50	27,00	0,80	0,00600
Várzea	50,00	12,00	38,00	1,00	0,00600
Área semi-impermeável	48,00	14,00	38,00	1,00	0,01000

Sub-bacia 13:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	56,00	12,00	32,00	2,00	0,00100
Floresta solo profundo	49,00	11,50	39,50	3,50	0,00150
Agricultura solo raso	54,00	11,00	35,00	1,00	0,00400
Agricultura solo profundo	54,00	8,00	38,00	1,20	0,00350
Campo solo raso	60,00	12,00	28,00	1,50	0,00500
Campo solo profundo	61,50	11,50	27,00	0,80	0,00600
Várzea	50,00	12,00	38,00	1,00	0,00600
Área semi-impermeável	48,00	14,00	38,00	1,00	0,01000

Sub-bacia 14:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	52,80	22,20	25,00	1,32	0,02000
Floresta solo profundo	26,30	23,70	50,00	2,02	0,02000
Agricultura solo raso	50,80	17,20	32,00	1,74	0,02000
Agricultura solo profundo	33,20	16,30	50,50	1,93	0,02500
Campo solo raso	57,00	17,00	26,00	1,17	0,02500
Campo solo profundo	58,95	15,55	25,50	0,87	0,22000
Várzea	32,20	16,30	51,50	1,93	0,05000
Área semi-impermeável	53,30	17,20	30,50	1,74	0,05000

Sub-bacia 15:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	48,50	12,00	39,50	3,00	0,00050
Floresta solo profundo	24,00	19,50	56,50	3,00	0,00080
Agricultura solo raso	51,00	12,00	37,00	0,80	0,00600
Agricultura solo profundo	28,00	20,00	52,00	0,80	0,00700
Campo solo raso	51,00	12,00	37,00	1,50	0,00600
Campo solo profundo	38,00	20,00	42,00	1,50	0,01000
Várzea	50,50	12,00	37,50	2,50	0,00900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,00	0,00370

Sub-bacia 16:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	48,50	12,00	39,50	3,00	0,00050
Floresta solo profundo	24,00	19,50	56,50	3,00	0,00080
Agricultura solo raso	51,00	12,00	37,00	0,80	0,00600
Agricultura solo profundo	28,00	20,00	52,00	0,80	0,00700
Campo solo raso	51,00	12,00	37,00	1,50	0,00600
Campo solo profundo	38,00	20,00	42,00	1,50	0,01000
Várzea	50,50	12,00	37,50	2,50	0,00900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,00	0,00370

Sub-bacia 17:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	55,80	22,20	22,00	1,32	0,02005
Floresta solo profundo	32,90	23,70	43,40	2,02	0,02005
Agricultura solo raso	53,30	17,20	29,50	1,74	0,02005
Agricultura solo profundo	35,70	16,30	48,00	1,93	0,02005
Campo solo raso	60,50	17,00	22,50	1,17	0,02005
Campo solo profundo	65,50	15,55	18,95	0,87	0,20005
Várzea	35,70	16,30	48,00	1,93	0,05005
Área semi-impermeável	53,30	17,20	29,50	1,74	0,05005

Sub-bacia 18:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,00950
Floresta solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,20	0,00950
Agricultura solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,03500
Agricultura solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,10	0,03500
Campo solo raso	60,00	20,00	20,00	0,90	0,08000
Campo solo profundo	45,00	22,00	33,00	0,90	0,08000
Várzea	46,00	21,50	32,50	2,80	0,01900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,80	0,03000

Sub-bacia 19:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,00950
Floresta solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,20	0,00950
Agricultura solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,03500
Agricultura solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,10	0,03500
Campo solo raso	60,00	20,00	20,00	0,90	0,08000
Campo solo profundo	45,00	22,00	33,00	0,90	0,08000
Várzea	46,00	21,50	32,50	2,80	0,01900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,80	0,03000

Sub-bacia 20:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,00950
Floresta solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,20	0,00950
Agricultura solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,03500
Agricultura solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,10	0,03500
Campo solo raso	60,00	20,00	20,00	0,90	0,08000
Campo solo profundo	45,00	22,00	33,00	0,90	0,08000
Várzea	46,00	21,50	32,50	2,80	0,01900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,80	0,03000

Sub-bacia 21:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 22:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,00950
Floresta solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,20	0,00950
Agricultura solo raso	60,00	20,00	20,00	1,80	0,03500
Agricultura solo profundo	45,00	22,00	33,00	2,10	0,03500
Campo solo raso	60,00	20,00	20,00	0,90	0,08000
Campo solo profundo	45,00	22,00	33,00	0,90	0,08000
Várzea	46,00	21,50	32,50	2,80	0,01900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,80	0,03000

Sub-bacia 23:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 24:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 25:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 26:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 27:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 28:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 29:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 30:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	46,75	18,25	35,00	2,80	0,00650
Floresta solo profundo	25,50	19,50	55,00	3,40	0,00750
Agricultura solo raso	50,50	17,50	32,00	1,70	0,05000
Agricultura solo profundo	28,00	18,50	53,50	2,40	0,04000
Campo solo raso	49,00	16,50	34,50	1,25	0,07500
Campo solo profundo	30,75	18,75	50,50	1,80	0,08000
Várzea	49,00	15,50	35,50	2,00	0,04000
Área semi-impermeável	70,00	10,00	20,00	0,80	0,01000

Sub-bacia 31:

URH	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Corg (%)	C
Floresta solo raso	48,50	12,00	39,50	3,00	0,00050
Floresta solo profundo	24,00	19,50	56,50	3,00	0,00080
Agricultura solo raso	51,00	12,00	37,00	0,80	0,00600
Agricultura solo profundo	28,00	20,00	52,00	0,80	0,00700
Campo solo raso	51,00	12,00	37,00	1,50	0,00600
Campo solo profundo	38,00	20,00	42,00	1,50	0,01000
Várzea	50,50	12,00	37,50	2,50	0,00900
Área semi-impermeável	45,00	25,00	30,00	1,00	0,00370

Anexo II. Tabela de identificação da estimativa das texturas de solo para cada sub-bacia.

Sub-bacia MGB	Solo FAO	Solo EMBRAPA	% Solo	Textura LEPSCH
1	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	83,29	Média
	Orthic Acrisols	Argissolos	16,71	Argilosa
2	Humic Ferralsols	Latossolo	7,68	Argilosa
	Luvic Phaeozems	Chernossolo	1,37	Muito argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolo	87,92	Argilosa
	Eutric Regosols	Neossolo Regolítico	0,57	Média
3	Mollic Solonetz	Planossolo Nátrico	2,46	Média
	Orthic Acrisols	Argissolos	64,70	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	35,30	Média
4	Orthic Acrisols	Argissolos	17,20	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	82,80	Média
	Humic Ferralsols	Latossolo	52,93	Muito argilosa
5	Luvic Phaeozems	Chernossolos	21,32	Muito argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolos	25,75	Argilosa
	Luvic Phaeozems	Chernossolos	52,60	Muito argilosa
6	Orthic Acrisols	Argissolos	47,39	Argilosa
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	32,56	Média
7	Orthic Acrisols	Argissolos	67,44	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	2,61	Argilosa
8	Humic Ferralsols	Latossolo	97,39	Muito argilosa
	Humic Ferralsols	Latossolos	58,46	Muito argilosa
9	Luvic Phaeozems	Chernossolos	10,99	Muito argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolos	30,55	Argilosa
	Dystric Nitosols	Nitossolos	4,63	Argilosa
10	Luvic Phaeozems	Chernossolos	11,38	Argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolos	27,26	Muito argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolos	56,72	Argilosa
	Humic Ferralsols	Latossolos	8,40	Muito argilosa
11	Orthic Acrisols	Argissolos	69,70	Argilosa
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	21,91	Média
	Dystric Nitosols	Nitossolos	1,14	Muito argilosa
12	Humic Ferralsols	Latossolos	82,31	Muito argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolos	16,55	Argilosa
	Humic Ferralsols	Latossolos	38,14	Muito argilosa
13	Orthic Acrisols	Argissolos	61,68	Argilosa

Sub-bacia MGB	Solo FAO	Solo EMBRAPA	% Solo	Textura LEPSCH
14	Orthic Acrisols	Argissolos	39,30	Média
	Humic Ferralsols	Latossolos	6,06	Média
	Luvic Phaeozems	Chernossolos	4,13	Muito argilosa
	Mollic Planosols	Planossolos Háplicos	19,62	Média
	Eutric Planosols			
15	Dystric Nitosols	Nitossolos	30,90	Argilosa
	Luvic Phaeozems	Chernossolos	9,86	Muito argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolos	25,31	Argilosa
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	32,88	Média
16	Dystric Nitosols	Nitossolos	31,95	Argilosa
	Orthic Acrisols	Argissolos	2,66	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	37,59	Média
	Dystric Nitosols	Nitossolos	59,76	Argilosa
17	Luvic Phaeozems	Chernossolos	5,89	Muito argilosa
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	9,39	Média
	Dystric Nitosols	Nitossolos	68,63	Argilosa
	Orthic Luvisols	Luvissolos	16,09	Média
18	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	19,31	Média
	Dystric Nitsols	Nitossolos	34,93	Argilosa
	Orthic Luvisols	Luvissolos	45,76	Média
19	Orthic Acrisols	Argissolos	4,71	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	30,28	Média
	Dystric Nitosols	Nitossolos	40,16	Argilosa
	Mollic Solonetz	Planossolos Nátricos	0,68	Média
	Orthic Luvisols	Luvissolos	24,17	Média
20	Luvic Phaeozems	Chernossolos	14,80	Muito argilosa
	Orthic Luvisols	Luvissolos	78,07	Média
	Orthic Acrisols	Argissolos	7,12	Média
21	Orthic Acrisols	Argissolos	3,85	Argilosa
	Mollic Gleysols	Gleissolos	28,61	Média
	Luvic Phaeozems	Chernossolos	15,03	Muito argilosa
	Orthic Luvisols	Luvissolos	5,52	Média
	Eutric Regosols	Neossolos Regolíticos	4,41	Média
21	Mollic Solonetz	Planossolos Nátricos	0,30	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	42,29	Média
22	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	12,83	Média
	Mollic Solonetz	Planossolos Nátricos	8,93	Média

Sub-bacia MGB	Solo FAO	Solo EMBRAPA	% Solo	Textura LEPSCH
	Orthic Luvisols	Luvissolos	29,33	Média
	Orthic Acrisols	Argissolos	48,91	Média
23	Luvic Phaeozems	Chernossolos	77,98	Muito argilosa
	Orthic Luvisols	Luvissolos	18,59	Média
	Dystric Nitosols	Nitossolos	0,81	Argilosa
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	2,58	Média
24	Luvic Phaeozems	Chernossolos	42,25	Muito argilosa
	Orthic Luvisols	Luvissolos	52,03	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	2,72	Média
25	Mollic Gleysols	Gleissolos	33,83	Média
	Luvic Phaeozems	Chernossolos	20,97	Muito argilosa
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	45,21	Média
26	Luvic Phaeozems	Chernossolos	66,55	Muito argilosa
	Lithosols	Neossolos Litólicos	20,26	Média
	Orthic Luvisols	Luvissolos	13,06	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	0,12	Média
27	Luvic Phaeozems	Chernossolos	32,51	Muito argilosa
	Lithosols	Neossolos Litólicos	67,49	Média
28	Mollic Gleysols	Gleissolos	0,02	Média
	Luvic Phaeozems	Chernossolos	42,26	Muito argilosa
	Lithosols	Neossolos Litólicos	57,73	Média
29	Mollic Gleysols	Gleissolos	38,68	Média
	Luvic Phaeozems	Chernossolos	41,86	Muito argilosa
	Lithosols	Neossolos Litólicos	18,00	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	1,45	Média
30	Luvic Phaeozems	Chernossolos	39,72	Muito argilosa
	Lithosols	Neossolos Litólicos	16,62	Média
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	43,65	Média
31	Orthic Acrisols	Argissolos	16,90	Média
	Mollic Gleysols	Gleissolos	1,68	Média
	Orthic Luvisols	Luvissolos	2,31	Média
31	Dystric Nitosols	Nitossolos	7,69	Média
	Eutric Regosols	Neossolos Regolíticos	27,11	Média
	Mollic Solonetz	Planossolos Nátricos	20,15	Argilosa
	Eutric Planosols	Planossolos Háplicos	24,17	Média