



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO TECNOLÓGICA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA

**ESTUDOS HIDRO-CLIMATOLÓGICOS DA BACIA DO RIO
CURUÁ-UNA: APLICAÇÃO DO MODELO DE GRANDES
BACIAS (MGB-IPH)**

DANIEL ALVES JATI

Santarém, Pará
Janeiro, 2017

DANIEL ALVES JATI

ESTUDOS HIDRO-CLIMATOLÓGICOS DA BACIA DO RIO
CURUÁ-UNA: APLICAÇÃO DO MODELO DE GRANDES
BACIAS (MGB-IPH)

Orientador: Prof. Dr. Júlio Tota da Silva

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, junto ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia. Área de concentração: Interação Biosfera Atmosfera

Santarém, Pará
Janeiro, 2017

ESTUDOS HIDRO-CLIMATOLÓGICOS DA BACIA DO RIO CURUÁ-UNA: APLICAÇÃO DO MODELO DE GRANDES BACIAS (MGB-IPH)

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais, Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera. Aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais da Amazônia, nível de mestrado, da Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, em **10 de Janeiro de 2017**.

Prof. Dr. Troy Patrick Beldini - UFOPA
Coordenador do PPGRNA

Apresentada à Comissão Examinadora, integrada pelos Professores:

Prof. Dr. José Mauro Sousa de Moura
(UFOPA)
Examinador 01

Prof. Dr. Troy Patrick Beldini
(UFOPA)
Examinador 02

Prof. Dr. Paulo Afonso Fischer Kuhn
(UFPA)
Examinador 03

Prof. Dr. Júlio Tota da Silva
(UFOPA)
Orientador

Santarém, **Janeiro, 2017**.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

J39e Jati, Daniel Alves

Estudos hidro-climatológicos da bacia do Rio Curuá–Una: aplicação do modelo de grandes bacias (MGB–IPH). / Daniel Alves Jati. – Santarém, 2017.

88 fls.: il.

Inclui bibliografias.

Orientador Júlio Tota da Silva

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais.

1. Uso e ocupação do solo. 2. Regime de vazão. 3. Modelagem hidrológica.
4. MGB-IPH. I. Silva, Júlio Tota da, *orient.* II. Título.

CDD: 23 ed. 551.48098115

Bibliotecário - Documentalista: Eliete Sousa – CRB/2 1101

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a comunidade acadêmica e aos que tem sede de conhecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Lucilene Paz Alves e José Antônio de Oliveira Jati por sempre me incentivarem. Meus irmãos, Carolina Alves Jati e David de Jesus Alves do Amaral Jati, pela motivação. A minha amada, Jéssica Paloma, por todos nossos momentos juntos, tais momentos me dão força para continuar caminhando rumo ao próximo passo.

A todos os companheiros de caminhada acadêmica, amigos e professores pelo aprendizado de cada dia. Em especial, a Antônio Gonçalves Junior e ao Professor Edson Akira Asano, pelo exemplo de simplicidade e educação. Do mesmo modo, agradeço a meu mentor espiritual Elton, por me proporcionar uma experiência única de regressão ao estado de natureza plena através da união de vegetais de poder, e também a meus amigos de candomblé, por me mostrarem que vale a pena continuar buscando a diversidade, pluralidade, realidades distintas, já que este é o verdadeiro e perceptível estado natural das coisas, só não enxerga aqueles que tem medo de quebrar correntes culturais fortemente emaranhadas em nosso sangue. Doi, doi demais um choque de realidade, quando nos deparamos com perspectivas diferentes de tudo que aprendemos e acreditamos, ou melhor dizendo, tudo que nos foi imposto obrigatoriamente desde crianças. Mas pior do que isso é o choque de desrealidade, ou seja, quando toda realidade verdadeira que nos foi imposta desmorona como castelo de areia em frente a observação da natureza. É simples, verdadeiramente simples, basta observar, e ver que as realidades existem e deixam de existir em meio a pluralidade de acontecimentos no multiverso. Então fica um grande abraço a todos os daimes, umbandistas, candomblecistas, taoistas, induistas, xamanistas etc, a todos que buscam a dor, a desrealidade para se encontrar e construir o próximo segundo em meio a um oceano de probabilidades.

Um efusivo agradecimento a Arlan Giorgi, prof. Roseilson do Vale, prof. Raoni, prof. José Mauro, prof. Rodrigo da Silva e prof. Julio Tota pela experiência compartilhada durante meus passos em direção a pesquisa e vida acadêmica.

Agradeço ao apoio financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Aos moderadores do fórum on-line do MGB-IPH por responderem prontamente as minhas dúvidas durante a geração dos resultados. Agradeço finalmente ao programa PGRNA e a UFOPA pela oportunidade concedida.

“O tempo, o tempo, o tempo e suas águas inflamáveis, esse rio largo que não cansa de correr, lento e sinuoso, ele próprio conhecendo seus caminhos, recolhendo e filtrando de várias direções o caldo turvo dos afluentes e o sangue ruivo de outros canais para com eles construir a razão mística da história...”

Lavoura Arcaica - Raduan Nassar

JATI, Daniel Alves. **Estudos Hidroclimatológicos da Bacia do Rio Curuá-Una: Aplicação do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias - MGB-IPH**. 2017. 200 páginas. Dissertação de Mestrado em Ciências Ambientais. Área de concentração: Interação Biosfera-Atmosfera - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia. Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, Santarém, 2017.

RESUMO

O Modelo Hidrológico Conceitual Distribuído de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH) é um modelo do tipo chuva-vazão validado em diversas bacias da América do Sul, inclusive, em rios da bacia amazônica. As entradas do modelo são dados climatológicos, pluviométricos, relevo e cobertura do solo. Pretende-se neste estudo testar a sensibilidade do modelo em cenários extremos de uso e ocupação do solo, alterações na precipitação e temperatura média do ar; caracterizar aspectos relacionados a geo-hidrologia, morfologia e morfometria da bacia hidrográfica do rio Curuá-Una, localizado a sudeste de Santarém-Pará, concomitantemente, avaliar a influência das modificações de uso e ocupação do solo, ocorridas na bacia entre 1985 e 2015, no regime hídrico. No pré-processamento utilizou-se o *software* MapWindow-GIS e o *plugin* IPH-Hydro Tools, e no processamento o *plugin* MGB-IPH. No teste de sensibilidade de uso e ocupação do solo os resultados mostraram que vegetação baixa e antropização aumentam os picos máximos de vazão; em períodos de cheia amazônica com ocorrência de baixa precipitação, o cenário vegetação baixa possui maior vazão e o cenário vegetação média e alta evita cheias intensas. Nos testes de mudanças no regime de precipitação a diminuição de 50% de chuvas reduziu a vazão em 32%, e o aumento de 50% de chuvas aumentou a vazão em 218,6%. Já nos testes de aumento da temperatura média do ar os resultados não mostraram respostas significativas no regime de vazão, porém este cenário, somado com o aumento e/ou diminuição do regime de precipitação, se apresentou como atenuador tanto para as cheias quanto para as secas. A caracterização da bacia do Curuá-Una possibilitou geração de base de dados capazes de descrever o comportamento hidrológico da região e dados métricos importantes para demarcação de espaços em tomadas de decisões, sendo que o delineamento da área de drenagem estimado possui valor de 17.351,34 km² e largura máxima = 125,78 km; as classificações de uso e ocupação do solo apresentaram que a classe vegetação média e alta sofreu redução de 10,76%, e a classe antropização e solo exposto aumento de 8,52% entre 1985 e 2015; o tipo de solo latossolo amarelo abrange uma área de 833,64 km². Os resultados para a avaliação da influência das mudanças do uso e ocupação do solo, ocorridas entre 1985 e 2015, no regime hídrico mostraram que a influência não é significativa na escala da bacia.

Palavras-chaves: Uso e Ocupação do Solo, Regime de Vazão, Modelagem Hidrológica, MGB-IPH.

JATI, Daniel Alves. **Hydroclimatological Studies of the Curuá-Una River Basin: Application of the Hydrological Model of Large Basins - MGB-IPH**. 2017. 200 pages. Master's Dissertation in Environmental Sciences. Area of concentration: Biosphere-Atmosphere Interaction - Postgraduate Program in Natural Resources of the Amazon. Federal University of Western Pará - UFOPA, Santarém, 2017.

ABSTRACT

The Hydraulic Concepts Model Distributed from Large Basins of the Hydraulic Research Institute (MGB-IPH) is a rainfall-type model validated in several basins in South America, including several rivers in the Amazon Basin. The inputs of the model are climatological, pluviometric, relief and soil cover data. This study intends to test the sensitivity of the model in extreme scenarios of soil use and occupation, changes in precipitation and mean air temperature; Characterize aspects related to geohydrology, morphology and morphometry of the Curuá-Una river basin, located to the southeast of Santarém-Pará, concomitantly, to evaluate the influence of changes in land use and occupation occurring in the basin between 1985 and 2015 in the regime Water. In preprocessing the software was used MapWindow-GIS and plug-in IPH-Hydro Tools, and in the MGB-IPH plugin processing. In the sensitivity test of soil use and occupation the results showed that low vegetation and anthropization increase the maximum peaks of flow; In periods of low Amazon rainfall, the low vegetation scenario has a higher flow rate and the medium and high vegetation scenario prevents intense flooding. In the tests of changes in the precipitation regime, a reduction of 50% of rainfall reduced the flow by 32%, and the increase of 50% of rainfall increased the flow by 218.6%. However, in the tests of increase of the mean air temperature the results did not show significant responses in the flow regime, however, this scenario, added with the increase and/or decrease of the precipitation regime, was presented as attenuator for both floods and droughts. The characterization of the Curuá-Una basin allowed the generation of base data capable of describing the hydrological behavior of the region and important metric data for space demarcation in decision-making, and the estimated drainage area design had a value of 17, 351.34 Km² and maximum width = 125.78 km; The classifications of land use and occupation showed that the middle and high vegetation class suffered a reduction of 10.76%, and the anthropogenic and soil class increased by 8.52% between 1985 and 2015; The type of yellow latosol soil covers an area of 833.64 km². The results for the evaluation of the influence of changes in land use and occupation between 1985 and 2015 in the water regime showed that the influence is not significant in the basin scale.

Key-words: Soil Use and Occupancy, Flow Regime, Hydrological Modeling, MGB-IPH.

SUMÁRIO

	RESUMO	vi
	ABSTRACT	vii
	LISTA DE TABELAS	ix
	LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
	LISTA DE ABREVIATURAS	xii
	LISTA DE SÍMBOLOS	xiii
1	INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
1.1.1	O uso do solo em bacias hidrográficas	4
1.1.2	Sistema de Informações Geográficas - SIG	5
1.1.2.1	Unidades de Respostas Hidrológicas - URH	6
1.1.2.2	Informações de topografia	7
1.1.3	Modelagem Hidrológica	8
1.1.3.1	Modelos Hidrológicos	8
1.1.3.2	Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH)	9
1.2	OBJETIVOS	12
1.2.1	Geral	12
1.2.2	Específicos	12
2	CAPÍTULO I	13
2	CAPÍTULO II	38
3	SÍNTESE INTEGRADORA	59
	REFERÊNCIAS	61
	ANEXO A - Normas de submissão da Revista Brasileira de Geografia	
	Física	67
	ANEXO B - Normas de submissão da Revista Acta Amazônica	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Cenários trabalhados nos testes de sensibilidade do MGB-IPH organizados em dois grupos de simulações.	19
Tabela 2	– Resultados das funções objetivo dos cenários simulados em relação ao cenário controle. . .	23
Tabela 3	– Teste <i>t</i> para análises de diferenças significativas.	24
Tabela 4	– Correlações calculadas para avaliação das simulações.	25
Tabela 5	– Comparação dos acréscimos e decréscimos percentuais de vazão máxima e mínima com relação ao cenário controle nos anos em que as cheias e vazantes foram intensas.	27
Tabela 6	– Resultados das funções objetivo das simulações em relação ao cenário controle.	29
Tabela 7	– Resultados dos cálculos dos valores médios em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% dos cenários trabalhados e cenário controle.	29
Tabela 8	– Teste <i>t</i> para análises de diferenças significativas.	29
Tabela 9	– Correlações calculadas para avaliação das simulações.	30
Tabela 10	– Resultados métricos para o polígono da bacia do rio Curuá-Una.	44
Tabela 11	– Áreas individuais de cada mini bacia.	46
Tabela 12	– Áreas das classes de uso e ocupação de solo em 1985 e em 2015.	49
Tabela 13	– Áreas das classes de unidades de resposta hidrológicas para verificação das modificações das paisagens em cada tipo de solo entre 1985 e 2015.	51

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Comparação de imagens RGB falsa cor entre 1984 (sensor TM) e 2015 (sensor OLI) da região do Curuá-Una. Fonte: acervo do autor.	3
Figura 2	– Algoritmo de processos SIG necessários para execução do MGB-IPH. Fonte: modificado Fan <i>et al.</i> (2010b).	6
Figura 3	– Esquema de funcionamento de um modelo conceitual.	10
Figura 4	– Fluxograma das etapas de pré processamento e processamento do MGB-IPH. Fonte: modificado Fan <i>et al.</i> (2010b).	12
Figura 5	– Mapa de localização da bacia do rio Curuá-Una. Fonte: Acervo do autor.	17
Figura 6	– Mapa de localização do posto de medição de vazão da ANA e dos postos espacializados de estimativas de chuva e clima do SWAT.	18
Figura 7	– (a) Hidrogramas de validação do modelo através da semelhança fenomenológica dos dados calculados com os dados observados no posto fluviométrico a jusante da barragem da U. H. do Curuá-Una; (b) Gráfico de tendência entre os dados calculados e os observados; (c) Boxplot de validação, usado para calcular as médias em 0%, 25%, média, 75% e 100%.	21
Figura 8	– (a) Hidrogramas de comparação da fenomenologia do regime de vazão dos cenários propostos com relação ao cenário 00; (b) Boxplot para avaliação de diferenças significativas dos valores mínimo, médios e máximos entre os cenários e o cenário controle.	23
Figura 9	– Gráficos de dispersão e linha de tendência linear dos cenário 01, 02 e 03 com relação ao cenário 00.	24
Figura 10	– Gráfico em barras da distribuição das vazões máximas para os cenários estudados entre 1979-1985.	25
Figura 11	– Gráfico em barras da distribuição das vazões mínimas para os cenários estudados entre 1979-1985.	26
Figura 12	– (a) Hidrogramas de comparação da fenomenologia do regime de vazão dos cenários propostos com relação ao cenário controle; (b) Boxplot para avaliação de diferenças significativas dos valores mínimo, médios e máximos entre os cenários e o cenário controle.	28
Figura 13	– Gráficos de dispersão e linha de tendência dos cenários com relação ao cenário 00.	30
Figura 14	– (a) Distribuição das vazões máximas representando os períodos de cheia amazônica; (b) Distribuição das vazões mínimas Gráfico em barras da distribuição das vazões máximas para os cenários 04, 05, 06, 07 e 08 entre 1979-1985.	31
Figura 15	– Mapa de localização do rio Curuá-Una. Fonte: Acervo do autor.	42
Figura 16	– Polígono da bacia do rio Curuá-Una gerado através de algoritmo <i>ArcHydro</i>	44

Figura 17 – Produto da combinação da camada do modelo digital de elevação (SRTM) com a camada de mini bacias que drenam segmentos de escoamento por toda a bacia principal. A legenda indica que quanto mais para o verde maior é a altitude e quanto mais para o vermelho mais baixo é a altitude.	45
Figura 18 – Produto da superposição entre as camadas de direção de fluxo e acúmulo de fluxo.	47
Figura 19 – Máscara de tipos de solo com base em levantamento pedológico disponibilizado pelo IBGE.	48
Figura 20 – Gráfico de setores dos percentuais das áreas das classes de tipos de solo.	48
Figura 21 – Comparação da cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Curuá-Una entre 1985 e 2015.	49
Figura 22 – Da esquerda para a direita: Gráfico de setores dos percentuais das áreas das classes de cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Curuá-Una em 1985 e Gráfico de setores dos percentuais das áreas das classes de cobertura do solo em 2015.	50
Figura 23 – Mapas de Unidades de Respostas Hidrológicas para comparação da cobertura do solo em cada tipo de solo entre os anos de 1985 (esquerda) e 2015 (direita).	51
Figura 24 – Comparação entre os hidrogramas simulados com relação ao hidrograma observado no posto de medição da ANA entre 1979 e 1985 (esquerda); Boxplot para avaliação de desvios das vazões mínimas, médias e máximas das simulações com relação ao observado (direita); Gráfico de dispersão dos dados observados com relação as simulações (abaixo).	53
Figura 25 – Correlação entre os cenários simulados para avaliar o desvio linear.	54
Figura 26 – Picos de vazão no período de cheia (esquerda) e picos de vazão nos períodos de vazante (direita).	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MGB	Modelo de Grandes Bacias;
IPH	Institutos de Pesquisas Hidráulicas;
SIG	Sistema de Informações Geográficas;
URH	Unidades de Respostas Hidrológicas;
ANA	Agência Nacional das Águas;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
MDE	Modelo Digital de Elevação;
MNT	Modelo Numérico de Terreno;
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission;</i>
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool;</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global;
LARSIM	<i>Large Area Runoff Simulation Model;</i>
VIC-2L	<i>Variable Infiltration Capacity Model;</i>
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Letra grega minúscula alfa;
γ	Letra grega minúscula gama;
Δ	Letra grega maiúscula delta;
δ	Letra grega minúscula delta;
λ	Letra grega minúscula lambda;
ρ	Letra grega minúscula rô;
\leq	Menor ou igual;
\geq	Maior ou igual;
$<$	menor que;
$>$	maior que;
$T(^{\circ}C)$	Temperatura medida em graus Célcus;
∞	Infinito.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A água é uma das principais substâncias que possibilitam a vida, devido a isso, historicamente as aldeias, comunidades e cidades se desenvolveram próximo a corpos de água, micro bacias fluviais ou similares (Alencar *et al.*, 1996), regiões que não dispõem deste recurso sofrem para consegui-lo. Com isto, têm-se que o uso do solo em regiões próximas a bacias fluviais é um reflexo do crescimento populacional, social, econômico e tecnológico das cidades que se desenvolvem aos arredores dos corpos de água. Concomitantemente as mudanças no uso do solo, surgem problemas, como por exemplo, desmatamento de mata nativa para pasto ou agricultura extensiva, alta densidade residencial em áreas de diversidade ecológica, despejo de poluentes em corpos hídricos entre outros (Detzel *et al.*, 2011).

Os eventos de transformação de paisagem podem ser expressados através de um único termo: Uso e ocupação do solo. Alterações na forma de uso e ocupação da cobertura do solo em uma determinada região podem acarretar mudanças positivas ou negativas ao ambiente. Por exemplo, construções de rodovias permitem o acesso a comunidades isoladas que necessitam de atendimentos médicos, educação e fomento econômico, porém, essas construções podem também gerar problemas de desmatamento, assoreamento de pequenos corpos de água etc. Dependendo do tipo e da intensidade das transformações podem ocorrer sérios problemas com o ambiente regional, ou mesmo em escala global. Um problema grave que pode ocorrer como consequência da falta de planejamento e mau uso do solo em regiões próximo a canais de drenagem de uma bacia hidrográfica é o assoreamento de corpos de água, ou mesmo a eutrofização destes. A relação entre uso e ocupação do solo com mudanças de eventos físicos, químicos e biológicos de um sistema ambiental é conhecida e comprovada pela comunidade científica. Por exemplo, ao mudar-se a cobertura do solo, muda-se a refletância, resistência superficial, suscetibilidade a erosão, escoamento superficial, disponibilidade de água no solo, percolação, evapotranspiração, formação de chuvas, entre outros (Ometto, 1981; Varejão, 2006; Monteith e Unsworth, 2007).

Porém, de acordo com Collischonn (2001), em sua tese de doutoramento, o verdadeiro papel do tipo de cobertura do solo, com ênfase para a cobertura vegetal, no ciclo hidrológico ainda é controverso no meio científico e ao longo do tempo esse tema sugeriu questionamentos e hipóteses em diversos trabalhos em hidrologia. O mesmo autor cita hipóteses que ainda são alvos em estudos e pesquisas. A primeira relaciona a presença de floresta com a quantidade de precipitação, onde estuda-se a capacidade que a floresta tem de “atrair” chuva. Por exemplo, em Lean *et al.* (1996) encontram-se resultados de um modelo de circulação global em que a floresta amazônica foi totalmente substituída por pastagens. No estudo, a precipitação na região diminuiu cerca de 20%. A segunda hipótese é que florestas naturais reduzem cheias. Existem casos comparativos de bacias pequenas com e sem florestas que dão suporte ao modelo de aumento

das cheias com o desmatamento, conforme discutido em McCulloch e Robinson (1993). Outro estudo que faz referência a este caso é encontrado em Tucci e Clarke (1997), neste, é apresentado que o desmatamento tende a aumentar as cheias de pequeno e médio período de retorno, mas não afeta muito as cheias de maior intensidade. Já a terceira hipótese problematiza que florestas aumentam as vazões mínimas. Em Bruijnzeel (1996) é apresentado que quando o manejo do solo e o regime de precipitação não geram diferenças significativas na capacidade de infiltração do solo, a substituição das florestas por outro tipo de vegetação aumenta as vazões mínimas.

Estudos sobre a influencia do uso e ocupação do solo no regime de vazão de uma bacia hidrográfica podem ser encontrados em Caran (2010), Blainski *et al.* (2011) e, Bayer e Collischonn (2013). Em Caran (2010) utilizou-se o Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) para avaliar o efeito das mudanças no uso e cobertura do solo entre os anos de 1972 e 2008 na resposta hidrológica do rio Piracicaba. No trabalho foi verificado que no cenário de uso agrícola há maior aumento na vazão média anual, em relação ao cenário utilizado como controle (situação da cobertura do solo real no tempo do estudo), e também, que na conversão da agricultura para pastagem há uma maior redução da vazão média anual. Em Blainski *et al.* objetivou-se verificar através do modelo hidrológico SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), por meio de cenários, a influência das atividades agrícolas sobre a distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica na bacia do rio Araranguá. Os dados foram analisados em três mini bacias da bacia principal, a citar, rios Mãe Luiza, Manoel Alves e Itoupava. Os cenários estudados simulados foram: 1) uso atual, com predominância da rizicultura nas áreas agrícolas; 2) substituição da agricultura por reflorestamento; e 3) remoção da cobertura vegetal das áreas agrícolas. Com os resultados foi verificado que a implantação de florestas em áreas agrícolas proporcionam menor número de dias com vazão simulada menor que a vazão observada em 95% do tempo e redução dos picos de vazão em eventos de precipitação. Já o objetivo do estudo de Bayer e Collischonn (2013) foi verificar a sensibilidade do MGB-IPH a mudanças de uso da terra e comparar seu desempenho com resultados de experimentos disponíveis na literatura. Os resultados do estudo mostraram que as vazões médias de longo termo possuem forte dependência com o tipo de cobertura do solo. No estudo, modificou-se valores relacionados a cobertura vegetal e, observou-se a diminuição ou aumento da vazão média de longo termo, fato que, segundo o estudo, vai de encontro com os resultados experimentais descritos na literatura.

As problemáticas do uso do solo surgem após os lobbies do setor imobiliário firmarem o alicerce do interesse político e especulação imobiliária. Problemas também surgem após criação de rodovias, portos e grandes obras como barragens, mineração etc. Diversos agentes de transformações podem ser encontrados na cidade de Santarém - Pará, como a criação de porto para escoamento de grãos, rodovias para o transporte de grãos e madeira, e barragens para geração de energia elétrica. A macro região de Santarém é banhada por diversos corpos de água, sendo o principal o Tapajós. Porém no coração desta macro região está a bacia do rio Curuá-Una, onde está localizado a Usina Hidrelétrica de Curuá-Una as margens da PA-370, a 70km a sudeste

de Santarém. Esta bacia é importantíssima para abastecimento de água na zona rural e agricultura familiar. Tal região vem sofrendo mudanças drásticas no uso do solo ao longo dos últimos 30 anos, principalmente após melhorias na pavimentação da PA-370, abertura do porto graneleiro em Santarém e antropização de áreas próximas ao rio, conforme pode-se observar através da Figura 1. Nela estão apresentados duas imagens da região do Curuá-Una em RGB falsa cor para destacar o as transformações de paisagem. As áreas em vermelho representam vegetação, em branco áreas antropizadas e os pixels mais escuros representam água. Na Figura 1 (a) está destacado a cobertura do solo da região em 1984 e, em (b) em 2015. Devido aos acontecimentos de transformações do uso da terra na região muitos pequenos produtores e pequenos fazendeiros foram obrigados a vender suas terras por preços baixos de mercado, dando lugar a grandes áreas de monocultura extensiva e pastos (Zanatta, 2010; Lindner *et al.*, 2007).

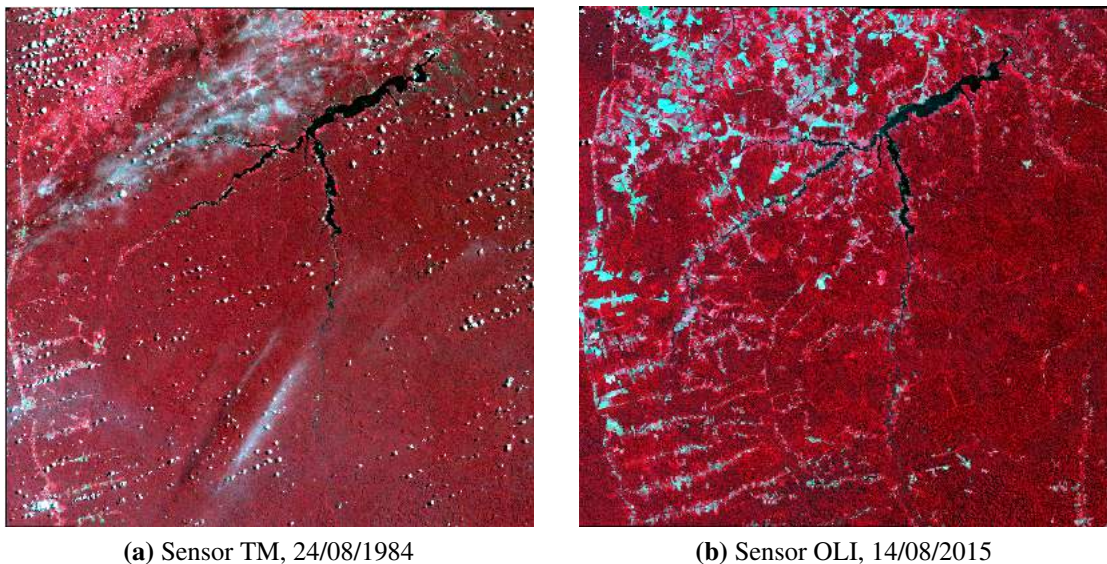


Figura 1 – Comparação de imagens RGB falsa cor entre 1984 (sensor TM) e 2015 (sensor OLI) da região do Curuá-Una. Fonte: acervo do autor.

O rio Curuá-Una mesmo com sua extensão e importância nas esferas social, econômica e ambiental pode vir a sofrer consequências não desejadas. Dependendo dos impactos, as mudanças podem ser irreversíveis e, nos casos em que sejam possíveis a reversibilidade, o processo pode custar muito caro. Uma mudança ambiental que pode vir a ocorrer é alteração no regime de vazão, pois ao mudar-se a cobertura do solo de floresta primária e secundária para monocultura, pastos e solo exposto aumenta-se a suscetibilidade a erosão, transporte de sedimentos, percolação e infiltração, e diminui-se a interceptação da precipitação e a formação de chuvas. Para que ocorra realmente alteração no regime de vazão deve-se considerar a área da bacia, e intensidade da pressão antrópica, bem como muitos outros eventos, inclusive de escala global, porém, em casos limites para eventos internos a bacia, pode-se considerar somente a relação existente na escala da bacia hidrográfica, considerando-a como um sistema fechado. Esses impactos ambientais podem gerar impactos econômicos e sociais, já que mudanças no regime de vazão do rio podem

prejudicar a geração de energia e a pesca. Assim, faz-se necessário estudos das consequências que as mudanças no cenário de uso e ocupação do solo podem prover.

Neste contexto a modelagem hidrodinâmica se apresenta como ferramenta útil para simular cenários futuros e estudar variações temporais da bacia em questão. Existem diversos modelos descritos na literatura, dentre eles estão o VIC-2L, LARSIM e o Modelo Hidrológico Distribuído de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas Hidráulicas - MGB-IPH, sendo que o último é um modelo distribuído, de base conceitual baseado na estrutura dos dois primeiros. A escolha do modelo depende do objetivo da aplicação, características da bacia, da disponibilidade de dados e da experiência do pesquisador.

Para o estudo da influência das mudanças da cobertura do solo sobre características hidrológicas de uma bacia, o MGB apresenta-se viável pois é um modelo de chuva-vazão, que leva em consideração eventos físicos correntes entre os dois eventos principais, como o ciclo hidrológico e hidrossedimentológico. Sua base conceitual é forte, composta de módulos de balanço de água no solo, evapotranspiração, escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo na célula e escoamento na rede de drenagem. Outro fato positivo é a possibilidade do uso de geometrias complexas geradas a partir de Modelos Numéricos de Terreno ou Modelos Digitais de Elevação, proporcionando um contorno mais fidedigno a realidade da bacia, por este motivo, existe a possibilidade de aplicação do modelo a diferentes bacias de diferentes estruturas topográficas, já que pode-se moldar a geometria de entrada de acordo com a região de interesse. O MGB-IPH já foi validado em diversas bacias hidrográficas do território Brasileiro e estrangeiro, como por exemplo, Bacia do rio Taquari-Antas (RS), rio Uruguai, Tapajós (PA) e Negro (AM).

Os objetivos deste trabalho são gerar base de dados que caracterizem hidrológicamente a bacia do rio Curuá-Una, verificar a influência do uso e ocupação do solo no regime de vazão da bacia através de modelagem hidrológica e, testar a sensibilidade do MGB-IPH em cenários de alterações extremas de uso da terra, de precipitação e temperatura média do ar.

1.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1.1 O uso do solo em bacias hidrográficas

A expansão sem planejamento de cidades possuem como características a ocupação incorreta do solo e o mau uso dos recursos hídricos. Estes dois eventos antrópicos acarretam modificações nas bacias hidrográficas e nos seus cursos naturais. O impacto da urbanização influencia no regime hidrológico, sendo que inúmeras cidades registram problemas de inundações devido ao aumento do escoamento superficial, ocasionado pelo revestimento das bacias de drenagem através da impermeabilização pelas obras de engenharia e construções, em áreas urbanas (Fritsch, 2013), ou mesmo assoreamento de corpos hídricos ocasionado pela retirada da mata ripária, em áreas rurais (Esteves, 1988). Para Gomes *et al.* (2008) discutir e propor

soluções para estes problemas, visando a melhor conservação dos recursos hídricos, tanto nos meios urbanos quanto rural, são pontos imprescindíveis nas pautas de planejamento e gestão de bacias hidrográficas.

Os principais fatores que podem acarretar mudanças no regime de vazão de uma bacia hidrográfica são: uso do solo, variabilidade climática, grandes edificações e irrigação em larga escala (Gomes *et al.*, 2008). Neste sentido, as alterações na interceptação da chuva pela cobertura vegetal, através da retirada da cobertura natural, causa maior exposição do solo, por consequência, ocorre diminuição da taxa de infiltração, aumento do escoamento superficial e susceptibilidade a erosão. Outro fato importante é que com a retirada da cobertura vegetal não ocorre diminuição da energia cinética das gotas de chuva através da colisão com as folhas das árvores, assim, as gotas chegam com grande energia, danificando ainda mais a estrutura do solo (Vitte e de Mello, 2007).

Ressalta-se que o ciclo hidrossedimentológico é natural e depende diretamente do ciclo hidrológico, pois envolve os processos de deslocamento, transporte e depósito de partículas sólidas presentes na superfície da bacia (Vanzela *et al.*, 2012). Porém, todos os fatores antrópicos já relacionados intensificam a quantidade de sedimentos transportados e a frequência com que as erosões hídricas e os transportes ocorrem. Para Paiva (2003) o conhecimento do ciclo hidrossedimentológico e da quantificação destes particulados transportados pelos rios é de fundamental importância para o planejamento e aproveitamento dos recursos hídricos de uma região, já que os possíveis impactos dependem da quantidade e da natureza dos sedimentos. Paiva (2003, *apud*, Vanzela *et al.*, 2012) cita que os principais problemas causados pelos sedimentos são: assoreamento de rios, diminuindo a sua navegabilidade e aumentando as possibilidades de enchentes; assoreamento dos reservatórios, diminuindo a sua vida útil ou provocando a necessidade de drenagens periódicas de alto custo; inviabilidade, em alguns casos, de aproveitamento do rio para abastecimento e até mesmo para a irrigação, dependendo da quantidade de sedimentos.

1.1.2 Sistema de Informações Geográficas - SIG

No estudo e monitoramento de corpos hídricos é necessário tecnologias que possibilitem a localização, discretização e base de dados para geração de resultados e informações. As principais tecnologias são: Sensoriamento remoto, Sistema de Posicionamento Global - GPS e Sistema de Informações Geográficas - SIG (Assad e Sano, 1998).

Em Collischonn *et al.* (2009) a conceituação de SIG origina-se nos propósitos gerais para o manejo de dados geográficos no formato digital. As principais funções de um SIG são: pré-processamento de dados, apoio à análise espacial aos modelos e pós-processamento de resultados. Deste modo, um SIG pode representar espacialmente recursos hídricos, trazer dimensões espaciais para bases de dados e apresentar uma visão integrada da bacia. Em Assad e Sano (1998) os dois principais modelos de dados utilizados para representar a realidade em um ambiente SIG são: Vetorial e Matricial. Ainda nos mesmos autores, os dois modelos devem ser

compreendidos como tecnologias complementares, em alguns casos, um deverá ser preferível ao outro, dependendo da finalidade.

A Figura 2 apresenta etapas de pré processamento necessárias para geração de base de dados SIG que servem de entrada no modelo MGB-IPH.

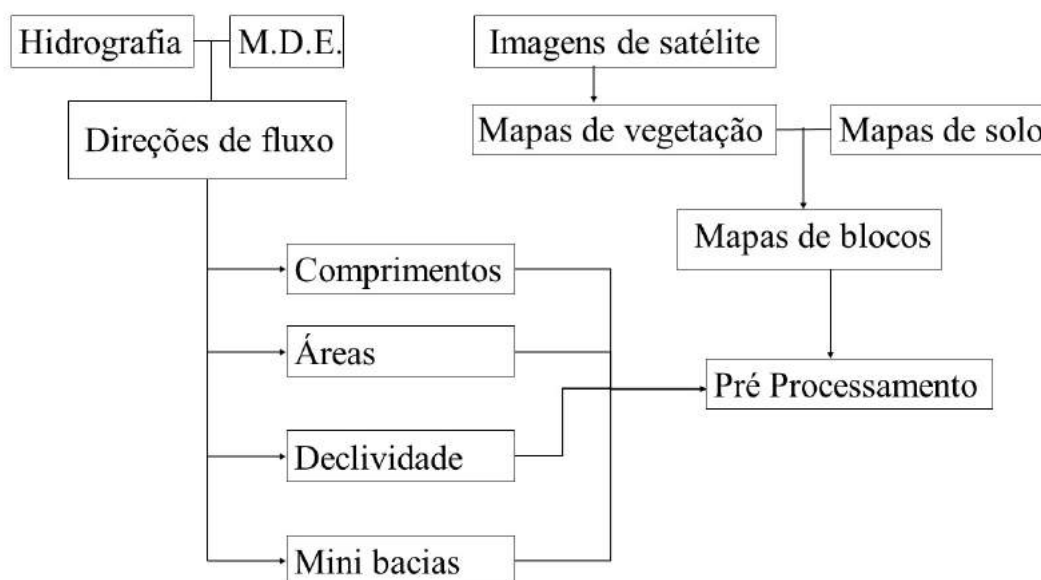


Figura 2 – Algoritmo de processos SIG necessários para execução do MGB-IPH. Fonte: modificado Fan *et al.* (2010b).

1.1.2.1 Unidades de Respostas Hidrológicas - URH

De acordo com Fan *et al.* (2010c) Unidade de Respostas Hidrológicas é uma combinação única de tipo de solo e de uso da terra. Para a definição de URH são utilizadas camadas (matrizes) de uso da terra, tipo de vegetação e tipos de solos. O uso da terra e o tipo de vegetação são, normalmente, apresentados no mesmo mapa, às vezes denominado: Mapa de uso e ocupação do solo (Fan *et al.*, 2010c). Estes mapas são normalmente obtidos a partir de classificação de imagens de satélite através de plataforma SIG.

A classificação de uso e ocupação do solo através de imagens de satélites é uma ferramenta que vem sendo cada vez mais utilizada para avaliar as mudanças temporais na cobertura vegetal e áreas antropizadas. Os métodos de classificação são, na sua maioria, modelos estatísticos. No caso de classificação digital, Ribeiro e Centeno (2001) citam que através de *softwares* de SIG os modelos estatísticos objetivam associar determinado pixel a determinada categoria ou classe por meio de critérios estabelecidos. Neste sentido, a classificação tem como objetivo: ordenar, discriminar e categorizar. A principal limitação dos modelos estatísticos é a necessidade de hipóteses a respeito da distribuição das classes, porém, esta condição em alguns casos não é satisfeita. No estado da arte estão pesquisas que utilizam redes neurais para reconhecimento de padrões e classificação de imagens orbitais associando os resultados a dados auxiliares como geomorfologia, geologia e outros (Ribeiro e Centeno, 2001).

Os mapas de tipo de solo são arquivos de levantamento pedológico de uma determinada região (Fan *et al.*, 2010c). No Brasil, atualmente, os levantamentos são pouco precisos em comparação a países como os EUA. Existem poucas fontes de levantamento do tipo de solo, algumas mais grosseiras, outras menos, algumas com escalas maiores, outras menores etc., a escolha do arquivo depende da finalidade da pesquisa e da área da região a ser investigada.

O processo de definição de Unidades de Resposta Hidrológica envolve buscar em diferentes fontes de dados, avaliação da qualidade dos dados, utilização de análises geográficas de SIG e, principalmente, conhecimentos sobre o comportamento hidrológico de diferentes componentes de uma bacia hidrográfica. Pois alguns tipos de solo possuem características hidrológicas muito semelhantes com outros, no que se refere, por exemplo, percolação, infiltração, escoamento superficial, resistência superficial etc. Da mesma forma, alguns tipos de uso e ocupação do solo possuem comportamento hidrológico semelhante a outros. Conforme apresentado em Fan *et al.* (2010c) o cerrado, cerradão, campo sujo, campo limpo, capinarana, campina possuem suas peculiaridades, porém em termos de comportamento hidrológico, não é possível, com o conhecimento atual, diferenciar adequadamente estes comportamentos através da adoção de valores de parâmetros no modelo hidrológico MGB-IPH. Assim, é recomendado que todas estas sub-classes sejam agrupadas numa única classe. Da mesma forma, Collischonn (2001) recomenda que agricultura e pastagem sejam colocadas na mesma classe de uso da terra, podendo ser denominada: agropecuária. É importante deixar claro, que existe diferenças em todas as áreas da ciência entre as classes citadas, por exemplo, a cultura da soja é diferente da cultura de milho, capinarana é diferente de campina. Essas diferenças existem inclusive na hidrologia, porém, nesta, dependendo das classes e do tipo de solo onde elas se encontram, a variação é mínima, podendo ser desprezada.

O procedimento de agrupamento de classes é importante para manter um número de URH aceitável pelo MGB-IPH, que é no máximo 12.

1.1.2.2 Informações de topografia

No estudo de modelagem hidrológica através de informações de sensoriamento remoto é imprescindível os dados topográficos da região em estudo para, através de *softwares* e algoritmos específicos, definir a direção de fluxo e rede de drenagem da bacia. Para isto, é necessário um Modelo Digital de Elevação (MDE) ou Modelo Numérico de Terreno (MNT) da região. O MDE e o MNT são representações artificiais do relevo.

Em Fan *et al.* (2013) pode-se encontrar referência para uma das melhores fontes de MDE para quase todo o globo terrestre, trata-se das informações de relevo estimadas pelo projeto SRTM. Segundo Collischonn *et al.* (2009) o *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) obteve dados de elevação com uma escala próxima à global. O SRTM consistiu de um sistema de radar especialmente modificado que voou acoplado ao ônibus espacial *Endeavour* durante uma missão de 11 dias em Fevereiro de 2000. Os dados foram publicados em uma grade com arco de 1

segundo (resolução de 30 metros) para os EUA e com um arco de 3 segundos (resolução de 90 metros) para o resto do globo da latitude de 56°S até a de 60°N (Collischonn *et al.*, 2009).

1.1.3 Modelagem Hidrológica

Através da modelagem hidrológica é possível simular o fluxo de água e variação de energia em corpos hídricos, ou mesmo na atmosfera, no solo e nos vegetais (Victoria *et al.*, 2014). Os modelos possibilitam a compreensão dos fenômenos estudados e a simulação de cenários futuros. O gerenciamento integrado de bacias requer o desenvolvimento de modelos que deverão ser utilizados para vários propósitos, por exemplo, para avaliar os riscos e as possíveis mitigações de secas e cheias, gerenciar direitos de uso da água e avaliar a qualidade da água.

1.1.3.1 Modelos Hidrológicos

Segundo Tucci (2005) Os modelos hidrológicos são representações de objetos ou sistemas através de uma linguagem acessível, com objetivo de entendê-los ou buscar respostas para diferentes entradas. Os modelos podem ser caracterizados de diversas formas, por exemplo, considerado-se a dimensão da bacia, a base simbólica do modelo, a complexidade da base, ou mesmo, o tipo de geometria de entrada (Collischonn, 2001; Neto, 2006; Fan *et al.* (2010a); Pontes, 2011).

Os modelos que consideram a dimensão variam desde pequenas a grandes bacias, Collischonn (2001) classifica como: Pequenas bacias áreas próximas a $< 0,01\text{km}^2$, intermediárias da ordem de até 300km^2 , médias até 2.000km^2 , e grandes bacias superiores a 2.000km^2 . Tucci (2003) classifica em termos de escala: Micro $< 10^{-4}\text{km}^2$, transição γ até 10km^2 , meso até 10^3km^2 , transição α no limite de 10^4km^2 , e macro $> 10^4\text{km}^2$. A dimensão da bacia implica necessariamente no tipo de modelo a ser utilizado.

Quanto a base simbólica os modelos podem ser classificados como físico, conceitual ou empírico. Os modelos físicos são aqueles que representam os fenômenos com exatidão teórica, na maioria das vezes através de equações diferenciais (equações da continuidade e da quantidade de movimento); os modelos conceituais também possuem base física, porém mínima, sendo que necessitam de etapa de calibração e ajuste para suprir parâmetros de entrada que não podem ser medidos diretamente; quando trata-se de modelo puramente matemático, sem base física, este é chamado de empírico, estatístico ou “caixa preta”.

A classificação quanto a complexidade da base se subdivide em completos e simplificados. A diferença básica entre esses dois tipos é o modo de uso da equação base, conhecida como Saint-Venant. Nos modelos completos utiliza-se a equação na sua forma *full*.

Já quanto ao tipo de geometria os dois grupos principais são: concentrados e distribuídos. O primeiro considera os dados de entrada e os parâmetros representativos da bacia como valores médios, válidos para toda área de estudo. E no segundo, os dados de entrada e as características

variam no espaço. Estas informações podem ser distribuídas em sub-bacias, mini-bacias ou em malhas (Kaiser, 2006; Pontes, 2011).

Outras classificações podem ser encontradas em Kaiser (2006) onde o autor faz referência a livros clássicos de hidrologia como Righetto (1998), Tucci (1998), Linsley (1981) e resume as principais classificações como: Determinístico, probabilístico, físico, conceitual, empírico, contínuo, de evento, concentrado, distribuído e simplificado. Alguns exemplos de modelos hidrológicos estão citados abaixo:

- SHE - *Système Hydrologique Européen*, modelo de base física, determinístico e distribuído;
- TOPMODEL - *Topography based hydrological MODEL*, base conceitual e semi distribuído;
- TOPKAPI - *Topographic Kinematic Aproximation and Integration*, base física e distribuído;
- LASCAM - *Large Scale Catchment Model*, conceitual e distribuído;
- ARNO - *Rainfall Runoff Model*, conceitual e semi distribuído;
- LISFLOOD - *Distributed Water Balance and Flood*, distribuído;
- SWIM - *Soil and Water Integrated Model*, semi distribuído;
- HEC-1 - *Hydrologic Engineering Center*, concentrado;
- SWAT - *Soil and Water Assessment Tool*, base conceitual e distribuído;
- LARSIM - *Large Area Runoff Simulation Model*, semi conceitual e distribuído;
- VIC-2L - *Variable Infiltration Capacity Model*, semi conceitual e distribuído;
- MGB-IPH - Modelo de Grandes Bacias-Instituto de Pesquisas Hidráulicas, base conceitual e distribuído.

1.1.3.2 Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH)

A estrutura do MGB-IPH é baseada nos modelos LARSIM e VIC-2L (Collischonn, 2001). No modelo, a bacia é discretizada em células quadradas que, por sua vez, são divididas de acordo com as características de uso do solo, cobertura vegetal e tipo de solo. Estas subdivisões são denominadas blocos (Neto, 2006), porém o conceito mais atual, segundo Fan *et al.* (2013), é Unidade de Resposta Hidrológicas. Deste modo, cada célula, por sua vez, é subdividida de acordo com as URH presentes em seus limites.

Em Neto (2006) apresenta-se um modelo conceitual de estudos hidrológicos. De acordo com esse esquema, o modelo conceitual é dividido em dois componentes: componente de balanço hídrico no solo e o componente de transferência dentro da bacia. No balanço hídrico ocorre a

entrada direta através da precipitação (P), saída através da evapotranspiração (EVT), escoamento superficial (R) correspondente à chuva que cai diretamente sobre áreas impermeáveis e áreas saturadas, escoamento sub-superficial (I), que ocorre na zona de solo não-saturada e escoamento de base (B), que ocorre na zona saturada, conforme Figura 3. Após a quantificação do volume em todos os níveis, ocorre a propagação, primeiramente, na bacia vertente, seguida pela rede de drenagem e, finalmente, no canal principal, que fornece a vazão total no ponto mais a jusante da bacia.

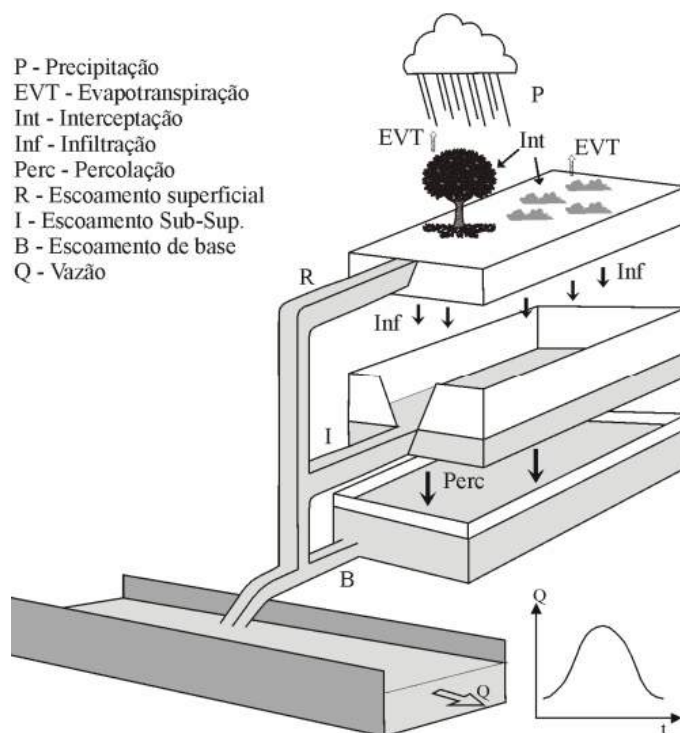


Figura 3 – Esquema de funcionamento de um modelo conceitual.

Fonte: Neto (2006).

Conforme a Figura 3, observa-se a importância do balanço hídrico na modelagem hidrológica. O primeiro passo do modelo para o balanço hídrico no solo é a estimativa da lâmina de água precipitada que é interceptada pela vegetação antes de entrar em contato definitivo com o solo e umedece-lo. A equação que expressa essa relação com o índice de área foliar (IAF) é:

$$SIL_j = \alpha \cdot IAF_j \quad (1.1)$$

onde SIL_j é a capacidade do reservatório de interceptação do bloco j de qualquer célula [mm], α é um parâmetro de interceptação [mm], e IAF_j é o índice de área foliar em cada bloco.

Neste passo é aplicada uma condicional, em que

$$SF_{i,j}^k = SF_{i,j}^{k-1} + PC_i \quad , \text{ se } SF_{i,j}^{k-1} + PC_i \leq SIL_j \quad (1.2)$$

$$SF_{i,j}^k = SIL_j \quad , \text{ se } SF_{i,j}^{k-1} + PC_i \geq SIL_j \quad (1.3)$$

$SF_{i,j}^k$ representa a lâmina interceptada ao final do intervalo de tempo no bloco j da célula i [mm], $SF_{i,j}^{k-1}$ é a lâmina interceptada ao início do intervalo de tempo no bloco j da célula i [mm], e PC_i precipitação sobre a cobertura vegetal em qualquer bloco da célula i .

Quando precipitação atinge o solo, ou melhor, a camada superficial do solo no bloco j da célula i [mm] temos a expressão

$$P_{i,j} = PC_i - (SF_{i,j}^k - SF_{i,j}^{k-1}) \quad (1.4)$$

A evapotranspiração é aplicada, separadamente, à lâmina de água interceptada e a água da camada superficial do solo. A equação física utilizada no modelo para a evapotranspiração é baseada no algoritmo de *Penmann-Monteith*, esta está apresentada na equação 1.5

$$EVT = \left(\frac{\Delta(Rl - G) + \rho_A \cdot c_P \cdot \frac{(e_s - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right) \cdot \frac{1}{\lambda \cdot \rho_w} \dots \quad (1.5)$$

sendo que EVT é a evapotranspiração [m/s], Δ taxa de variação de pressão de saturação do vapor [kPa/°C], Rl radiação líquida na superfície [MJ/m²s], G fluxo de calor para o solo [MJ/m²s], ρ_A massa específica do ar [kg/m³], c_P calor específico do ar úmido, e_s pressão de saturação do vapor [kPa], e_d pressão de vapor [kPa], r_a resistência aerodinâmica [s/m], γ constante psicrométrica, r_s resistência superficial da vegetação [s/m], λ calor latente de vaporização [MJ/kg], e ρ_w massa específica da água [kg/m³].

O segundo passo considera apenas a quantidade de água que atinge o solo. Considerando-se as expressões de entrada e saída, pode-se definir uma expressão simplificada para o balanço hídrico que é realizado em cada célula independentemente a cada passo de tempo, equação 1.6

$$W_{i,j}^k = W_{i,j}^{k-1} + (P_{i,j} - EVT_{i,j} - R_{i,j} - I_{i,j} - B_{i,j} + DCAP_{i,j}) \cdot \delta t \dots \quad (1.6)$$

em que k é o intervalo de tempo [dia], i representa a célula, j o bloco, $W_{i,j}^k$ é o armazenamento de água na camada superior do solo no final do intervalo de tempo, no bloco j da célula i [mm], $W_{i,j}^{k-1}$ armazenamento de água no início do intervalo de tempo [mm], $P_{i,j}$ precipitação líquida do bloco j da célula i [mm/dia], $EVT_{i,j}$ evapotranspiração no bloco j da célula i [mm/dia], $R_{i,j}$ drenagem superficial do bloco j da célula i [mm/dia], $I_{i,j}$ drenagem sub-superficial do bloco j da célula i [mm/dia], $B_{i,j}$ drenagem básica do bloco j da célula i [mm/dia], $DCAP_{i,j}$ fluxo de retorno do reservatório subterrâneo para a camada superficial, que fica disponível para evapotranspiração e drenagem superficial do bloco j da célula i [mm/dia], e δt intervalo de tempo considerado [dia].

Na Figura 4 estão apresentadas as etapas de pré processamento e processamento do MGB-IPH. A maior parte do pré processamento é proveniente de geração de base de dados SIG, a outra parte é composta por dados meteorológicos, pluviométricos e parâmetros do tipo de solo e cobertura do solo da bacia.

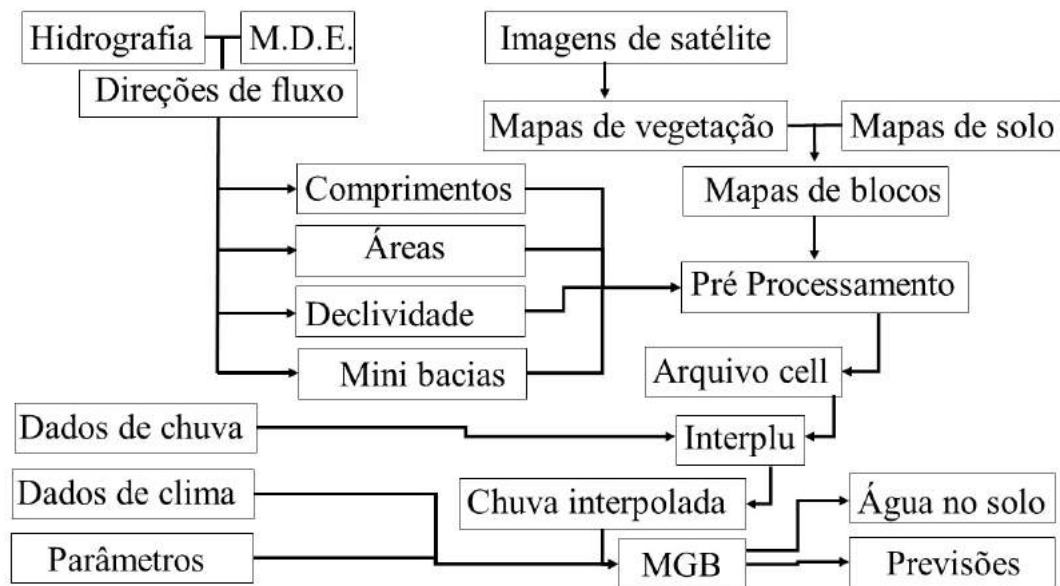


Figura 4 – Fluxograma das etapas de pré processamento e processamento do MGB-IPH. Fonte: modificado Fan *et al.* (2010b).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

- Verificar a influência do uso e ocupação do solo na vazão da bacia do rio Curuá-Una através de modelagem hidrológica.

1.2.2 Específicos

- Gerar base de dados com informações geo-hidrológicas da bacia do rio Curuá-Una;
- Classificar o uso e ocupação do solo da região em estudo nos anos de 1985 e 2015;
- Estimar, em termos de área, as mudanças da cobertura do solo entre 1985 e 2015;
- Produzir matrizes de direção de fluxo, área de acúmulo de escoamento, rede de drenagem e Unidade de Resposta Hidrológica;
- Testar a sensibilidade do MGB-IPH na perspectiva de alterações no uso e ocupação do solo, regime de precipitação e temperatura média do ar.

CAPÍTULO I

TESTE DE SENSIBILIDADE DO MODELO HIDROLÓGICO DE GRANDES BACIAS (MGB-IPH) EM CENÁRIOS DE MUDANÇAS EXTREMAS NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, REGIME DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MÉDIA DO AR.¹

Daniel Alves Jati
Júlio Tota da Silva

¹ Capítulo escrito dentro das normas da revista Acta Amazônica, ISSN 1809-4302, após revisão o mesmo será traduzido para a língua inglesa e submetido ao periódico.

Teste de sensibilidade do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) em cenários de mudanças extremas no uso e ocupação do solo, regime de precipitação e temperatura média do ar.

1 RESUMO

2 O Modelo Hidrológico Conceitual Distribuído de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas
3 Hidráulicas (MGB-IPH) é um modelo do tipo chuva-vazão validado em diversas bacias da
4 América do Sul, inclusive, em diversos rios da bacia amazônica. As entradas do modelo são dados
5 climatológicos, pluviométricos, relevo e cobertura do solo. Pretende-se neste estudo testar a sen-
6 sibilidade do modelo em cenários extremos de uso e ocupação do solo, alterações na precipitação
7 e temperatura média do ar. O estudo de caso foi realizado na bacia do rio Curuá-Una, localizado
8 a sudeste de Santarém-Pará. No pré-processamento utilizou-se o *software* MapWindow-GIS e o
9 *plugin* IPH-Hydro Tools, e no processamento o *plugin* MGB-IPH. No teste de sensibilidade de
10 uso e ocupação do solo os resultados mostraram que vegetação baixa e antropização aumentam os
11 picos máximos de vazão; em períodos de cheia amazônica com ocorrência de baixa precipitação,
12 o cenário vegetação baixa possui maior vazão; e o cenário floresta evita cheias intensas. Nos
13 testes de mudanças no regime de precipitação a diminuição de 50% de chuvas reduziu a vazão
14 em 32% e, o aumento de 50% de chuvas aumentou a vazão em 218,6%. Já nos testes de aumento
15 da temperatura média do ar os resultados não mostraram respostas significativas no regime de
16 vazão, porém este cenário, somado com o aumento e/ou diminuição do regime de precipitação,
17 se apresentou como atenuador tanto para as cheias quanto para as secas.

18 **Palavras-chave:** Modelagem Hidrológica, Chuva-vazão, Bacias hidrográficas, Bacia do rio
19 Curuá-Una.

20

21 ABSTRACT

22 The Hydraulic Concepts Model Distributed from Large Basins of the Hydraulic Research Institute
23 (MGB-IPH) is a rain-flow model validated in several basins in South America, including several
24 rivers in the Amazon Basin. The inputs of the model are climatological, pluviometric, relief and
25 soil cover data. This study intends to test the sensitivity of the model in extreme scenarios of
26 soil use and occupation, changes in precipitation and average air temperature. The study area is

27 the Curuá-Una river basin, located southeast of Santarém-Pará. The MapWindow-GIS software
28 and the IPH-Hydro Tools plug-in were used in the preprocessing, and the MGB-IPH plugin was
29 processed. In the sensitivity test of soil use and occupation the results showed that low vegetation
30 and anthropization increase the maximum peaks of flow; In periods of Amazon flood with low
31 rainfall occurrence, the low vegetation scenario has a higher flow rate; And the forest scenario
32 prevents heavy flooding. In the tests of changes in the precipitation regime, a reduction of 50% of
33 rainfall reduced the flow by 32% and the increase of 50% of rainfall increased the flow by 218.6%.
34 However, in the tests of increase of the average temperature of the air the results did not show
35 significant responses in the flow regime, however, this scenario, added with the increase and/or
36 decrease of the precipitation regime, was presented as attenuator for both floods and droughts.

37 **Keywords:** Hydrological Modeling, Rainfall-flow, Watersheds, Curuá-Una River Basin.

38

39 1. INTRODUÇÃO

40 O Modelo Hidrológico Conceitual Distribuído de Grandes Bacias do Instituto de Pesquisas
41 Hidráulicas, ou simplesmente MGB-IPH, é um modelo matemático escrito em *Fortran* que
42 pode ser utilizado para representar os processos hidrológicos em bacias hidrográficas com
43 áreas iguais ou superiores a 10.000 km² (Collischonn *et al.*, 2007). O MGB-IPH não é um
44 produto comercial, trata-se de um *plugin freeware* desenvolvido para plataforma de Sistemas
45 de Informações Geográficas - SIG, especificamente MapWindow 4.x (Fan *et al.*, 2010b). O
46 MGB-IPH vem sendo desenvolvido no Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade
47 Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) ao longo dos últimos 15 anos. Sua estrutura é baseada
48 nos modelos LARSIM e VIC-2L (Collischonn, 2001). No modelo, a bacia é discretizada em
49 células quadradas que, por sua vez, são divididas de acordo com as características de uso do
50 solo, cobertura vegetal e tipo de solo. Estas subdivisões são denominadas blocos (Neto, 2006),
51 porém o conceito mais atual, segundo Fan *et al.* (2013), é Unidade de Resposta Hidrológicas
52 (URH). Deste modo, cada célula, por sua vez, é subdividida de acordo com as URH presentes em
53 seus limites (Fan *et al.*, 2010a). O MGB-IPH é um modelo do tipo chuva-vazão onde entra-se
54 com dados climatológicos, pluviométricos, relevo e cobertura do solo e obtém-se de resposta
55 hidrogramas de determinada bacia hidrográfica em estudo. Testes de sensibilidade do modelo

56 vem sendo realizados por Adan e Collischonn (2013) e da Paz *et al.* (2013) para analisar os
57 hidrogramas de saída em diferentes tipos de uso e ocupação do solo e em diferentes cenários de
58 alterações de precipitação e temperatura média do ar. Conforme o Relatório do IPCC (2014),
59 esses tipos de estudos cresceram exponencialmente nos últimos anos. Isto é justificado pelo fato
60 de as alterações que geram impactos negativos sobre os recursos hídricos estão intimamente
61 ligadas ao cotidiano do ser humano, pois o homem moderno utiliza deste precioso recurso em
62 diversas etapas de produção de seus bens de consumo e, o mais importante, a água é fundamental
63 para a vida na Terra. Assim, alterações climáticas e/ou de uso do solo com potenciais efeitos
64 negativos sobre os recursos hídricos podem provocar, além de crises econômicas e sociais,
65 crises de sobrevivência no ambiente terrestre. Portanto, faz-se necessário conhecer os efeitos
66 das mudanças climáticas e de uso do solo sobre os recursos hídricos e estimá-los em eventos
67 extremos. Uma possibilidade de se realizar estes estudos com alto poder de processamento é
68 através de modelagem computacional, estas ferramentas permitem gerar informações rápidas
69 para o embasamento de decisões que possam mitigar danos e efeitos negativos ao recurso hídrico.
70 Neste contexto, os testes de sensibilidade de modelos hidrológicos são importantes para prévios
71 ajustes, entendimento de suas capacidades de processamento e avaliação das respostas perante
72 alterações de parâmetros do sistema.

73 O objetivo deste trabalho é testar a sensibilidade do modelo MGB-IPH em cenários
74 extremos de alterações no uso e ocupação do solo, regime de precipitação e temperatura média
75 do ar. Os testes foram realizados em estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Curuá-Una,
76 Santarém, Pará.

77

78 **2. MATERIAL E MÉTODOS**

79 **Caracterização da Área de Estudo**

80 A bacia hidrográfica do rio Curuá-Una (Figura 5) possui área de aproximadamente
81 17.351,34 km², comprimento máximo de 216,08 km e largura máxima de 125,78 km. As
82 classes de cobertura do solo são variadas, indo da floresta densa ao solo totalmente exposto. Os
83 tipos de solos variam em Gleissolo, Plintossolo, Neossolo, Argissolo e Latossolo. Porém, este
84 último é a dominância na região, tratando-se de solos formados pela decomposição de arenitos,

85 siltitos e argilitos, encontrados em diversas partes da bacia, principalmente nas proximidades da
 86 Cachoeira do Palhão (Rodrigues, 1980), onde encontra-se a Usina Hidroelétrica do Curuá-Una,
 87 mantida e operada pelo Eletronorte S/A.

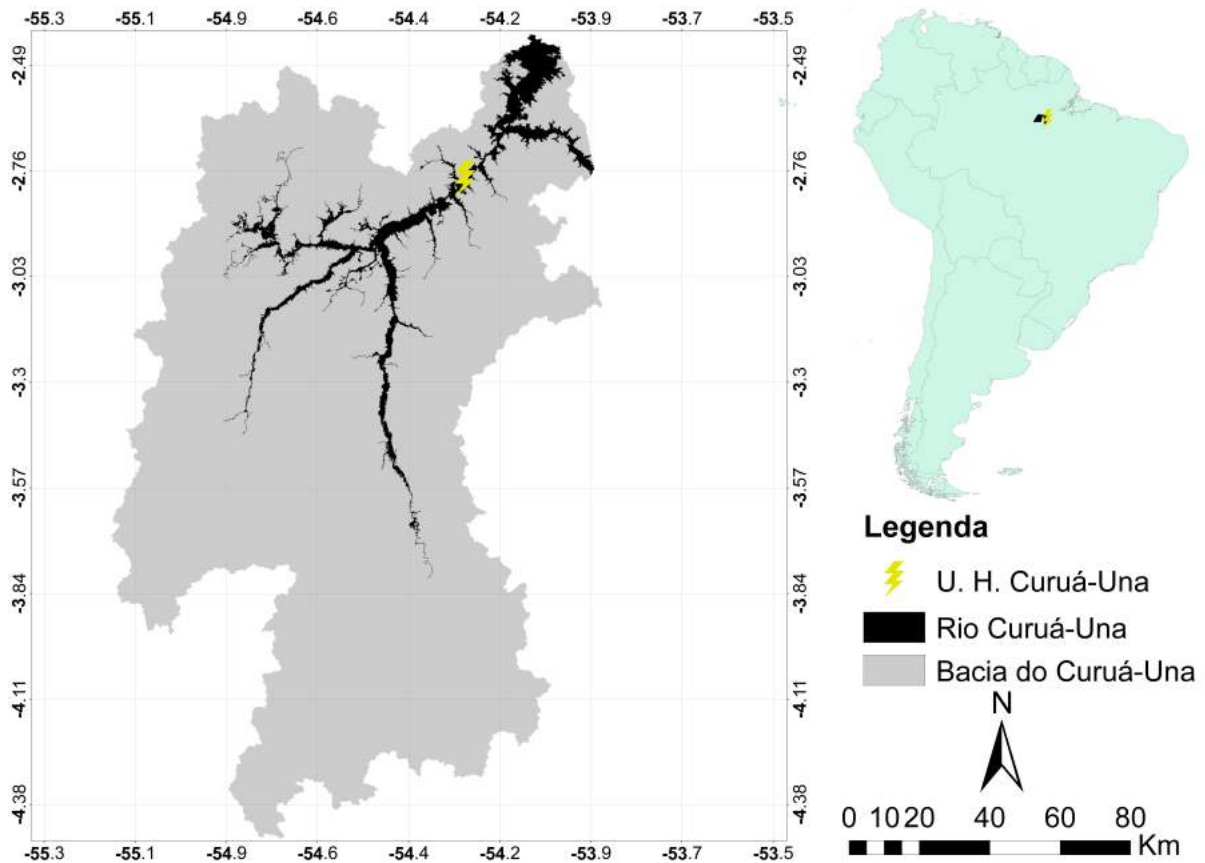


Figura 5 – Mapa de localização da bacia do rio Curuá-Una. Fonte: Acervo do autor.

88 As características climáticas da região do Curuá-Una, em termos médios, são semelhantes
 89 com de muitas regiões da Amazônia. A temperatura do ar é sempre elevada, com média anual de
 90 25,6°C e valores máximos próximos de 31°C e mínimos de 22,5°C. Quanto a umidade relativa,
 91 apresenta valores acima de 80% em quase todos os meses do ano. A pluviosidade se aproxima
 92 dos 2.000 mm anuais (Junk *et al.*, 1981; Fearnside, 2004; Tavares, 2007). No geral, as estações
 93 chuvosas coincidem com os meses de dezembro a junho e as menos chuvosas, com os meses
 94 de julho a novembro. O excedente de água no solo, corresponde aos meses de fevereiro a julho,
 95 com um excedente de mais de 750 mm, sendo março o mês que apresenta valor mais elevado. Os
 96 menores valores de água no solo se intensificam entre agosto e dezembro, sendo setembro o mês
 97 de maior carência, chegando a menos de 90 mm.

98 **Caracterização dos Procedimentos**

99 Os testes de sensibilidade do modelo foram divididos em dois grupos: Teste de sensibili-
100 dade às alterações no uso e ocupação do solo e teste de sensibilidade às mudanças no regime de
101 precipitação e temperatura média do ar.

102 Inicialmente gerou-se um *geodatabase* robusto necessário para o uso do MGB-IPH. Nesta
103 etapa utilizou-se o Modelo Digital de elevação – MDE, produto do *Shuttle Radar Topography*
104 *Mission* - SRTM, com resolução espacial de 90 m, dados fluviométricos baixados do sistema
105 Hidroweb da Agência Nacional das Águas - ANA, pluviométricos e climatológicos baixados
106 do sistema *Soil and Water Assessment Tool* - SWAT, levantamento pedológico descarregado
107 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, imagens LANDSAT 5 e *Software*
108 *Mapwindow*. Estes produtos foram usados como entrada nas rotinas do algoritmo IPH-Hydro
109 *Tools*, no *Mapwindow Gis*, para discretização e produção de matrizes geo-hidrológicas da bacia.
110 O sistema de coordenadas e Datum utilizado em todo o trabalho foi GCS WGS 84. As posições
111 georreferenciadas do posto fluviométrico, pluviométricos e climatológicos estão representadas
112 na Figura 6.

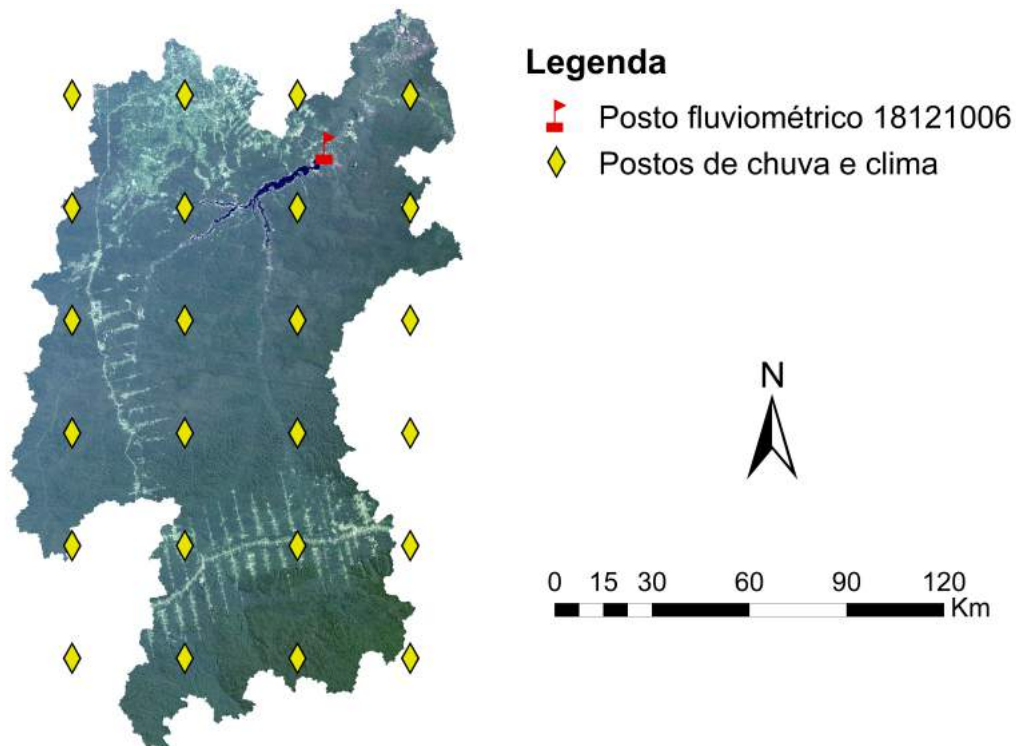


Figura 6 – Mapa de localização do posto de medição de vazão da ANA e dos postos espacializados de estimativas de chuva e clima do SWAT.

113 Nas fases de calibração e validação utilizou-se o *geodatabase* gerado, o *Software Map-*

114 Window GIS, *plugin* IPH Hydro Tools, *plugin* MGH-IPH, Excel, Parâmetros fixos e Parâmetros
 115 calibráveis. Estes parâmetros foram trabalhados com base nos estudos de Neto (2006), Fan (2011)
 116 e De Oliveira *et al.* (2012).

117 Para realização das simulações foram utilizados o MapWindow GIS, *plugin* MGH-IPH
 118 e Parâmetros calibráveis. Primeiramente determinou-se o resultado calculado para validação
 119 do modelo como cenário controle (cenário 00), ou seja, este cenário foi calculado de modo a
 120 simular a fenomenologia real da curva de vazão, adquirida através de dados observados no posto
 121 de medição 18121006, com a maior fidelidade possível. Neste trabalho, devido a escassez de
 122 dados observados, utilizou-se somente um posto fluviométrico, e este, está localizado a jusante da
 123 barragem da Usina Hidrelétrica do Curuá-Una. Após a definição do cenário controle, simulou-se
 124 os cenários propostos por grupo de testes de sensibilidade, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Cenários trabalhados nos testes de sensibilidade do MGB-IPH organizados em dois grupos de simulações.

1° Grupo	Mudanças no uso e ocupação do solo
Cenário 01:	100% de vegetação média e alta
Cenário 02:	100% de vegetação baixa e agropecuária
Cenário 03:	100% de áreas antropizadas com desmatamento, solo exposto, residencial
2° Grupo	Alterações na precipitação e temperatura média do ar
Cenário 04:	Diminuição de 50% de precipitação
Cenário 05:	Aumento de 50% de precipitação
Cenário 06:	Aumento de 4°C;
Cenário 07:	Aumento de 4°C e diminuição de 50% de precipitação
Cenário 08:	Aumento de 4°C e aumento de 50% de precipitação

125 Para medida da qualidade dos ajustes do modelo na validação e simulações utilizou-se as
 126 funções objetivos: Nash (r^2), Nash log, erro do volume (ΔV) e percentual de erro do volume
 127 ($\Delta V(\%)$). As descrições matemáticas destes métodos podem ser visualizadas nas equações
 128 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 respectivamente. Em modelagem hidrológica o número de Nash representa a
 129 eficiência do modelo (Collischonn, 2001; Baltokoski, 2010). Este parâmetro pode variar do $-\infty$
 130 a 1, quando o valor de r^2 for maior que 0, 75, o desempenho do modelo é bom. Quando o valor
 131 for entre 0, 36 e 0, 75 é considerado aceitável, e em casos que seja menor que 0, 36 indicam que a
 132 simulação não está acompanhando a fenomenologia estudada, devendo-se fazer correções.

$$r^2 = 1 - \frac{\sum(Q_1(t) - Q_2(t))^2}{\sum(Q_1(t) - \bar{Q})^2} \quad (2.1)$$

$$r_{log} = 1 - \frac{\sum(\ln(Q_1(t)) - \ln(Q_2(t)))^2}{\sum(\ln(Q_1(t)) - \ln(\bar{Q}))^2} \quad (2.2)$$

$$\Delta V = \frac{\sum(Q_2(t) - Q_1(t))}{\sum Q_1(t)} \quad (2.3)$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\sum(Q_2(t) - Q_1(t))}{\sum Q_1(t)} \cdot 100 \quad (2.4)$$

133 Outras análises estatísticas utilizadas foram: a correlação entre as simulações e dados
 134 observados e teste t para avaliar a significância das diferenças do regime de vazão entre os
 135 cenários. Neste teste, a hipótese nula admitida foi de que as médias das vazões entre os cenários
 136 com relação ao cenário controle são iguais. Para realização de cálculos estatísticos, tabulação dos
 137 dados e plotagem de gráficos foram utilizados os *softwares*: Excel e Compilador de linguagem R
 138 3.3.2.

139

140 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

141 Validação

142 Os resultados para os cálculos das funções objetivos e erros de volume na validação
 143 foram: $r^2 = 0,53$, $\log r^2 = 0,63$, $\Delta V = -0,06$ e $\Delta V (\%) = -5,84$. Estes resultados são
 144 considerados aceitáveis para modelagem hidrológica, principalmente tratando-se de uma bacia
 145 com a vazão modificada devido a operação de barragem hidroelétrica. Em termos médios, a
 146 curva de validação simulou bem a vazão, porém, os dados observados possuem variações de
 147 vazões diárias consideráveis por consequência do controle do reservatório através da abertura e
 148 fechamento do vertedouro. Na Figura 7 (a) observa-se a oscilação com amplitudes significativas
 149 por toda curva do hidrograma de dados observados, na Figura 7 (b) está apresentado graficamente
 150 a dispersão dos dados calculados em relação aos observados e na Figura 7 (c) encontra-se um
 151 boxplot para analisar as diferenças significativa entre o regime de vazão observado e o regime de
 152 vazão calculado na validação.

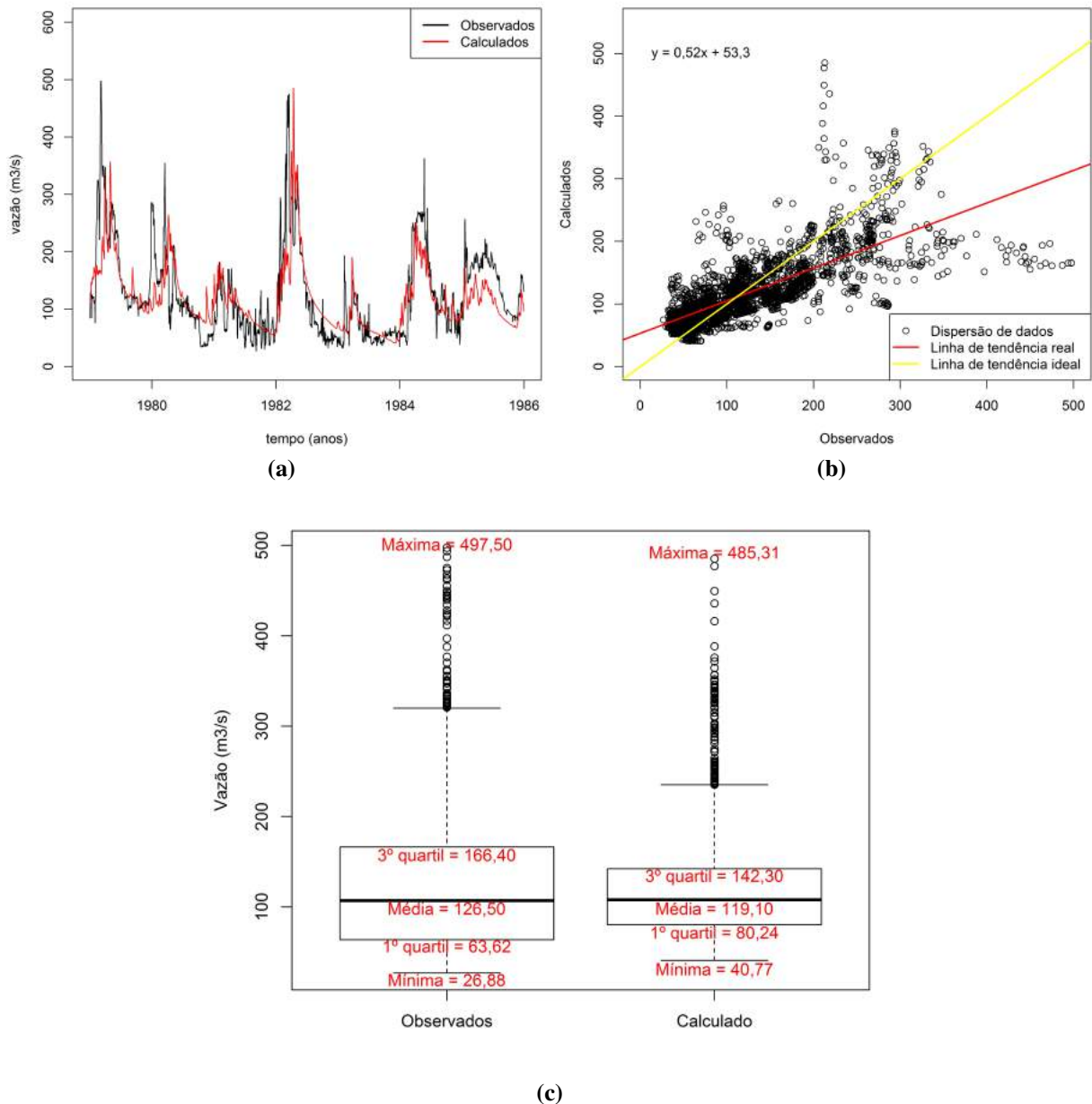


Figura 7 – (a) Hidrogramas de validação do modelo através da semelhança fenomenológica dos dados calculados com os dados observados no posto fluviométrico a jusante da barragem da U. H. do Curuá-Una; (b) Gráfico de tendência entre os dados calculados e os observados; (c) Boxplot de validação, usado para calcular as médias em 0%, 25%, média, 75% e 100%.

153 O valor da correlação encontrada na validação foi 0,73, este valor indica que os valores
 154 de vazões diárias calculados seguem evolução semelhante aos valores observados. A função t.test
 155 calculou vazão média para os dados observados = $126,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e para o calibrado = $119,07$
 156 $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $t = 3,87$ e $p = 0,0001114$ para o intervalo = $3,64 < t < 11,14$, com nível de confiança
 157 de 95%. O que mostra que a mudança de tendência do regime de vazão entre os dados observados
 158 e os calculados não é significativa, mesmo ocorrendo subestimativa de vazão no hidrograma

159 calculado, ou seja, aceita-se a hipótese nula.

160 A análise do boxplot mostra que as amplitudes dos valores de vazão máxima e mínima nos
161 dados calculados foram menores que as amplitudes dos valores de vazão máxima e mínima nos
162 dados observados em torno de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; não houveram valores mínimos fora do padrão médio
163 nos dados calculados nem nos observados, porém houveram valores de vazão máxima atípicos
164 tanto nos calculados como nos observados, esses valores são representados no gráfico como
165 *outliers*, e significam valores muito acima da média dos valores máximos. As mais prováveis
166 causas de suas ocorrências são a abertura do vertedouro na U. H. de Curuá-Una e principalmente,
167 uma anomalia meteorológica de muita precipitação no ano de 1982, provavelmente devido a
168 ocorrência de uma La Niña.

169 Considerando-se o número de Nash, correlação e erro de volume aceitáveis, e que não há
170 diferença significativa entre os dados observados e os calculados na validação, pode-se então
171 admitir o cenário 00 (validação) como cenário controle, em outras palavras, como um parâmetro
172 para análise das simulações.

173 **Simulações**

174 *1º Grupo: Testes de sensibilidade a mudanças extremas de uso e ocupação do solo*

175 Os hidrogramas das simulações seguiram bem a fenomenologia do regime de vazão
176 referenciado pelo cenário controle (Figura 8 (a)), sendo que o cenário 03 apresentou desvio
177 da curva para valores significativamente superiores ao controle. Os valores dos resultados das
178 funções objetivos dos hidrogramas referentes aos cenários propostos em relação ao hidrograma
179 do cenário controle estão dispostos na Tabela 2. Na Figura 8 (b) apresenta-se um gráfico boxplot
180 para avaliar as diferenças entre as vazões mínimas, máximas e média dos dados calculados para
181 cada cenário em relação ao cenário controle, e nele é possível verificar que a média dos cenário
182 02 e 03 superestimaram a média do controle e, que em todos os cenário ocorreram pontos atípicos
183 de valores máximos, cujo o principal fator está relacionado a ocorrência de valores significativos
184 de precipitação no ano de 1982, conforme discutido anteriormente.

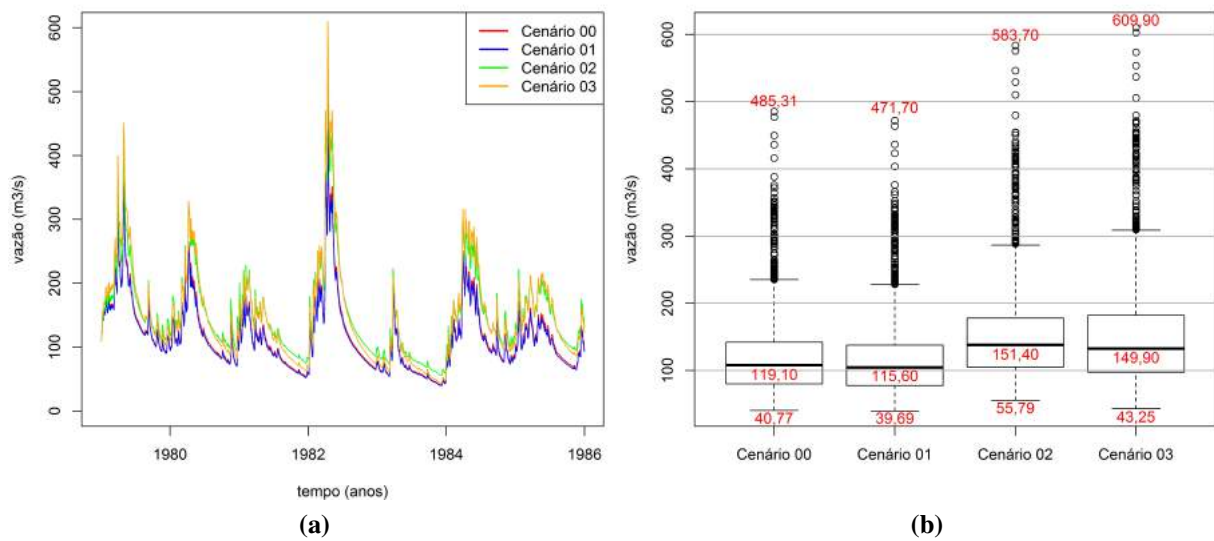


Figura 8 – (a) Hidrogramas de comparação da fenomenologia do regime de vazão dos cenários propostos com relação ao cenário 00; (b) Boxplot para avaliação de diferenças significativas dos valores mínimo, médios e máximos entre os cenários e o cenário controle.

185 O cenário floresta média e alta possui número de Nash (r^2) próximo a 1, este fato já era
 186 esperado pois a imagem de satélite LANDSAT utilizada para classificação do uso e ocupação
 187 do solo e geração das unidades de resposta hidrológicas foi imageada em 1985, e neste período
 188 cerca de 83% da bacia do Curuá-Una era composta por vegetação média e alta em solo argiloso e
 189 médio argiloso, ou seja, o cenário controle possui 83% de similaridade com o cenário 01 já que a
 190 característica principal deste cenário é cobertura de 100% da bacia com floresta média e alta.

Tabela 2 – Resultados das funções objetivo dos cenários simulados em relação ao cenário controle.

		r^2	$\log r^2$	ΔV	ΔV (%)
Controle x Simulados	Cenário 01	0,99	1,00	-0,03	-2,95
	Cenário 02	0,61	0,68	0,27	27,11
	Cenário 03	0,54	0,75	0,26	25,85

191 Os erros de volume do cenário 01 com relação ao 00 não foram significativas, pois mesmo
 192 subestimando a vazão controle, essa subestimativa foi inferior a 3%, diferentemente, os cenários
 193 02 e 03 apresentaram valores de erro de volume significativos, superestimando o controle em
 194 27,11% e 25,85% respectivamente.

195 Na Tabela 3 estão resultados estatísticos do teste t para avaliação dos cenários propostos
 196 com relação ao cenário controle.

Tabela 3 – Teste t para análises de diferenças significativas.

	Média	t	p -value	Intervalo	Confiança
Cenário 01	115,56	2,27	0,023	$0,48 < t < 6,54$	95%
Cenário 00	151,35	-18,60	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$-35,68 < t < -28,89$	95%
Cenário 03	149,85	-16,38	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$-34,46 < t < -27,09$	95%

197 A função t .test calculou que o cenário 01 subestimou a vazão no período estudado, porém,
 198 a hipótese nula é aceita, diferentemente dos cenários 02 e 03. Nestas duas situações as médias
 199 superestimaram significativamente a vazão controle e, apresentaram valor de t fora do intervalo
 200 de significância, assim, a hipótese nula não é aceita, implicando em diferenças significativas no
 201 regime de vazão.

202 As dispersões dos cenários simulados com relação ao cenário controle (Figura 9) apre-
 203 sentaram tendência linear, com valores do coeficiente de ajuste linear próximos a 1. Os valores
 204 das correlações entre combinações de cenários estão apresentados na Tabela 4.

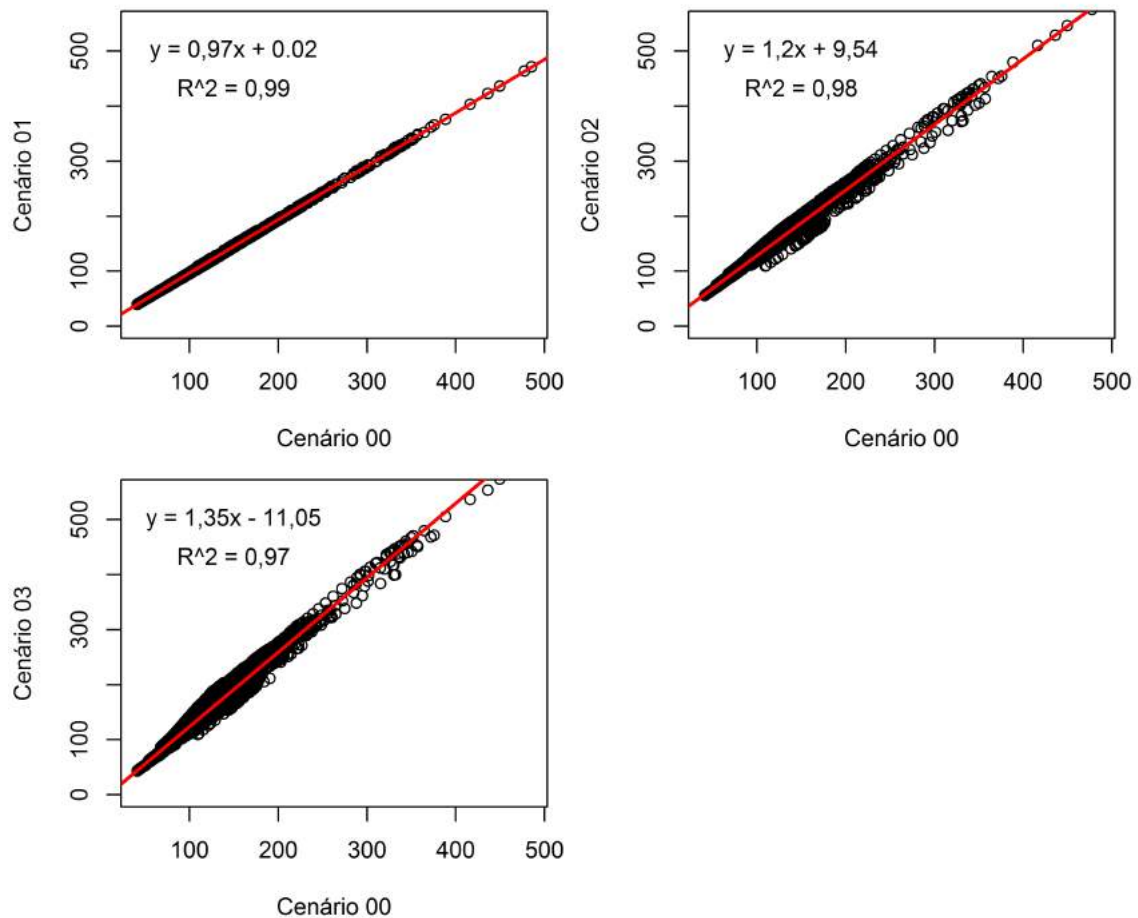
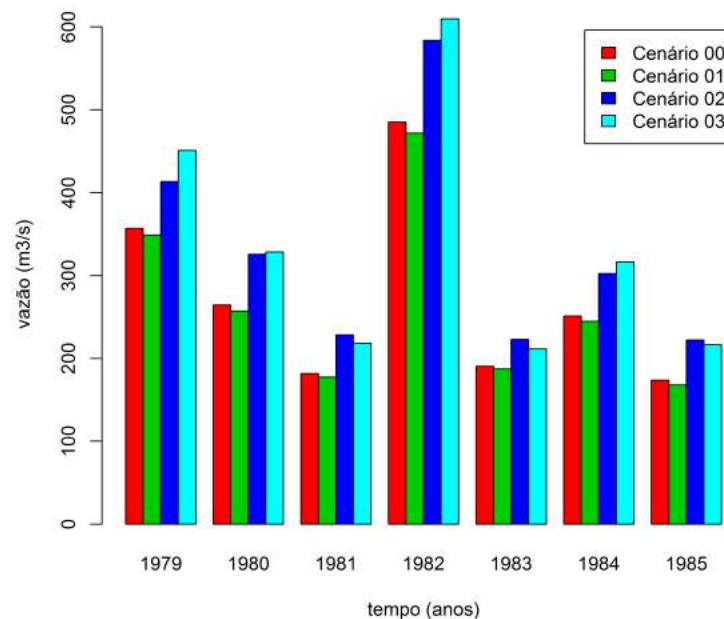
**Figura 9** – Gráficos de dispersão e linha de tendência linear dos cenário 01, 02 e 03 com relação ao cenário 00.

Tabela 4 – Correlações calculadas para avaliação das simulações.

	Cenário 00	Cenário 01	Cenário 02	Cenário 03
Cenário 00	1			
Cenário 01	0,99	1		
Cenário 02	0,98	0,99	1	
Cenário 03	0,97	0,99	0,99	1

205 A Figura 10 apresenta um gráfico em barras dos picos de vazão máxima para os cenários
 206 trabalhados para cada ano analisado. Esses picos representam os períodos de cheia amazônica,
 207 ou seja, os períodos de estação chuvosa da região.

**Figura 10** – Gráfico em barras da distribuição das vazões máximas para os cenários estudados entre 1979-1985.

208 Verifica-se que em relação ao cenário controle os cenários 02 e 03 apresentaram maiores
 209 picos de vazão máximas durante a estação chuvosa. Com destaque para o cenário 03, este cenário
 210 apresentou os maiores picos na maioria dos anos estudados, os anos 1981, 1983 e 1985 foram
 211 exceção. Para estes períodos o cenário 02 teve maiores picos. Segundo estudos de Abreu *et al.*
 212 (2004) e Kayano e Moura (1986) em 1982-1983 ocorreu uma anomalia meteorológica forte, um
 213 dos maiores *El Niño* registrados na região do Pará, e observa-se que os anos de 1981 e 1985
 214 também foram períodos de baixa vazão, nesses anos podem ter ocorrido reflexos do fenômeno de
 215 aquecimento do Pacífico, em 1981 um reflexo prévio e em 1985 um reflexo posterior.

216 Os picos máximos na série de tempo estudada para cada cenário foram: Cenário 00:
 217 485,31 m³. s⁻¹ em 1982; Cenário 01: 471,73 m³. s⁻¹ em 1982; Cenário 02: 583,68 m³. s⁻¹

218 em 1982; Cenário 03: $609,92 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1982. Em termos percentuais esses resultados, em
 219 relação ao cenário controle no ano de 1982, representam: decréscimo de 2,8% na vazão máxima
 220 no cenário de vegetação média e alta; aumento de 20,27% na vazão máxima no cenário de
 221 vegetação baixa e agropecuária; aumento de 25,7% no cenário de antropização e solo exposto.
 222 Estes resultados representam que o cenário vegetação média e alta evitou cheias em excesso em
 223 todo o período estudado, seu hidrograma teve comportamento muito próximo do hidrograma
 224 controle. Já o cenário de antropização e solo exposto, superestimou a vazão máxima representando
 225 ocorrências de cheias significativas. Resultados semelhantes foram encontrados por Blainski *et*
 226 *al.* (2011) através do modelo hidrológico SWAT. No referido estudo o cenário de solo exposto
 227 apresentou os maiores valores para vazão média, máxima e mínima, com relação ao cenário
 228 floresta.

229 A Figura 11 apresenta um gráfico em barras dos picos de vazão mínima para os cenários
 230 trabalhados em relação a cada ano analisado. Esses picos representam a vazante da região, ou
 231 seja, a estação seca.

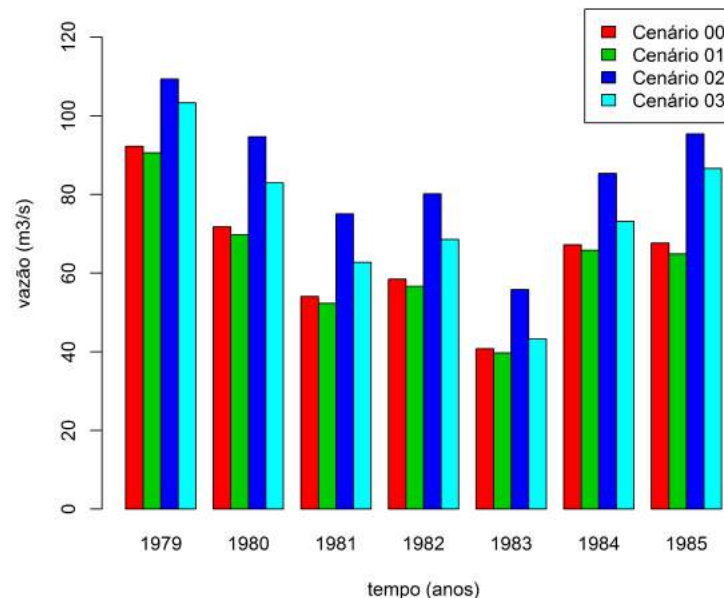


Figura 11 – Gráfico em barras da distribuição das vazões mínimas para os cenários estudados entre 1979-1985.

232 As vazões mínimas na série de tempo estudada para cada cenário foram: Cenário 00:
 233 $40,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983; Cenário 01: $39,69 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983; Cenário 02: $55,79 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em
 234 1983; Cenário 03: $43,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983. Em termos percentuais esses resultados, em relação
 235 ao cenário controle no ano de 1983, representam: decréscimo de 2,7% na vazão mínima no

236 cenário vegetação média e alta; aumento de 36,8% na vazão mínima no cenário vegetação baixa
 237 e agropecuária; aumento de 6,1% no cenário de antropização e solo exposto. Estes resultados
 238 representam que o cenário vegetação baixa e agropecuária evitou secas em excesso, no geral,
 239 para todo o período estudado. Já o cenário de vegetação média e alta apresentou subestimativa
 240 de vazão em todos os anos, porém, não foram significativas, as diferenças foram menores que
 241 2,5% com relação ao cenário controle.

242 Uma forma simplificada de analisar o comportamento dos cenários durante os períodos
 243 de eventos climáticos intensos é através de análise (Tabela 5) do período de vazão máxima em
 244 1982 e do período de vazão mínima em 1983, onde ocorreram eventos climáticos extremos de
 245 muita precipitação e de estiagem, respectivamente.

Tabela 5 – Comparação dos acréscimos e decréscimos percentuais de vazão máxima e mínima com relação ao cenário controle nos anos em que as cheias e vazantes foram intensas.

	Vazão máx. em 1982	Vazão mín. em 1983
Cenário 01	↓ 2,8%	↓ 2,7%
Cenário 02	↑ 20,27%	↑ 36,8%
Cenário 03	↑ 25,7%	↑ 6,1%

246 As seta para baixo na Tabela 5 representam decréscimo e para cima acréscimo de vazão
 247 com relação ao cenário controle. Verifica-se que durante o evento de muita precipitação, os
 248 cenários 02 e 03 apresentaram comportamento semelhante, aumentando a vazão em média
 249 22,98%, ou seja, intensificando as cheias, porém, durante a estiagem, o cenário 02 foi o único
 250 que evitou significativamente a diminuição da vazão.

251 Os resultados apresentados inferem que o modelo MGB-IPH responde bem perante a
 252 mudanças de características das coberturas do solo. Resultados similares são encontrados em
 253 Caran (2010) e, Bayer e Collischonn (2013). O objetivo do estudo de Bayer e Collischonn (2013)
 254 foi verificar a sensibilidade do MGB-IPH a mudanças de uso da terra e comparar seu desempenho
 255 com resultados de experimentos disponíveis na literatura. Os autores propuseram cenários
 256 extremos com 100% de floresta e 100% de pastagem, em termos médios, similares aos cenários
 257 propostos neste trabalho. Em ambos os estudos, os resultados apresentaram que as vazões médias
 258 possuem forte dependência com o tipo de cobertura do solo e, que ao modificar-se o tipo de
 259 cobertura pode ocorrer o aumento ou diminuição da vazão média, fato que, segundo Bayer e

260 Collischonn (2013), vai de encontro com os resultados experimentais descritos na literatura.

261 Estudos clássicos em hidrologia corroboram com estes resultados, por exemplo, Hibbert
 262 (1967 *apud* Bosch e Hewlett, 1982), verificou que a vazão média aumenta em função da mudança
 263 de florestas para vegetações mais baixas e desmatamento. Resultados similares foram obtidos
 264 por Bruijnzeel (1990) e Lawson *et al.* (1981). Para Blainski *et al.* (2011) o aumento médio de
 265 vazão pode ser atribuído à redução da infiltração de água no solo. Diversos fatores podem levar
 266 a essa ocorrência, por exemplo, a diminuição da interceptação da chuva pela vegetação pode
 267 ocasionar danos a superfície do solo, selando-o. Por consequência, intensificam-se o escoamento
 268 superficial em direção a linhas de drenagem.

269 *2º Grupo: Testes de sensibilidade a alterações na precipitação e temperatura média do ar*

270 Os testes de sensibilidade do MGB-IPH a alterações no regime de precipitação e temper-
 271 atura média do ar foram realizados considerando-se os cenários 04, 05, 06, 07 e 08, conforme
 272 descritos na metodologia. Os resultados dos cálculos das funções objetivos e os erros de volume
 273 para análise dos hidrogramas (Figura 12 (a)) simulados com relação ao cenário controle estão na
 274 Tabela 6. Na Figura 12 (b) apresenta-se um gráfico boxplot para avaliar as diferenças entre as
 275 vazões mínimas, máximas e média dos dados de vazão para cada cenário em relação ao cenário
 276 controle.

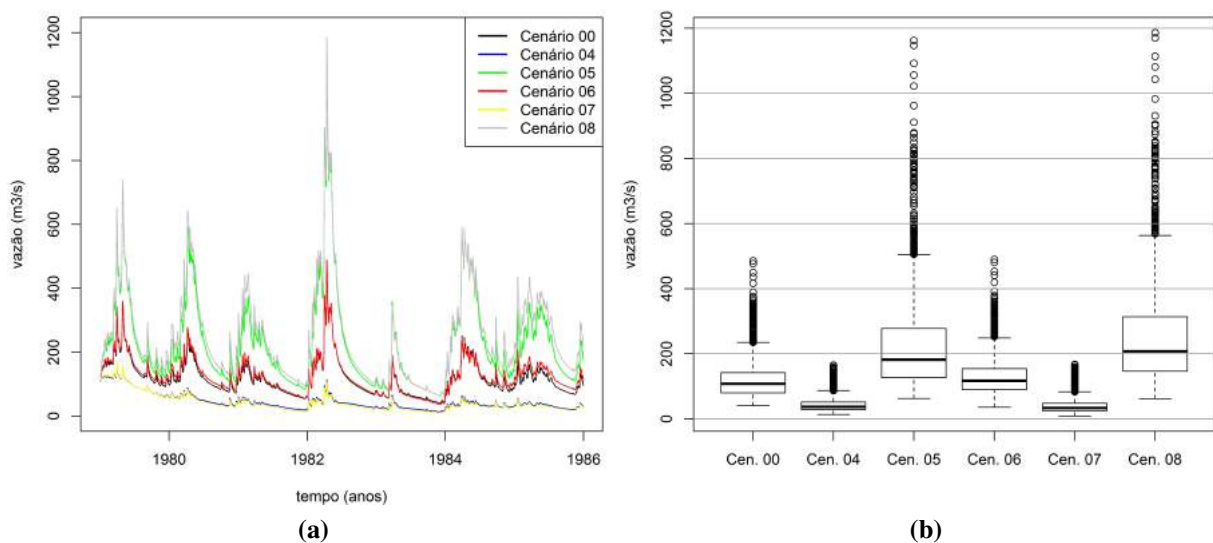


Figura 12 – (a) Hidrogramas de comparação da fenomenologia do regime de vazão dos cenários propostos com relação ao cenário controle; (b) Boxplot para avaliação de diferenças significativas dos valores mínimo, médios e máximos entre os cenários e o cenário controle.

Tabela 6 – Resultados das funções objetivo das simulações em relação ao cenário controle.

		r^2	$\log r^2$	ΔV	ΔV (%)
Cenário controle	Cenário 04	-1,28	0,00	-0,62	-61,79
x	Cenário 05	-5,13	0,00	0,89	89,31
Cenários Simulados	Cenário 06	0,96	0,00	0,06	6,03
	Cenário 07	-1,44	0,00	-0,65	-64,61
	Cenário 08	-7,15	0,00	1,09	108,6

277 Na Tabela 7 encontra-se valores obtidos através das análises dos quartis do boxplot, esses
 278 valores são conhecidos na estatísticas como “cinco números”, tratam-se dos valores médios
 279 para o pontos: mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo. Esses pontos são
 280 representados no boxplot e também são conhecidos como valores em 0%, 25%, 50%, 75% e
 281 100%.

Tabela 7 – Resultados dos cálculos dos valores médios em 0%, 25%, 50%, 75% e 100% dos cenários trabalhados e cenário controle.

	Cenário 00	Cenário 04	Cenário 05	Cenário 06	Cenário 07	Cenário 08
0%	40,77	13,59	62,78	35,65	8,76	61,99
25%	80,24	28,34	126,70	89,56	24,55	146,30
50%	108,00	37,34	181,70	117,30	33,49	207,50
75%	142,30	51,87	277,90	154,50	48,05	313,70
100%	485,30	165,50	1162,00	489,60	167,80	1186,00

282 Na Tabela 8 estão resultados estatísticos do teste t de *student* realizados através da função
 283 t.test do compilador de linguagem R para avaliação dos cenários propostos.

Tabela 8 – Teste t para análises de diferenças significativas.

	Média	t	p-value	Intervalo crítico	Confiança
Cenário 04	46,00	59,76	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$71,16 < t < 75,99$	95%
Cenário 05	225,41	-35,10	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$-112,28 < t < -100,40$	95%
Cenário 06	126,25	-4,53	$5,97 \cdot 10^{-6}$	$-10,29 < t < -4,07$	95%
Cenário 07	42,13	61,82	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$74,49 < t < 79,37$	95%
Cenário 08	248,38	-41,55	$2,2 \cdot 10^{-16}$	$-135,41 < t < -123,20$	95%

284 A função t.test indicou que a hipótese nula foi aceita somente no cenário 06, implicando
 285 em diferenças significativas no regime de vazão com relação ao cenário controle nos demais
 286 cenários.

287 As dispersões dos cenários simulados com relação ao cenário controle (Figura 13) ap-
 288 resentaram tendência linear nos cenários 05, 06 e 08, sendo que destes, o cenário 06 possui o
 289 melhor coeficiente de ajuste linear, 0,98.

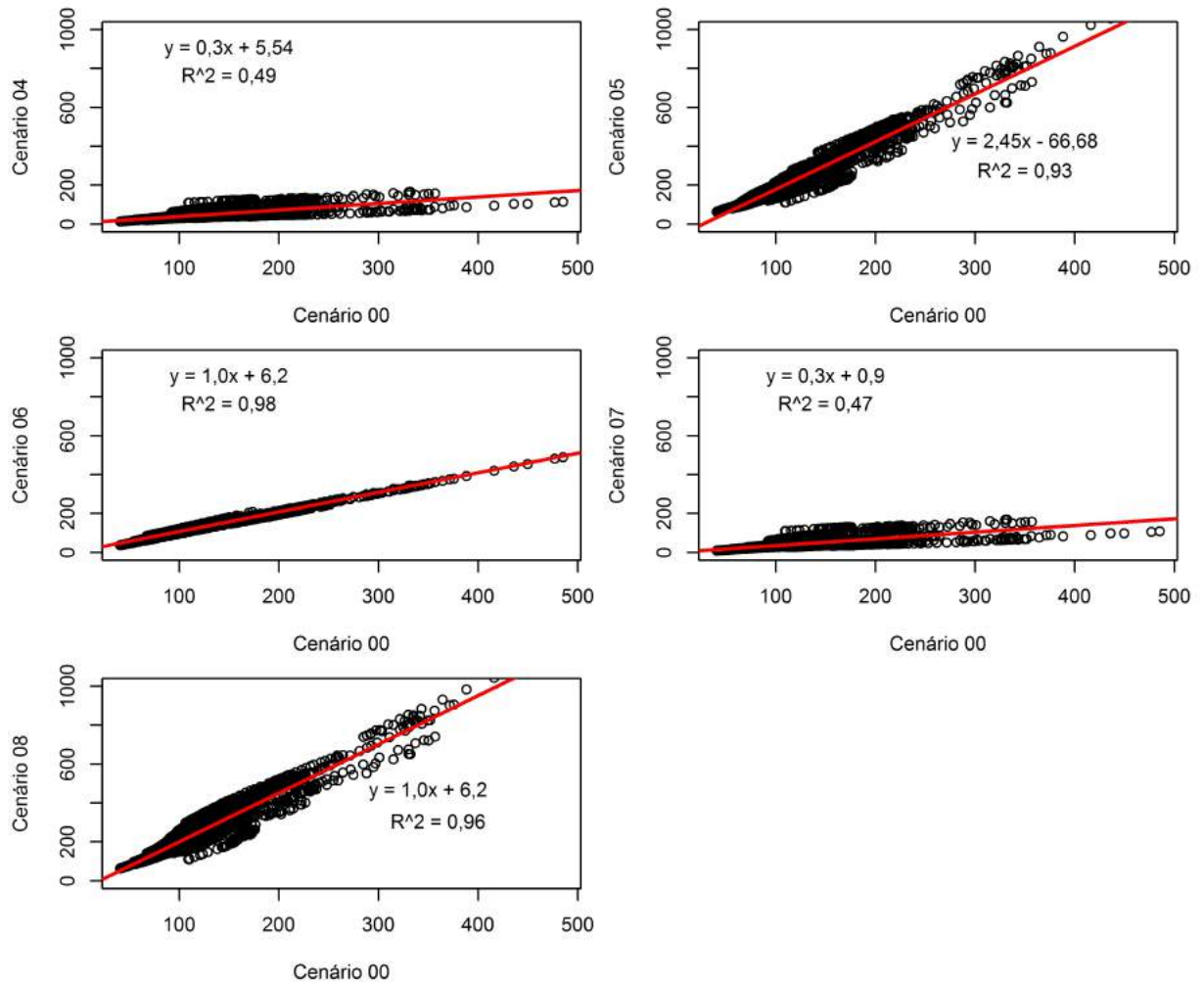


Figura 13 – Gráficos de dispersão e linha de tendência dos cenários com relação ao cenário 00.

290 Os valores calculados das correlações entre os cenários simulados e cenário controle
 291 estão dispostos na Tabela 9.

Tabela 9 – Correlações calculadas para avaliação das simulações.

	Cenário 00	Cenário 04	Cenário 05	Cenário 06	Cenário 07	Cenário 08
Cenário 00	1,00					
Cenário 04	0,70	1,00				
Cenário 05	0,97	0,52	1,00			
Cenário 06	0,99	0,70	0,95	1,00		
Cenário 07	0,96	0,51	0,99	0,96	1,00	
Cenário 08	0,68	1,00	0,50	0,69	0,49	1,00

292 A Figura 14 (a) apresenta um gráfico em barras dos picos de vazão máxima para os
 293 cenários trabalhados para cada ano analisado e na Figura 14 (b) um gráfico em barras dos picos
 294 de vazão mínima.

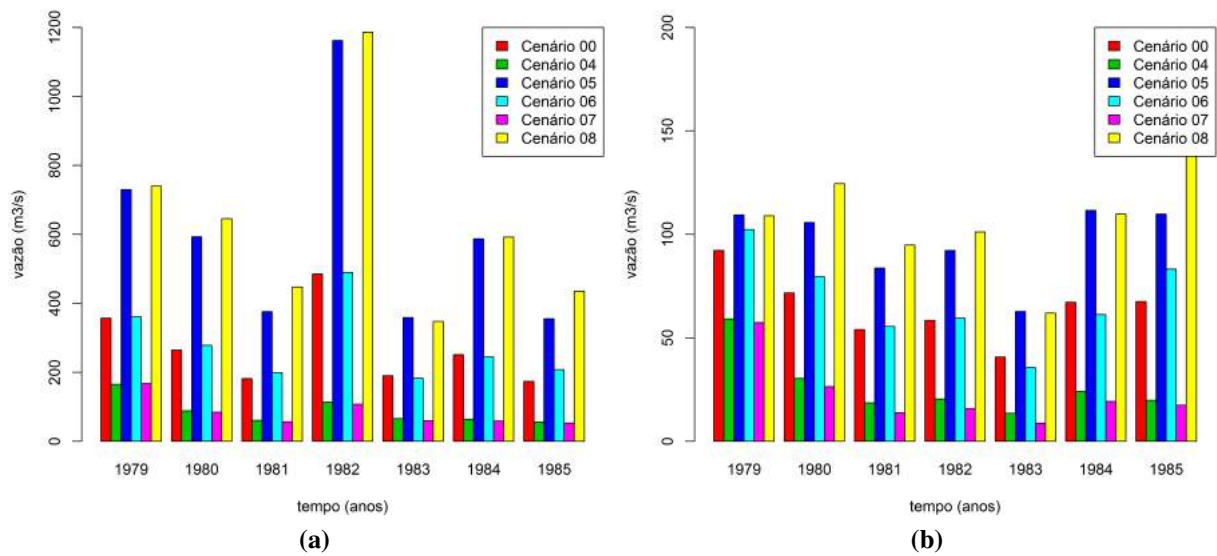


Figura 14 – (a) Distribuição das vazões máximas representando os períodos de cheia amazônica; (b) Distribuição das vazões mínimas Gráfico em barras da distribuição das vazões máximas para os cenários 04, 05, 06, 07 e 08 entre 1979-1985.

295 Os picos máximos na série de tempo estudada para cada cenário foram: Cenário 00:
 296 $485,31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1982; Cenário 04: $165,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1979; Cenário 05: $1.162,04 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
 297 em 1982; Cenário 06: $489,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1982; Cenário 07: $167,82 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1979; Cenário
 298 08: $1.185,92 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1982. E as vazões mínimas na série de tempo estudada para cada cenário
 299 foram: Cenário 00: $40,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983; Cenário 04: $13,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983; Cenário 05:
 300 $62,78 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983; Cenário 06: $35,65 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983, Cenário 03: $8,81 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em
 301 1983; Cenário 04: $61,99 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 1983.

302 Considerando-se a média de cada cenário na análise dos picos máximos de vazão,
 303 observou-se que a diminuição de 50% de precipitação reduziu a vazão em 32%, e o aumento de
 304 50% da precipitação aumentou a vazão em 218,6%. Resultados semelhantes foram encontrados
 305 por Silveira (2015) e Pontes *et al.* (2013). Silveira (2015) utilizou o MGB-IPH para realizar
 306 simulações com aumento e diminuição de 30% de precipitação. Foi observado que a redução
 307 da precipitação culminou na redução de 43% da vazão e, o aumento da precipitação resultou
 308 no aumento de 78% da vazão. Pontes *et al.* (2013) verificaram que um aumento de 50% na
 309 precipitação média na bacia levaria a um aumento de 142% na vazão média enquanto uma redução
 310 de 50% na precipitação média levaria a uma redução de 84% na vazão média.

311 Os percentuais não são similares pois, dependem de características específicas de cada

312 bacia, mas a relevância está no fato de a intensidade de cheias em eventos de maior precipitação
313 ser mais significativo que a intensidade das secas em eventos de baixa precipitação. Uma possível
314 justificativa para isso está no fato de que, ao aumentar a precipitação, há uma saturação dos
315 reservatórios representados no MGB-IPH, com isto, o aumento no fluxo superficial tende a
316 aumentar com o aumento da precipitação. No sentido contrário, a redução da precipitação gera
317 menos escoamento superficial, porém ainda há contribuição devido ao escoamento de base
318 resultante da água acumulada no solo e nos reservatórios subterrâneos (Pontes *et al.*, 2013;
319 Silveira, 2015).

320 Nos cenários com aumento de 4°C a tendência das cheias serem mais significativas
321 continuou, de modo que este cenário se apresentou como atenuador tanto para as cheias quanto
322 para as secas. O acréscimo de 4°C somado com a diminuição de 50% da precipitação diminuiu
323 30% da vazão e acréscimo de 4°C somado com o aumento de 50% da precipitação aumentou
324 230, 7% da vazão.

325 Apesar de os resultados para as intensidades das cheias serem mais significativos do
326 que para as secas, ambos, em casos extremos, similares aos calculados neste trabalho e nos
327 referenciados, inferem que a diminuição ou aumento da precipitação em 50% na região do rio
328 Curuá-Una poderá acarretar prejuízos sociais, econômicos e ambientais, devido a redução ou
329 acréscimo significativo da vazão do rio. Em termos sociais, o cenário de redução significativa
330 pode levar a paralisação das atividades operacionais da Usina Hidrelétrica do Curuá-Una, falta de
331 abastecimento de energia elétrica à cidade de Santarém-Pará, problemas com abastecimento de
332 água no campo e na cidade entre outros; em termos econômicos, pode levar a prejuízos de centenas
333 de famílias que dependem do pescado para sobreviver, além de que a falta de abastecimento de
334 energia e água são ponto de partida para eventos cascatas nas atividades econômicas locais pois,
335 caso isso ocorra, muitos meios de produção terão de parar suas atividades; e em nível ambiental,
336 este cenário pode levar a falta de oxigênio dissolvido na água e, por consequência, mortalidade
337 de diversas espécies aquáticas. O cenário de aumento significativo da precipitação pode gerar
338 problemas de inundações em comunidades que moram a margem do rio e comprometimento da
339 segurança estrutural da Usina Hidrelétrica de Curuá-Una.

340 Com estes resultados e discussões de seus significados para a população da bacia do

341 Curuá-Una e arredores, pode-se verificar que efeitos na escala global, como as mudanças climáti-
342 cas, podem exigir adaptações relevantes, não somente da espécie humana e sua sociedade, mas
343 também da fauna e flora existentes em todos os ecossistemas presentes na região.

344

345 **4. CONCLUSÕES**

346 O teste de sensibilidade do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) apresen-
347 tou que o modelo respondeu bem a todas as alterações no uso e ocupação do solo e as modificações
348 realizadas nos *inputs* de precipitação e clima. Os resultados obtidos nas simulações de cenários
349 com modificações extremas no uso e ocupação do solo indicaram que paisagens de vegetação
350 média e alta, em períodos sazonais regulares, evitam cheias e os cenários de vegetação baixa
351 e agropecuária, e antropização e solo exposto, nos períodos sazonais regulares, aumentam as
352 cheias. Estes resultados inferem a importância de regiões com cobertura de vegetação média
353 e alta para evitar cheias intensas em regiões com alto índice de solo exposto, residencial, vege-
354 tação baixa e agropecuária. As modificações da cobertura do solo são processos inevitáveis do
355 desenvolvimento urbano, mas se estes forem realizados com base em estudos e planejamento,
356 eventos extremos podem ser mitigados, por exemplo, a construção de bosques florestados em
357 centros urbanos e em regiões de agropecuária extensiva podem ajudar na diminuição de cheias
358 em períodos de altos volumes de precipitação. Já, os resultados para as simulações de cenários
359 com alterações extremas no regime de precipitação e temperatura média do ar inferiram que
360 mudanças significativas na precipitação tanto para crescimento como para decréscimo afetam
361 o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, sendo que para o caso de crescimento,
362 o efeito é mais significativo. Tais cenários, caso venham a ocorrer, devido mudanças no sistema
363 climático terrestre, serão impactantes para as sociedades e sistemas ambientais. No geral, todos
364 os resultados obtidos neste trabalho foram de encontro a resultados publicados na literatura.
365 Pretende-se realizar em trabalhos futuros simulações de combinações de cenários de uso e ocu-
366 pação do solo e alterações de precipitação e temperatura média do ar.

367

368 **AGRADECIMENTOS**

369 Agradecemos a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao autor principal deste

370 artigo; aos desenvolvedores do MGB-IPG e responsáveis pelo fórum online do modelo pela
371 assistência e esclarecimento de dúvidas quanto ao uso da ferramenta; e aos membros do Labo-
372 ratório de Estudos Ambientais da UFOPA, prof. Dr. Rodrigo da Silva, prof. Dr. José Mauro de
373 Sousa Moura e prof. Mesc. Roseilson do Vale.

374

375 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

376 ABREU, S. F.; COSTA, J. P. F.; ROLIM, P. A. M. Comportamento da TSM e anomalia da
377 precipitação durante os eventos do El Niño 82/83 e 97/98, no regime de precipitação das cidades
378 de Belém, Santarém e Manaus. **In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia,**
379 Fortaleza. Disponível em < http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/45_86466.pdf >.

380

381 ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes
382 de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos**
383 **Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 69-79, 2013.

384

385 BALTOKOSKI, V. *et al.* Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas
386 sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro–Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciência do**
387 **Solo**, v. 34, n. 1, p. 253-261, 2010.

388

389 BAYER, D. M.; COLLISCHONN, W. Análise de sensibilidade do modelo MGB-IPH a mudanças
390 de uso da terra. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 18 n.3 – Jul/Set
391 2013, 165-179.

392

393 BLAINSKI, E. *et al.* Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá
394 utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 24, n.
395 1, 2011.

396

397 BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of veg-

398 etation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.55, p.2-23, 1982

399

400 BRUIJNZEEL, L.A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A State**
401 **of Knowledge Review**. Amsterdam: Unesco/IAHS, 1990. 224p.

402

403 CARAM, R. O. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do Rio**
404 **Piracicaba**. 2010. 140 p. 2010. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-
405 Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

406

407 COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. Tese de Doutorado.
408 Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

409

410 COLLISCHONN, W. *et al.* The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling.
411 **Hydrological Sciences Journal**, Oxford, v. 52, n. 5, p. 878–895, Oct. 2007.

412

413 DA PAZ, A. R. *et al.* **Análise de sensibilidade da evapotranspiração anual calculada pelo**
414 **modelo hidrológico MGB-IPH relativa ao parâmetro capacidade de armazenamento do**
415 **solo**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013

416

417 DE OLIVEIRA, F. P. *et al.* **Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos**
418 **sob condições de uso e manejo do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,
419 v. 16, n. 4, p. 337-346, 2012.

420

421 FAN, F. M. *et al.* 2010a. **Manual de definição de unidades de resposta hidrológica (blocos)**
422 **do modelo MGB-IPH**. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do
423 Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 23 p.

424

- 425 FAN, F. M. *et al.* 2010b. **Manual do PrePro-MGB para aplicação do modelo MGB-IPH.**
426 Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico,
427 FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 17 p.
428
- 429 FAN, F. M. **Acoplamento entre modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica:**
430 **integração do modelo MGB-IPH.** 2011.
431
- 432 FAN, F. M. *et al.* **Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais**
433 **de elevação.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos.[Links], 2013.
434
- 435 FEARNSSIDE, P. M. **As usinas hidrelétricas mitigam o efeito estufa?: o caso da barragem**
436 **de Curuá-Una.** Manaus: INPA, 2004.
437
- 438 JUNK, W. J. *et al.* **Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira**
439 **represa hidrelétrica na Amazonia Central [Brasil].** Acta Amazonica, 1981.
440
- 441 KAYANO, M. T.; MOURA, A. D. 1986: **O El Niño de 1982 - 1983 e a precipitação sobre a**
442 **América do Sul.** Revista Brasileira de Geofísica, 4 (1-2); 201- 214.
443
- 444 LAWSON, T.L.; LAL, R.; ODURO AFRIYE, K. Rainfall redistribution and microclimatic
445 changes over a cleared watershed. In: LAI, R.; RUSSELL, W. (Eds.). **Tropical Agricultural**
446 **Hydrology.** Nova Iorque: J. Wiley, 1981. p.141-151
447
- 448 NETO, A. R. **Simulação hidrológica na Amazônia: rio Madeira.** 2006. Tese de Doutorado.
449 Universidade Federal do Rio de Janeiro.
450
- 451 PONTES, P. R. M. *et al.* **Análise da sensibilidade da vazão do rio Paraná a potencial alter-**

452 **ação da precipitação.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.

453

454 RODRIGUES, T. E. *et al.* **Levantamento exploratorio-reconhecimento de alta intensidade e**
455 **aptidão agrícola dos solos da area compreendida entre os km 81 e 152 da Rodovia Santarem-**
456 **Cuiaba e o Rio Curua-Una.** 1980.

457

458 SILVEIRA, C. W. **Análise de sensibilidade de vazões a alterações de precipitação na bacia**
459 **hidrográfica do rio Carinhanha.** TCC, 2015.

460

461 TAVARES, M. G. da C. A dinâmica espacial da rede de distribuição de energia elétrica no Estado
462 do Pará (1960-1996). **Ateliê Geográfico**, v. 1, n. 1, 2007.

CAPÍTULO II

ESTUDOS GEO-HIDROLÓGICOS DA BACIA DO RIO CURUÁ-UNA, SANTARÉM, PARÁ: APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO DE GRANDES BACIAS (MGB-IPH).¹

Daniel Alves Jati
Júlio Tota da Silva

¹ Capítulo escrito dentro das normas da revista Acta Amazônica, ISSN 1809-4302, após revisão o mesmo será traduzido para a língua inglesa e submetido ao periódico.

Estudos geo-hidrológicos da bacia do rio Curuá-Una, Santarém, Pará: Aplicação do modelo hidrológico de grandes bacias (MGB-IPH).

463 RESUMO

464 O desenvolvimento urbano ou rural acarreta pressão antrópica sobre os corpos hídricos, podendo
465 gerar problemas ambientais, sociais e econômicos, em nível local e, em alguns casos, também em
466 nível global através da contribuição na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera. Para
467 tentar mitigar os impactos dos projetos desenvolvimentistas precisa-se, primeiramente conhecer
468 características da bacia hidrográfica a ser estudada. O objetivo deste trabalho é caracterizar
469 aspectos relacionados a geo-hidrologia, morfologia e morfometria da bacia hidrográfica do rio
470 Curuá-Una, Santarém, Pará, concomitantemente, avaliar a influencia das modificações de uso e
471 ocupação do solo ocorridas na bacia entre 1985 e 2015 no regime hídrico. Para isso utilizou-se
472 o *software* ArcGis, imagem LANDSAT, modelo digital de elevação e *plugin* MGB-IPH. Os
473 principais resultados obtidos foram: delineamento da área de drenagem com valor de 17.351,34
474 km² e largura máxima = 125,78 km; as classificações de uso e ocupação do solo apresentaram
475 que a classe vegetação média e alta sofreu redução de 10,76%, e a classe antropização e solo
476 exposto aumento de 8,52% entre 1985 e 2015; o tipo de solo latossolo amarelo abrange uma área
477 de 833,64 km²; a malha de drenagem tende acumular escoamento com alta intensidade no rio
478 Curuá-Una, rio Moju, igarapé do Moju e igarapé do Puraquê. Os resultados para a avaliação da
479 influencia das mudanças do uso e ocupação do solo no regime hídrico mostraram que a influencia
480 não é significativa na escala da bacia. A caracterização da bacia do Curuá-Una possibilitou
481 geração de base de dados capazes de descrever o comportamento hidrológico da região e, dados
482 métricos importantes para demarcação de espaços em tomadas de decisões.

483 **Palavras-chave:** Pressão antrópica, problemas ambientais, bacia hidrográfica, malha de drenagem.

484

485 ABSTRACT

486 Urban or rural development entails anthropic pressure on water bodies and can generate environ-
487 mental, social and economic problems at the local level and in some cases also at the global level
488 through contribution to the emission of greenhouse gases into the atmosphere. In order to try to
489 mitigate the impacts of the development projects, it is necessary first to know the characteristics

490 of the hydrographic basin to be studied. The objective of this work is to characterize aspects
491 related to geohydrology, morphology and morphometry of the Curuá-Una river basin, Santarém,
492 Pará, concomitantly, to evaluate the influence of land use and occupation changes occurring in
493 the basin between 1985 and 2015 in the Water regime. For this we used the ArcGis software,
494 LANDSAT image, digital elevation model and MGB-IPH plugin. The results obtained were:
495 drainage area delineation of 17,351.34 km² and maximum width = 125.78 km; The classifica-
496 tions of land use and occupation showed that the middle and high vegetation class suffered a
497 reduction of 10.76%, and the anthropogenic and soil class increased by 8.52% between 1985
498 and 2015; The type of yellow latosol soil covers an area of 833.64 km²; The drainage network
499 tends to accumulate flow with high intensity in the Curuá-Una river, Moju river, Moju stream
500 and Puraquê stream. The results for the evaluation of the influence of the changes of the use and
501 occupation of the soil in the water regime showed that the influence is not significant in the scale
502 of the basin. The characterization of the Curuá-Una basin made possible the generation of base
503 data capable of describing the hydrological behavior of the region and important metric data for
504 space demarcation in decision-making.

505 **Keywords:** Anthropogenic pressure, environmental problems, hydrographic basin, drainage
506 network.

507

508 1. INTRODUÇÃO

509 Uma bacia hidrográfica pode ser entendida como uma área geográfica onde ocorrem
510 processos do ciclo hidrológico significativos a ponto de influenciar o fluxo de material sólido e
511 líquido para um canal hídrico principal e seus afluentes (Pinto *et al.*, 1976; Borman e Linkens
512 *apud* de Oliveira, 2012; Guerra, 1997). A evolução temporal desse escoamento é complexa
513 e depende de características geológicas, tipos de solo e cobertura do solo (Porto, 1995). As
514 características geológicas influenciam a formação de reservatórios naturais, canais de drenagem e
515 fluxo subterrâneo; os tipos de solos intervêm no modo como um certo volume de água depositado
516 na superfície infiltrará, percolará, ou mesmo no modo como a água infiltrada será armazenada
517 em camadas abaixo da superfície. Outras características interessantes do tipo de solo é sua
518 importância no ciclo hidro-sedimentológico e, estudos de erosão e assoreamento; o tipo de

519 cobertura do solo interfere na qualidade e quantidade do escoamento e no armazenamento de água
520 no solo (Vitte e de Mello, 2007). Nos estudos geo-hidrológicos a utilização de produtos e técnicas
521 de sensoriamento remoto e geoprocessamento nas análises ambientais se apresentam como
522 ferramentas úteis na geração de base de dados e informações que podem servir de base documental
523 em tomadas de decisões e de entrada em modelos hidrológicos distribuídos, cujo resultado destes,
524 também podem ser base em tomadas de decisões, como por exemplo, no planejamento urbano e
525 outorga do uso da terra. As expansões sem planejamento de cidades possuem como características
526 a ocupação incorreta do solo e o mau uso dos recursos hídricos. Estes dois eventos antrópicos
527 acarretam modificações nas bacias hidrográficas e nos seus cursos naturais. O impacto da
528 urbanização influencia no regime hidrológico, sendo que inúmeras cidades registram problemas
529 de inundações devido ao aumento do escoamento superficial, ocasionado pelo revestimento das
530 bacias de drenagem através da impermeabilização (Fritsch, 2013), ou mesmo assoreamento
531 de corpos hídricos ocasionado pela retirada da mata ciliar (Esteves, 1988). Para Gomes *et*
532 *al.* (2008) discutir e propor soluções para estes problemas, visando a melhor conservação dos
533 recursos hídricos, tanto nos meios urbanos quanto rural, são pontos imprescindíveis nas pautas
534 de planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Segundo Collischonn (2001) o passo inicial em
535 estudos hidrológicos é a caracterização da bacia hidrográfica, ou seja, deve-se obter informações
536 pedológicas, topográficas, físicas e climatológicas da região de interesse.

537 O objetivo deste trabalho é caracterizar geo-hidrologicamente a bacia hidrográfica do
538 rio Curuá-Una, localizado na região de Santarém, estado do Pará, e verificar a influencia das
539 alterações no uso e ocupação do solo, via modelagem hidrológica, no regime de vazão da bacia.

540

541 **2. MATERIAL E MÉTODOS**

542 **2.1. Caracterização da Área de Estudo**

543 O rio Curuá-Una (Figura 15) tem início nas proximidades da Serra do Cachimbo, abrange
544 uma região de diferentes tipos de coberturas do solo. O rio é caracterizado como águas claras,
545 porém, nas proximidades da Usina Hidrelétrica, devido à grande quantidade de matéria orgânica
546 em decomposição, o rio possui águas negras. Por toda extensão do rio, comunidades tradicionais,
547 latifundiários, fazendeiros e cidades se utilizam dele para algum proveito, seja para pesca ou para

548 geração de energia, pois nele está localizado a Usina Hidrelétrica Curuá-Una, mais precisamente
 549 na Cachoeira do Palhão, 70 km a Sudeste de Santarém.

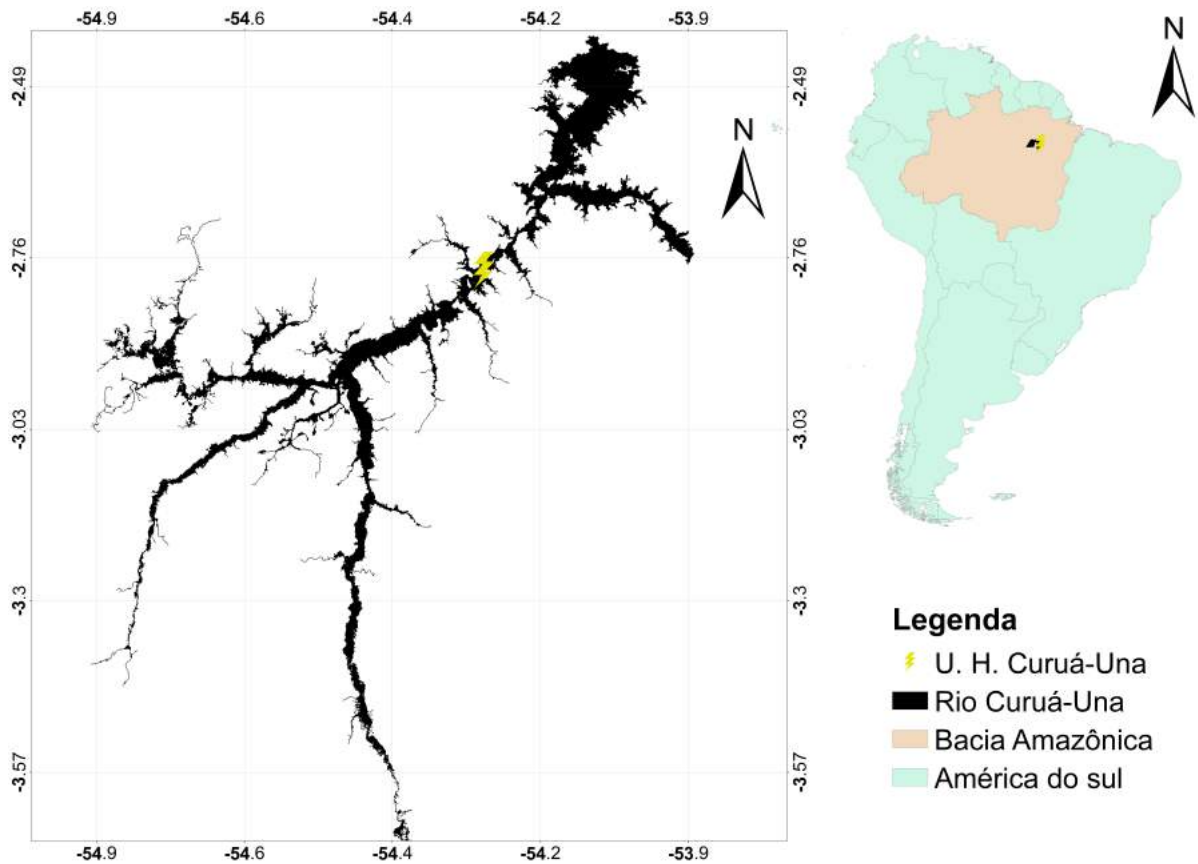


Figura 15 – Mapa de localização do rio Curuá-Una. Fonte: Acervo do autor.

550 2.2. Caracterização dos Procedimentos

551 O trabalho foi dividido em duas etapas, primeiramente caracterizou-se geo-hidrologicamente
 552 a bacia, classificou-se o uso e ocupação do solo e as unidades de respostas hdrológicas em 1985
 553 e em 2015, estes procedimentos foram denominados “Etapa 01”. Já na “Etapa 02” realizou-se
 554 simulações do regime de vazão da bacia do Curuá-Una.

555 2.2.1. Etapa 01

556 Para geração dos produtos geo-hidrológicos da região utilizou-se o Modelo Digital de
 557 Elevação – MDE, produto do *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM*, com resolução espacial
 558 de 90 m e o algoritmo ArcHydro acoplado à plataforma de Sistema de Informações Geográficas
 559 ArcGis.

560 As classificações de uso e ocupação do solo da bacia do Curuá-Una foram realizadas sobre

561 camadas RGB da região, imageadas pelo satélite LANDSAT 5 (sensor TM) em 1985 e 8 (sensor
562 OLI) em 2015. O *software* utilizado foi o ArcGis e, o método foi a classificação supervisionada
563 pela Máxima Verossemelhança.

564 Para caracterização das unidades de respostas hidrológicas utilizou-se os produtos das
565 classificações de uso e ocupação do solo e camada de levantamento pedológico descarregado do
566 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. O *software* utilizado nesta etapa também
567 foi o ArcGis e os métodos foram *Combine* e *Reclassify*. O sistema de coordenadas e Datum
568 utilizado em todo o trabalho foi WGS 84. As *paths* e *row* utilizadas para gerar o mosaico foram
569 227, 062/063, e a escala foi 1 : 10 km.

570 2.2.2. Etapa 02

571 Nas fases de calibração e validação utilizou-se o *geodatabase* com informações geo-
572 hidrológicas, para restringir os cálculos dentro dos limites da bacia, o *Software* MapWindow GIS,
573 *plugin* IPH Hydro Tools, *plugin* MGH-IPH, Excel, Parâmetros fixos e Parâmetros calibráveis.
574 Estes procedimentos foram realizada com dados observados de vazão no posto de medição
575 18121006 da Agencia Nacional das Águas - ANA, localizado a jusante da barragem da Usina
576 Hidrelétrica do Curuá-Una, e dados de espacializados de chuva e clima do sistema *Soil and*
577 *Water Assessment Tool* - SWAT. O período definido para realização da calibração e validação foi
578 entre 1979 e 1985, este período foi escolhido devido a falta de dados observados de vazão para
579 a região em estudo, pois por toda extensão da bacia, somente o posto de observação utilizado
580 possui dados, e estes são limitados e com falhas. O cenário de validação foi nomeado como
581 “1985” e o cenário de simulação com modificações de uso do solo foi nomeado de “2015”.

582 O produto da validação foi utilizado como cenário controle para avaliar a influencia
583 das modificações de uso e ocupação do solo na bacia do rio Curuá-Una entre 1985 e 2015 no
584 comportamento hidrológico da bacia. Este procedimento foi realizado através das comparações
585 do hidrograma controle, gerado a partir da matriz de unidades de respostas hidrológicas de 1985,
586 com o hidrograma calculado com base na matriz de unidades de resposta hidrológicas de 2015.
587 A única variável alterada para realização dessa comparação foi o uso e ocupação do solo, todas
588 as outras permaneceram fixas.

589 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

590 3.1. Etapa 01

591 Os resultados métricos da bacia (Tabela 10) mostram a extensão territorial e geográfica
 592 da bacia. Com estes resultados, e conforme categorizações de bacias apontadas por Collischonn
 593 (2001) e Tucci (2003), pode-se aferir que a bacia do Curuá-Una é uma grande ou meso bacia. O
 594 polígono de delineamento da bacia que representa visualmente toda extensão territorial capaz de
 595 influenciar significativamente no comportamento hidrológico do rio Curuá-Una está apresentado
 596 na Figura 16, juntamente com os principais corpos de água da região.

Tabela 10 – Resultados métricos para o polígono da bacia do rio Curuá-Una.

Classes	Valores	Unidades
Norte	-2,495	Grau decimal
Sul	-4,469	Grau decimal
Oeste	-55,173	Grau decimal
Leste	-53,914	Grau decimal
Comprimento máximo	216,08	km
Largura máxima	125,78	km
Área	17.351,34	km ²

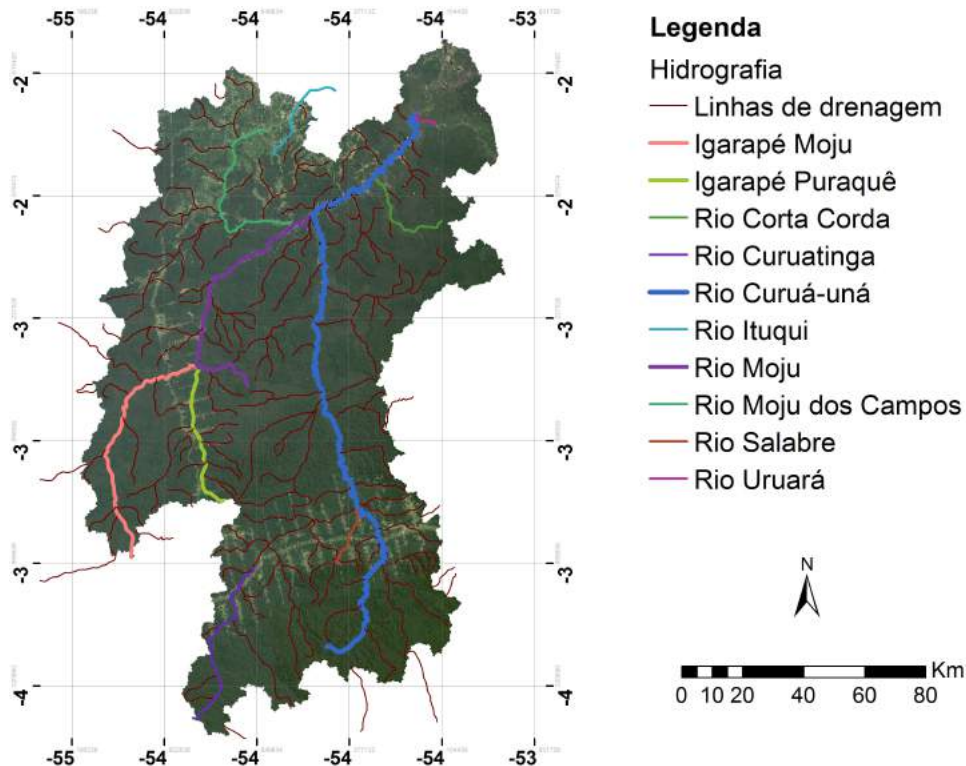


Figura 16 – Polígono da bacia do rio Curuá-Una gerado através de algoritmo *ArcHydro*.

598 representa um membro importante para a bacia principal, por exemplo, igarapé, afluente, enseada,
 599 lago etc. As representações geográficas de cada mini bacia combinadas com a camada do modelo
 600 digital de elevação da região está apresentada na Figura 17 e, as áreas individuais de cada mini
 601 bacia estão dispostas na Tabela 11.

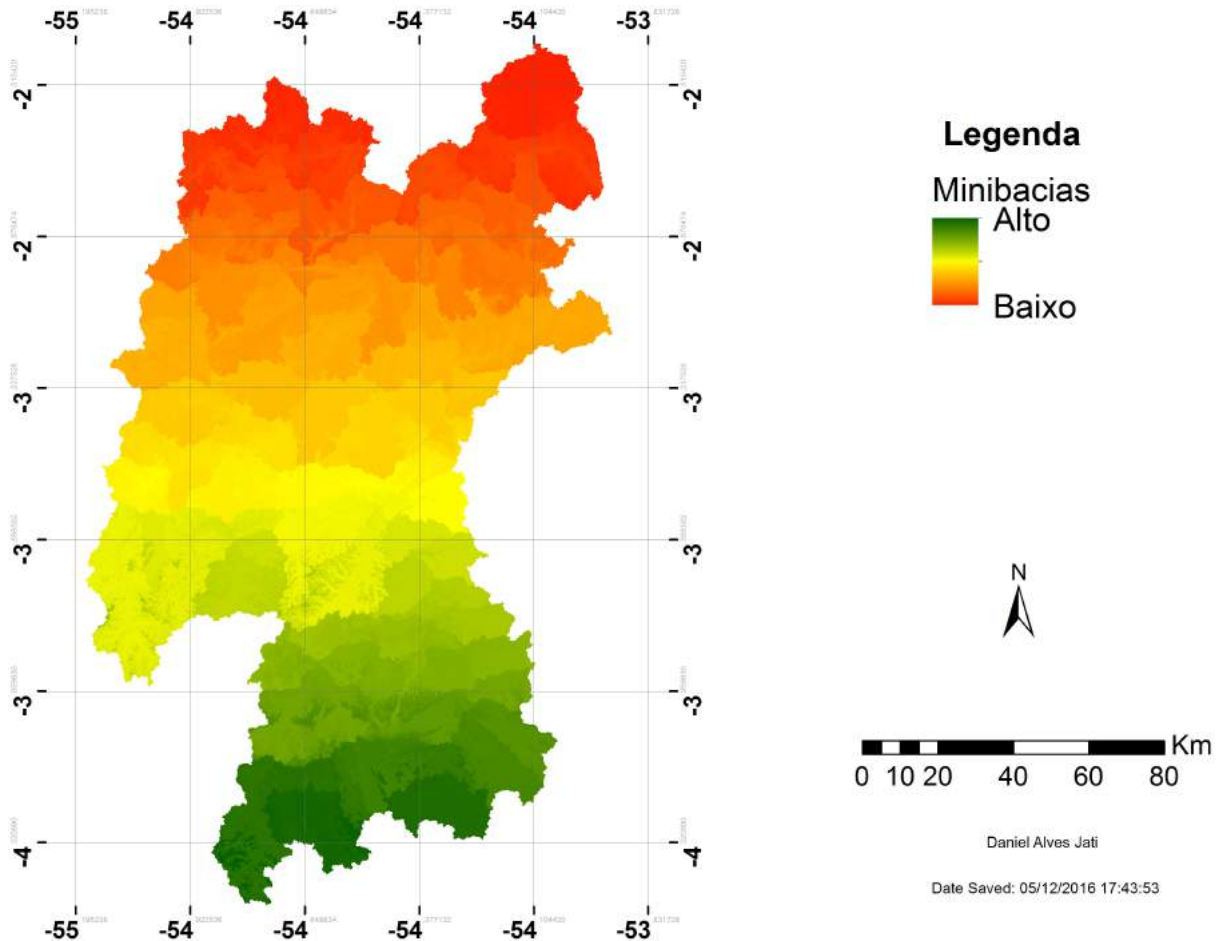


Figura 17 – Produto da combinação da camada do modelo digital de elevação (SRTM) com a camada de mini bacias que drenam segmentos de escoamento por toda a bacia principal. A legenda indica que quanto mais para o verde maior é a altitude e quanto mais para o vermelho mais baixo é a altitude.

602 A Figura 17 indica que a topografia na parte sul da bacia possui maior elevação e que as
 603 linhas de drenagem são influenciadas pelo relevo local de modo que cada mini bacia transmite
 604 escoamento para outra adjacente, ocasionando perda de carga hidráulica do sul para o norte.
 605 A malha de drenagem não é contínua sul-norte, mas sim, devido irregularidades do terreno,
 606 o escoamento sofre desvios de coordenadas em diversas mini bacias, isto pode ser melhor
 607 visualizado na Figura 18. Mas, no geral, considerando-se o fluxo da bacia principal, o escoamento
 608 se dá das regiões de maiores para as de menores latitudes. Os valores de cada mini bacias estão
 609 na Tabela 11.

Tabela 11 – Áreas individuais de cada mini bacia.

Nº	Área (km ²)	Nº	Área (km ²)	Nº	Área (km ²)	Nº	Área (km ²)	Nº	Área (km ²)
1	0,42	30	81,48	59	124,73	88	183,08	117	486,37
2	0,46	31	81,82	60	126,08	89	185,34	118	555,36
3	0,50	32	81,94	61	128,90	90	185,78		
4	1,47	33	84,06	62	129,26	91	188,01		
5	2,82	34	85,25	63	129,59	92	205,18		
6	3,27	35	91,06	64	131,24	93	208,60		
7	4,57	36	92,48	65	131,73	94	209,17		
8	5,64	37	94,63	66	132,04	95	217,48		
9	5,68	38	95,03	67	133,25	96	229,50		
10	10,3	39	96,15	68	143,05	97	235,27		
11	12,02	40	497,17	69	143,18	98	256,21		
12	12,19	41	98,07	70	144,82	99	266,08		
13	15,52	42	99,21	71	144,84	100	268,33		
14	16,15	43	99,80	72	146,82	101	285,33		
15	21,98	44	101,26	73	148,88	102	298,28		
16	22,15	45	104,39	74	149,14	103	298,88		
17	24,80	46	105,22	75	152,23	104	301,43		
18	27,58	47	105,97	76	153,83	105	303,86		
19	31,13	48	106,81	77	155,00	106	308,16		
20	33,27	49	110,18	78	155,42	107	329,97		
21	34,42	50	110,22	79	157,84	108	332,08		
22	35,42	51	113,17	80	162,02	109	335,03		
23	36,78	52	113,29	81	164,62	110	337,70		
24	45,84	53	113,46	82	165,51	111	346,55		
25	51,04	54	117,49	83	167,66	112	352,10		
26	59,42	55	119,76	84	169,17	113	380,85		
27	68,00	56	120,21	85	173,97	114	393,65		
28	72,82	57	122,27	86	175,05	115	407,02		
29	76,13	58	123,46	87	179,34	116	440,39		

610 O conceito de mini bacia não se trata de categorização quanto a extensão territorial da
611 bacia, mas sim de uma abordagem metodológica de subdivisão para processamento computacional.
612 Esta abordagem cresceu nos estudos em hidrologia, principalmente, após o acoplamento de
613 plataformas de SIG com plataformas de modelos hidrológicos (Da Paz *et al.*, 2011). Exemplos
614 de trabalhos de hidrologia que utilizam este método de discretização podem ser encontrados em
615 Allasia *et al.* (2006), Neto *et al.* (2006) e Fan *et al.* (2014).

616 A Figura 18 apresenta a complexidade da malha de drenagem através de setas que indicam
617 as direções de fluxo. A legenda de gradiente em escala de cinza na figura simboliza que quanto
618 mais para o branco a probabilidade de acúmulo de escoamento será alta e quanto mais para o preto
619 a probabilidade será baixa, assim, observa-se que a maior probabilidade de acúmulo é o canal

620 de drenagem do rio Curuá-Una localizado nas coordenadas $-54,363$ S e $-2,859$ O. Existem
 621 também grandes probabilidades, porém com menores intensidades, no rio Moju ($-54,689$ S
 622 e $-3,406$ O), igarapé do Moju ($-55,096$ S e $-3,363$ O) e igarapé do Puraquê ($-54,646$ S e
 623 $-3,574$ O).

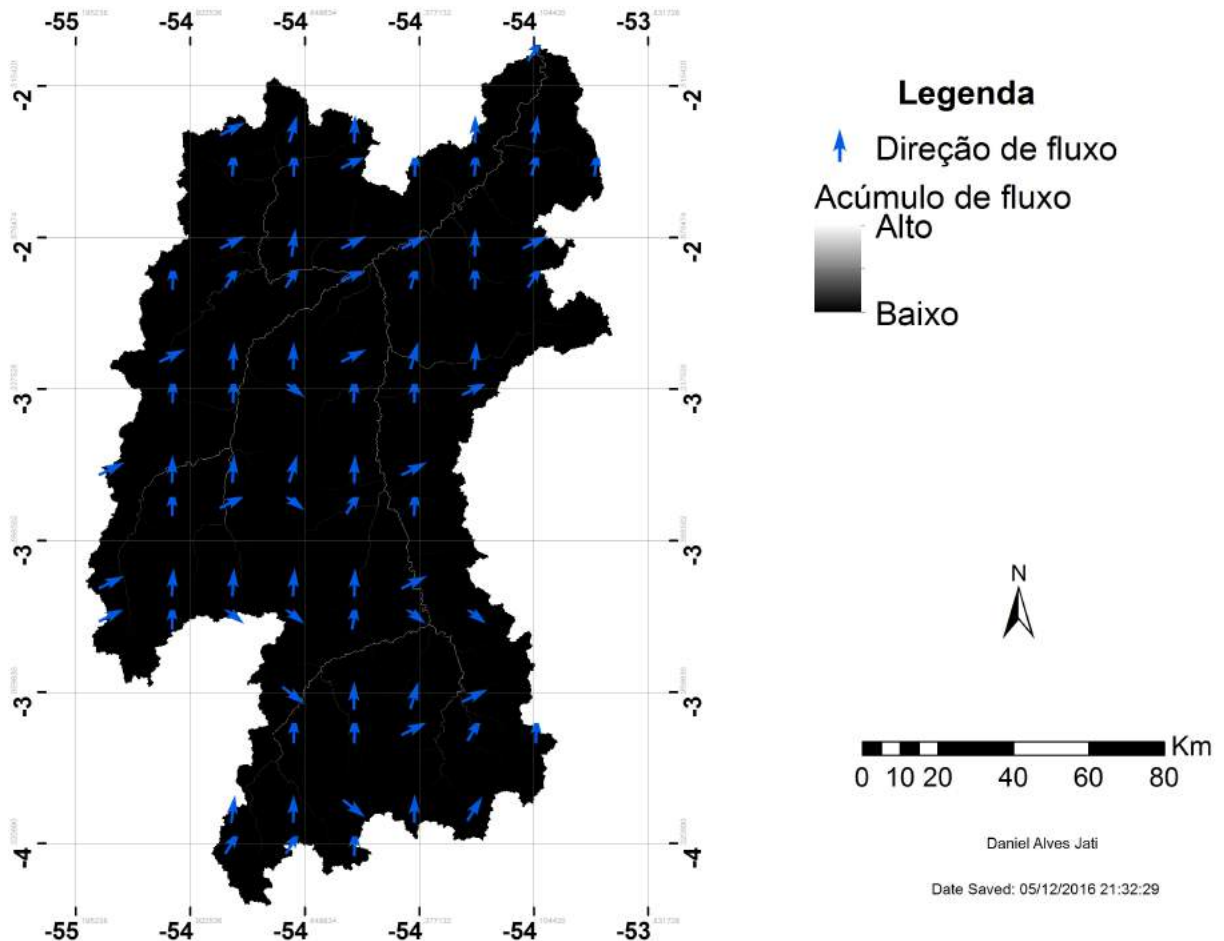


Figura 18 – Produto da superposição entre as camadas de direção de fluxo e acúmulo de fluxo.

624 A Figura 19 apresenta o produto da máscara de tipos de solo extraída a partir do *shapfile*
 625 de pedologia disponibilizado pelo IBGE (Disponível em < <http://mapas.ibge.gov.br/tematicos/solos.html> >, 05 de Outubro de 2016.). As áreas de cada classe de tipo de solo são: Plintossolo
 626 háplico = $143,42$ km², Gleissolo háplico tb = $38,81$ km², Gleissolo háplico ta = $45,38$ km²,
 627 Latossolo amarelo = $11.358,36$ km², Argissolo vermelho-amarelo = $5.263,57$ km², Neossolo
 628 quartzarênico = $377,90$ km² e Neossolo flúvico = $30,84$ km². Estes valores são apresentados em
 629 termos percentuais na Figura 20 para destacar as diferenças significativas da extensão territorial
 630 entre as classes de tipos de solo.
 631

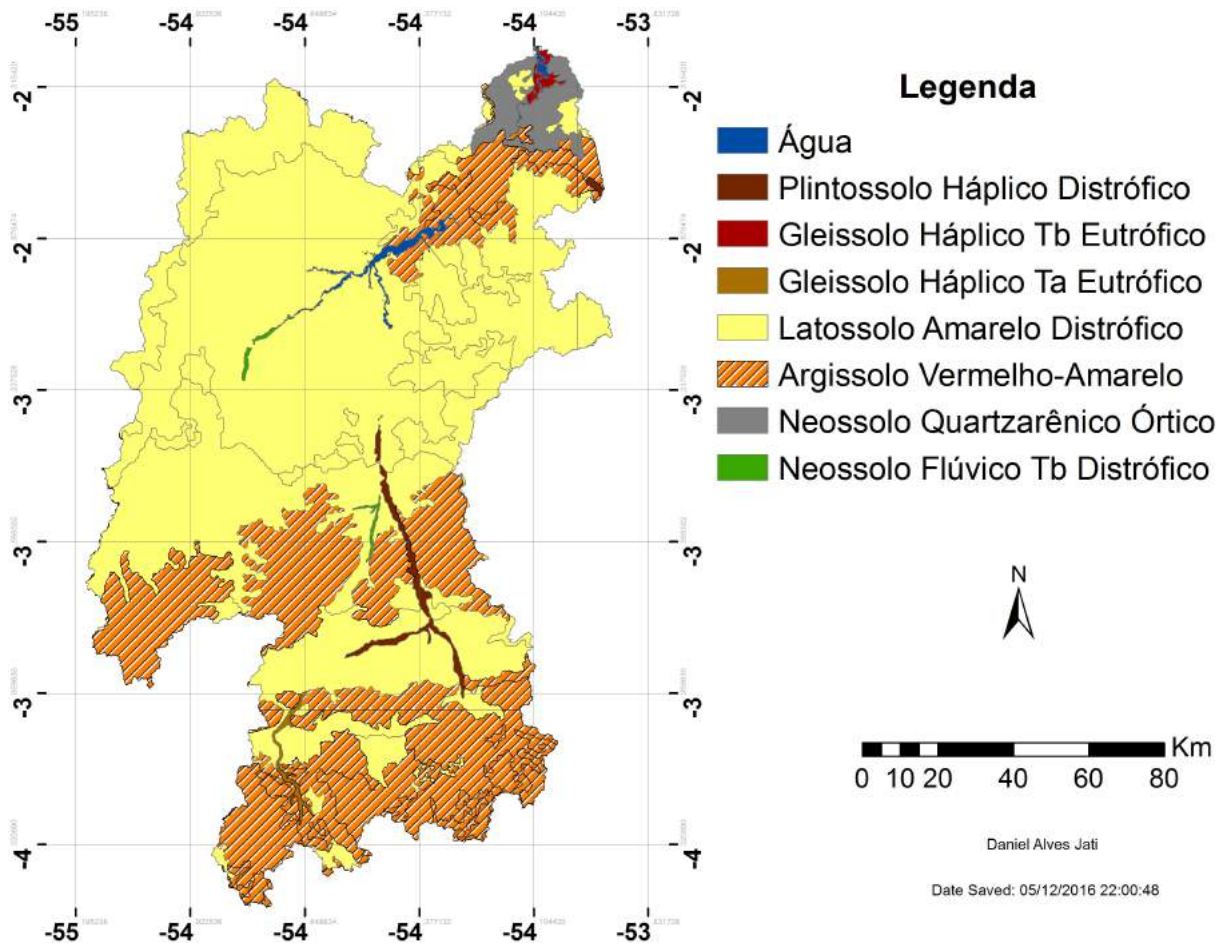


Figura 19 – Máscara de tipos de solo com base em levantamento pedológico disponibilizado pelo IBGE.

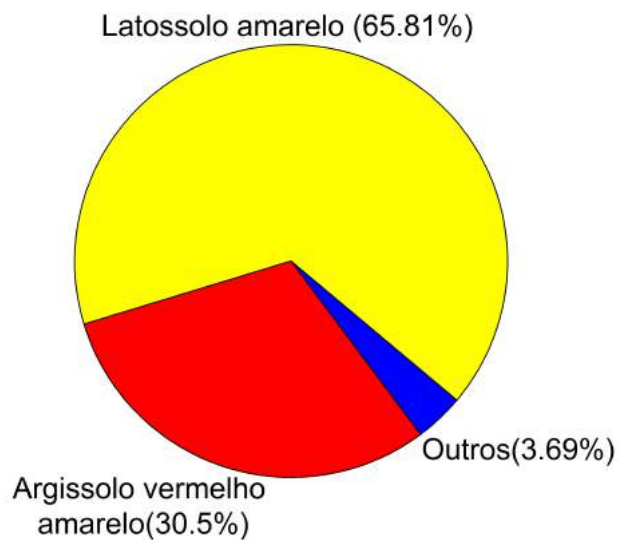


Figura 20 – Gráfico de setores dos percentuais das áreas das classes de tipos de solo.

632 Verifica-se que o tipo de solo com maior extensão territorial é o Latossolo amarelo, e a
 633 classe Argissolo vermelho amarelo possui a segunda maior extensão. Já as classes Gleissolo tb,
 634 Gleissolo ta e Neossolo flúvico apresentaram valores de áreas insignificantes com relação a área
 635 total da bacia.

636 Os produtos de uso e ocupação do solo em 1985 e 2015 (Figura 21) apresentam as
 637 principais classes de tipos de cobertura do solo e a extensão territorial de suas ocorrências em
 638 cada período. As classes foram trabalhadas e agrupadas de acordo com similaridades de respostas
 639 hidrológicas e altura da vegetação. Logo abaixo, na Tabela 12, encontra-se os valores das classes
 640 trabalhadas de uso e ocupação do solo para comparação e verificação das transformações das
 641 paisagens durante o período de 1985 a 2015.

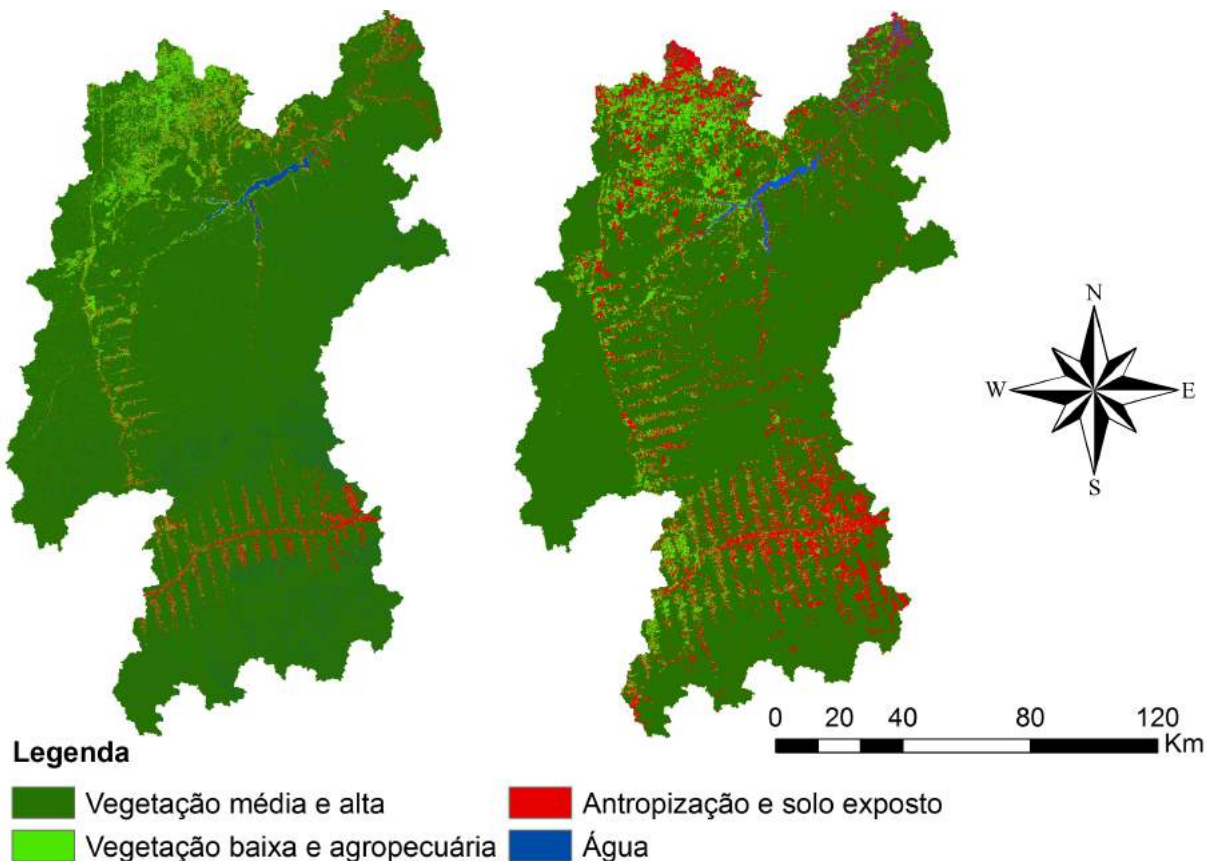


Figura 21 – Comparação da cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Curuá-Una entre 1985 e 2015.

Tabela 12 – Áreas das classes de uso e ocupação de solo em 1985 e em 2015.

Classes de uso e ocupação do solo	ano de 1985	ano de 2015
Vegetação média e alta	14.999, 77 km ²	13.184, 22 km ²
Vegetação baixa e agropecuária	1.040, 23 km ²	1.415, 31 km ²
Antropização e solo exposto	781, 53 km ²	2.214, 00 km ²

642 Observa-se que a paisagem vegetação média e alta possui a maior extensão territorial
 643 nos dois anos estudados, porém, os resultados indicam redução das áreas de vegetação média e
 644 alta e crescimento das paisagens de vegetação baixa, agropecuária, residenciais e solo exposto,
 645 isto deve-se principalmente ao desenvolvimento da cidade de Santarém, Pará, cujo, ocorreu em
 646 paralelo com melhorias na pavimentação da PA-370, que liga Santarém as regiões rurais no
 647 entorno do rio Curuá-Una, desmatamento contínuo e expansão do agronegócio por toda macro
 648 região de Santarém. Os percentuais das áreas de cada classe nos dois anos estudados estão
 649 dispostos na Figura 22.

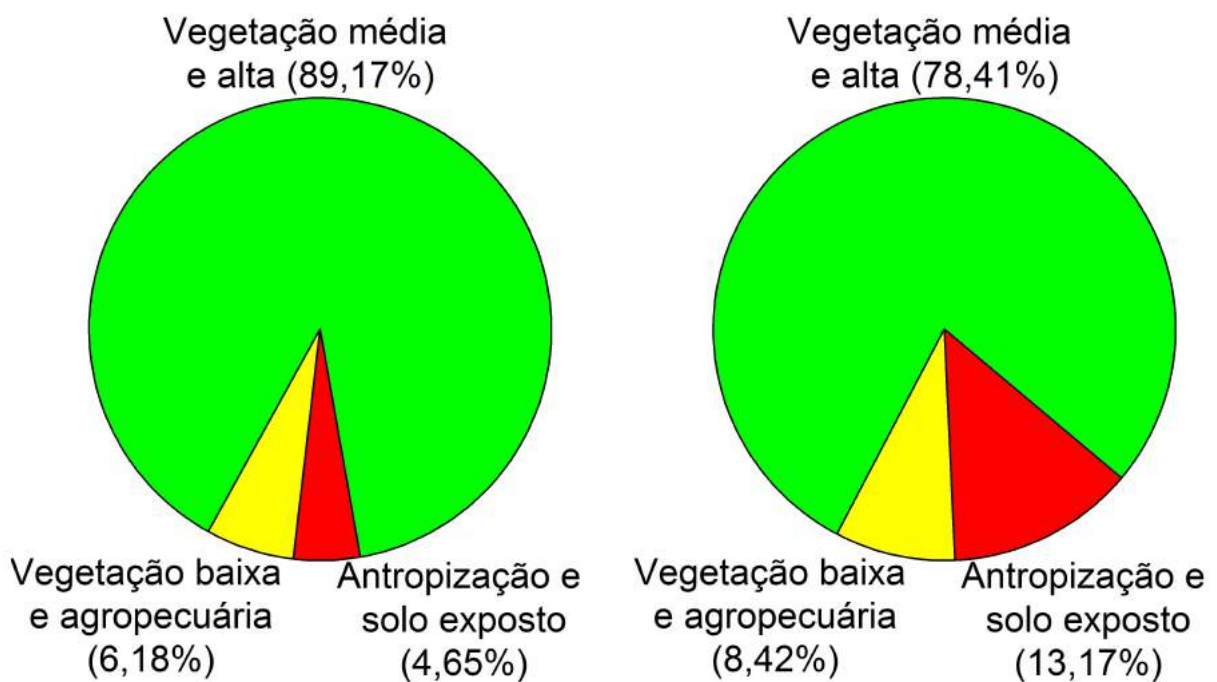


Figura 22 – Da esquerda para a direita: Gráfico de setores dos percentuais das áreas das classes de cobertura do solo da bacia hidrográfica do rio Curuá-Una em 1985 e Gráfico de setores dos percentuais das áreas das classes de cobertura do solo em 2015.

650 O interessante é que apesar do avanço considerável do agronegócio na região a partir
 651 da década de 90, o desmatamento apresentou maior crescente, mas isso deve-se ao protocolo
 652 do agronegócio, que conforme Carvalho (1999) e Fearnside (2001), trata-se de um mecanismo
 653 de exploração dos recursos naturais por meio de uma cadeia produtiva, onde, primeiramente a
 654 indústria madeireira retira a madeira, após a indústria do agronegócio se instala. Outros fatores
 655 para essa ocorrência são o desenvolvimento regional e aumento populacional, pois, estes dois
 656 fatores tem como consequência o crescimento do número de áreas residenciais e estradas.

657 As unidades de respostas hidrológicas foram calculadas considerando-se similaridades
 658 hidrológicas do solo, faixas de altura da vegetação e áreas sem cobertura vegetal (áreas revestidas
 659 com material de construção civil e áreas com solo exposto). Os resultados gráficos para com-
 660 paração das áreas de cada classe de unidades de respostas hidrológicas no ano 1985 com 2015
 661 estão apresentados na Figuras 23 e os resultados métricos estão na Tabela 13.

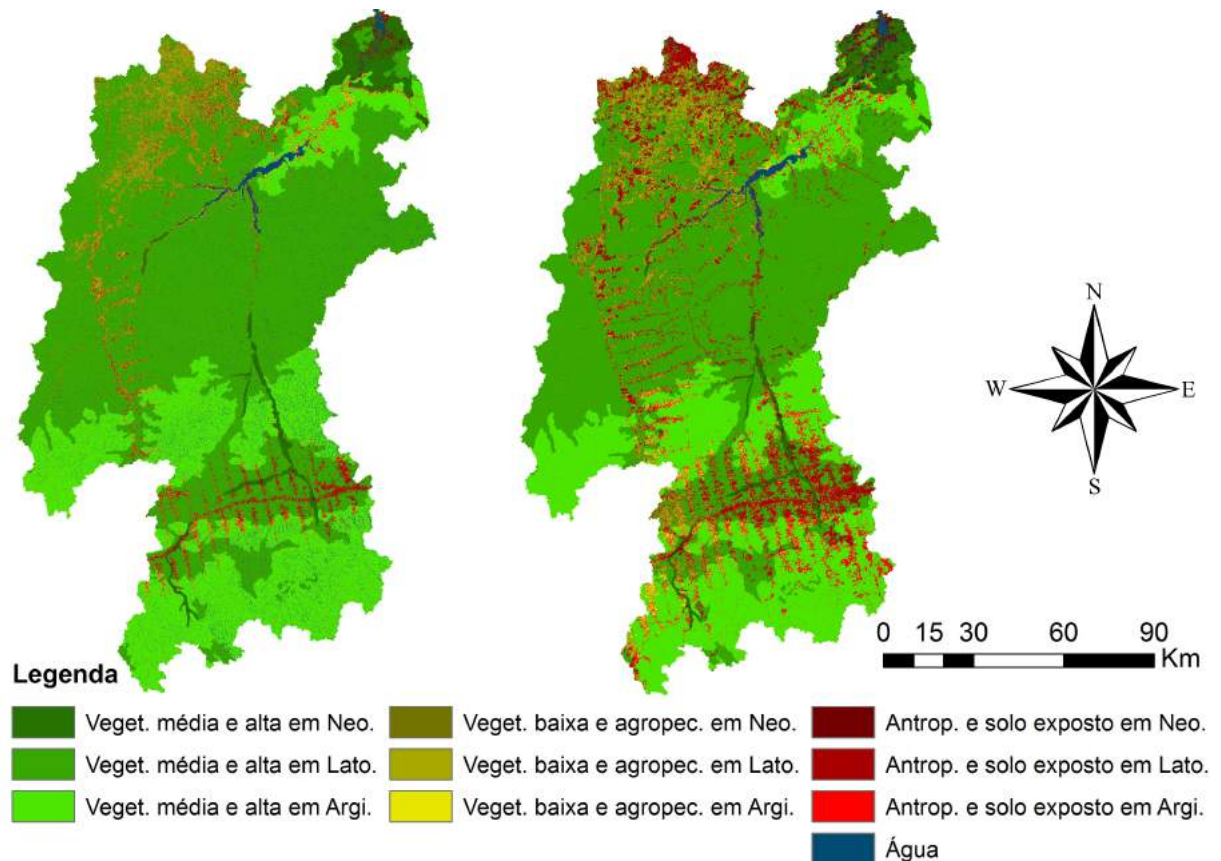


Figura 23 – Mapas de Unidades de Respostas Hidrológicas para comparação da cobertura do solo em cada tipo de solo entre os anos de 1985 (esquerda) e 2015 (direita).

Tabela 13 – Áreas das classes de unidades de resposta hidrológicas para verificação das modificações das paisagens em cada tipo de solo entre 1985 e 2015.

Classes de U. R. H.	Áreas em 1985	Áreas em 2015
Vegetação média e alta em Neossolo	535,04 km ²	454,75 km ²
Vegetação média e alta em Latossolo	9.693,43 km ²	8.606,01 km ²
Vegetação média e alta em Argissolo	4.753,20 km ²	4.504,96 km ²
Vegetação baixa e agropecuária em Neossolo	33,75 km ²	42,82 km ²
Vegetação baixa e agropecuária em Latossolo	922,82 km ²	1.158,74 km ²
Vegetação baixa e agropecuária em Argissolo	77,65 km ²	210,77 km ²
Antropização e solo exposto em Neossolo	62,44 km ²	62,44 km ²
Antropização e solo exposto em Latossolo	547,23 km ²	1.631,74 km ²
Antropização e solo exposto em Argissolo	163,85 km ²	529,93 km ²

662 Os resultados mostram que em 1985 a classe vegetação média e alta em latossolo ocupava
663 quase 56% da bacia e a classe vegetação média alta em argissolo cerca de 27,4%. Estes resultados
664 indicam que 83,26% da área da bacia hidrográfica no ano de 1985 era coberta com vegetação
665 média e alta em terreno argiloso e médio argiloso, o que infere que, uma área extensa da bacia
666 possuía características hidrológicas similares. Estas similaridades, em modelos hidrológicos
667 distribuídos, podem ser representadas por valores muito semelhantes de albedo, índice de área
668 foliar, altura da vegetação, capacidade de armazenamento do solo e resistência superficial, porém,
669 essas semelhanças podem mudar conforme alterações no uso e ocupação do solo. Em 2015 a
670 classe vegetação média e alta em solo argiloso e médio argiloso ainda possui a maior extensão
671 territorial, porém com uma redução de 7,7%, totalizando, então uma extensão de 75,56%.

672 Estes produtos se inserem de modo informativo a respeito da forma como é composta
673 a cobertura do solo da bacia do Curuá-Una, e também apresentam informações relevantes
674 sobre características dos solos, relevo e unidades de respostas hidrológicas. Estes resultados
675 podem auxiliar projetos desenvolvimentistas da região e dar suporte a tomadas de decisões
676 em fiscalizações de desmatamento e conversão da floresta em agropecuária e desmatamento.
677 Estudos semelhantes visando apoiar planos diretores de uso da terra na cidade e no campo foram
678 trabalhados por da Cruz Weiss *et al.* (2013), dos Santos e Petronzio (2011) e Lucas *et al.* (2013).

679 A caracterização morfométrica e morfológica da bacia do rio Curuá-Una também possi-
680 bilitou geração de base de dados matriciais (camadas raster da região) e vetoriais (polígono da
681 bacia) para realização de cálculos de estimativas do regime de vazão da bacia através de modelos
682 hidrológicos distribuídos para avaliar a influencia do uso e ocupação do solo no comportamento
683 hidrológico da bacia, entre outras análises importantes que possam também dar suporte a tomadas
684 de decisões em projetos de desenvolvimento urbano e rural.

685 **3.2. Etapa 02**

686 As comparações entre os resultados morfológicos da bacia do rio Curuá-Una entre 1985
687 e 2015 apresentaram transformações de paisagens, principalmente de vegetação média e alta
688 para antropização e solo exposto. Nesse contexto de mudanças da cobertura do solo em bacias
689 hidrográficas é muito interessante realizar estudos dos impactos dessas transformações sobre os

690 recursos hídricos para prever eventos negativos e tentar mitiga-los.

691 Neste trabalho o estudo da influencia das modificações no uso e ocupação do solo de 1985
 692 a 2015 na bacia do Curuá-Una foi realizado de modo a manter todas as características e parâmetros
 693 da bacia de 1985 para 2015, exceto a matriz de uso e ocupação do solo, e por consequência, a
 694 matriz de unidades de respostas hidrológicas. Primeiramente é apresentado resultados para etapa
 695 de validação do modelo, avaliando-se os resultados das simulações com o hidrograma de dados
 696 observados (Figura 24), no caso, dados de vazão medidos no posto 18121006 entre 1979 a 1985.

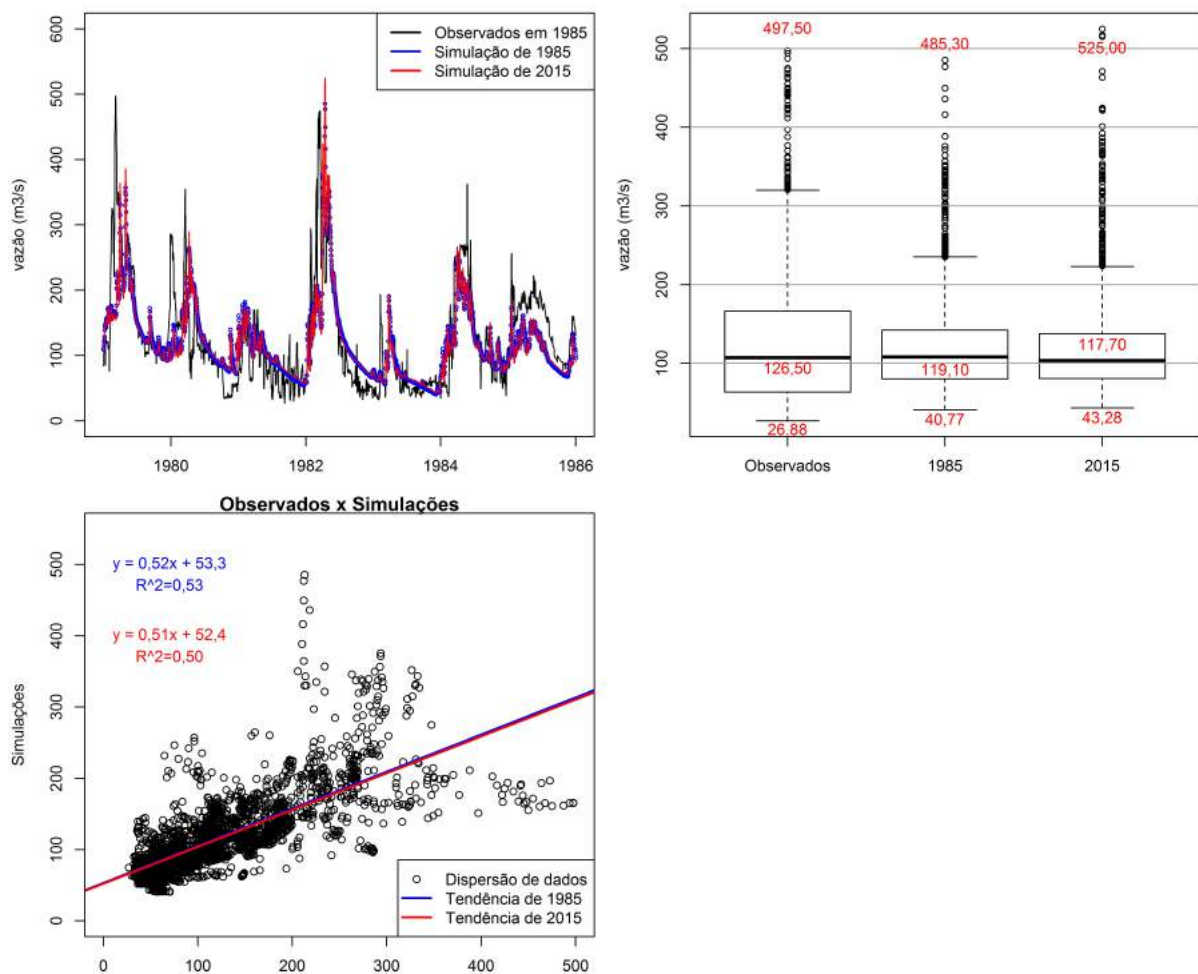


Figura 24 – Comparação entre os hidrogramas simulados com relação ao hidrograma observado no posto de medição da ANA entre 1979 e 1985 (esquerda); Boxplot para avaliação de desvios das vazões mínimas, médias e máximas das simulações com relação ao observado (direita); Gráfico de dispersão dos dados observados com relação as simulações (abaixo).

697 Os resultados para a validação do modelo para o período de 1979 a 1985 foi aceitável,
 698 com número de Nash de aproximadamente 0,53, Nash log de 0,63, erro de volume de $-0,06$,
 699 teste t igual a 3,87 para o intervalo 3,64 : 11,13, e correlação de ajuste linear de 0,53. Os

700 gráficos da Figura 24 apresentam resultados para os dois cenários (1985 e 2015) em relação
701 aos dados observados, porém, a validação foi realizada considerando-se o cenário de 1985 com
702 relação aos dados observados, para, então, tornar o cenário de 1985 um ponto de partida para
703 avaliar a influencia da modificação do solo entre 1985 e 2015 no regime hídrico da bacia do rio
704 Curuá-Una.

705 Através da correlação entre o cenário de 1985 e o de 2015 (Figura 25) é possível observar
706 uma forte relação linear entre os dois cenários.

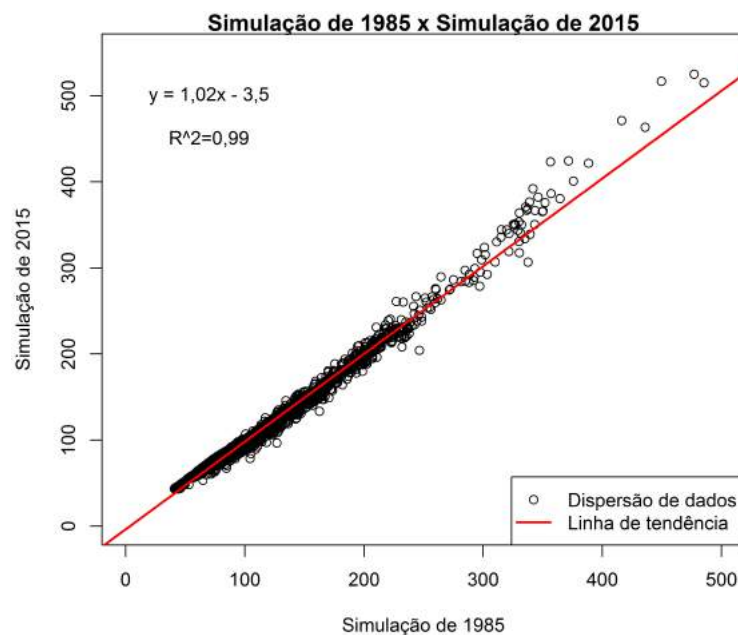


Figura 25 – Correlação entre os cenários simulados para avaliar o desvio linear.

707 O número de Nash para avaliação da relação entre os dois hidrogramas foi de 0,985, erro
708 de volume $-1,14\%$ e teste t igual a 0,85 para o intervalo $-1,76 : 4,47$, o que infere que não
709 houve diferenças significativas entre os cenários. Estes resultados mostram que as transformações
710 de paisagem ocorridas na bacia do Curuá-Una nesse período modificou o regime hidrológico,
711 porém, essas modificações, na escala da bacia, ou seja, meso escala, não foram significativas,
712 contudo, conforme estudos de Tucci (1997) e Rodrigues (2013), bacias pequenas, micro bacias
713 sofrem mais efeitos das mudanças no uso do solo em consideração a grandes bacias, ou seja, a
714 questão da escala da bacia é importante para realizar estes tipos de estudos.

715 Mesmo não havendo diferenças significativas entre os cenários, houve diferenças, e uma
716 maneira interessante de fazer essas análises é através da comparação entre os picos de vazão nos

717 períodos de cheia e nos períodos de seca entre os cenários (Figura 26).

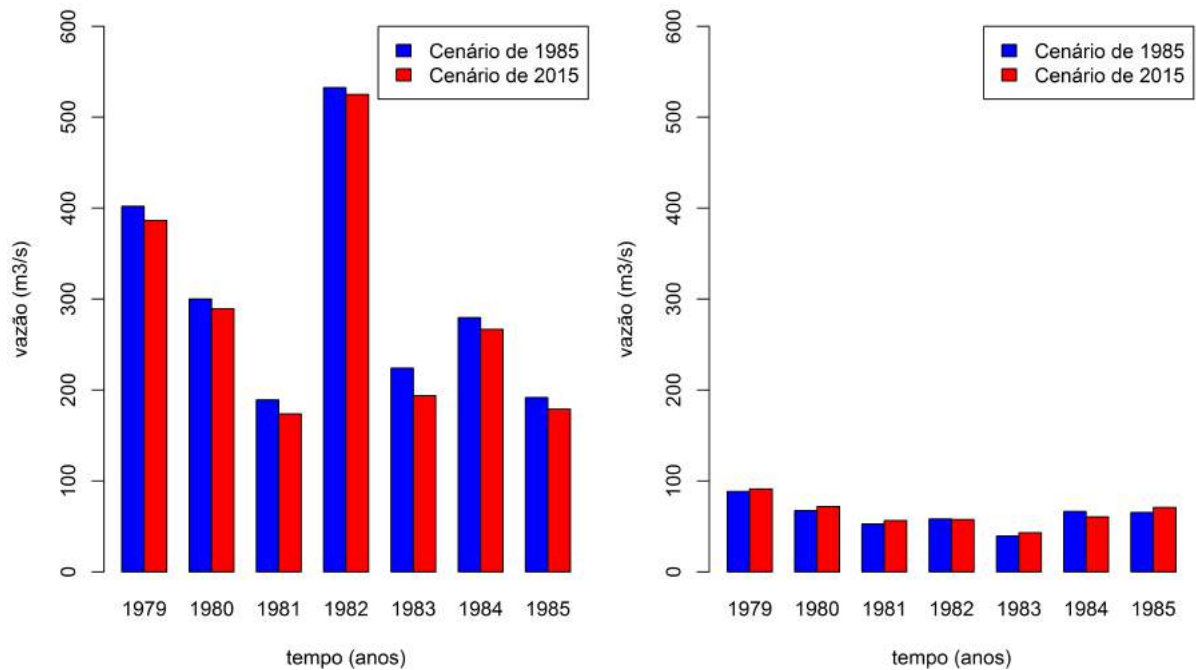


Figura 26 – Picos de vazão no período de cheia (esquerda) e picos de vazão nos períodos de vazante (direita).

718 O gráfico a esquerda na Figura 26 apresenta os picos de vazão máxima nos períodos
 719 de cheia da região para os dois cenários, e através dele pode-se observar que, durante todo o
 720 período estudado, o cenário de 1985 possui maiores valores de vazão, ou seja, as modificações
 721 da cobertura do solo ocorridas entre 1985 e 2015 influenciaram na diminuição da vazão nos
 722 períodos de cheia. Já no gráfico da direita, apresenta-se os picos de vazão máxima ocorridas
 723 nos períodos de vazante, e nele pode-se observar que o cenário de 2015 possui maior valores de
 724 vazão na maioria dos anos estudados, com exceção em 1982 e 1984.

725

726 4. CONCLUSÕES

727 Conclui-se com este trabalho que a caracterização da bacia do rio Curuá-Una possibil-
 728 itou informações relevantes para estudos do comportamento hidrológico da mesma, através
 729 da definição do polígono de delineamento da bacia e matrizes de direção de fluxo, acúmulo
 730 de fluxo, uso e ocupação do solo, e unidades de respostas hidrológicas. As modificações na
 731 cobertura do solo ocorridas na bacia entre 1985 e 2015 não influenciaram significativamente
 732 no comportamento hidrológico na escala da bacia. Pretende-se em trabalhos futuros investigar
 733 a influencia dessas modificações no comportamento hidrológico de micro bacias, podendo ser

734 igarapé, lago, ou algum pequeno afluente da bacia do rio Curuá-Una.

735

736 **AGRADECIMENTOS**

737 Agradecemos a CAPES pela concessão da bolsa de mestrado ao autor principal deste
738 artigo e, aos membros do Laboratório de Estudos Ambientais da UFOPA, prof. Dr. Rodrigo da
739 Silva, prof. Dr. José Mauro de Sousa Moura, prof. Mesc. Roseilson do Vale e Arlan Giorgio.

740

741 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

742 ALLASIA, D. G. *et al.* Large basin simulation experience in South America. **IAHS PUBLICA-**
743 **TION**, v. 303, p. 360, 2006.

744

745 CARVALHO, R. A Amazônia rumo ao “ciclo da soja”. **Amazônia Papers**, v.1, n. 2, 1999

746

747 COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. Tese de Doutorado.
748 Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

749

750 DA CRUZ WEISS, C. V. *et al.* Mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando imagens
751 de satélite do sensor TM/Landsat 5 no litoral sul do Rio Grande do Sul, Brasil., **Anais XVI**
752 **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de
753 abril de 2013, INPE

754

755 DA PAZ, A. R. *et al.* **Discretização de modelos hidrológicos de grande escala: grade regular**
756 **x mini-bacias**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

757

758 DE OLIVEIRA, F. P. *et al.* **Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos**
759 **sob condições de uso e manejo do solo**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,
760 v. 16, n. 4, p. 337-346, 2012.

761

- 762 DOS SANTOS, A. B.; PETRONZIO, J. A. C. Mapeamento de uso e ocupação do solo do
763 município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento. **Anais XV Simpósio**
764 **Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio
765 de 2011, INPE p.6185
766
- 767 ESTEVES, F. de A. Fundamentos de limnologia. In: **Fundamentos de limnologia**. Interciên-
768 cia/Finep, 1988.
769
- 770 FAN, F. M. *et al.* Operational flood forecasting system to the Uruguay River Basin using the
771 hydrological model MGB-IPH. **ICFM-6 proceedings. São Paulo, Brasil, 2014b.**[Links], 2014.
772
- 773 FEARNSIDE, P. M. Efeitos do desmatamento sobre o ciclo hidrológico: uma comparação entre
774 a Bacia do Rio Curua-Una e a Bacia do Rio Uraim, Soybean cultivation as a threat to the envi-
775 ronment in Brazil. **Environmental Conservation**, v.28, n. 1, p.23-38, 2001.
776
- 777 FRITSCH, F. E. D. **Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidro-**
778 **gráfica do alto rio ligeiro, Pato Branco-PR.** 2013.
779
- 780 GOMES, C. R *et al.* **Influência das mudanças no uso e ocupação do solo no comportamento**
781 **hidrológico da bacia do rio Muricizal.** Projeto Final de Curso, Universidade Federal de Viçosa,
782 2008.
783
- 784 GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** Bertrand
785 Brasil, 1997.
786
- 787 LUCAS, E. A.; SCHÄFER, A.; BRANCO, VTA. Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo na
788 Bacia Hidrográfica do Rio Negro-RS Utilizando Imagens de Satélite do Sensor OLI/LANDSAT
789 8. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessa-**

790 **mento e XXV Exposita. 2013.**

791

792 NETO, A. R. *et al.* Hydrological modelling in Amazonia-: use of the MGB-IPH model and
793 alternative databases. **IAHS-AISH publication**, p. 246-254, 2006.

794

795 PINTO, N. L. de S. *et al.* Hidrologia básica. In: **Hidrologia básica**. Edgard Blucher, 1976.

796

797 PORTO, R. L. L. Escoamento superficial direto. **Tucci, Carlos, Porto, Rubem La Laina e Bar-**
798 **ros, Mario. Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS,**
799 **1995.**

800

801 RODRIGUES, J. O. *et al.* Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em
802 função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina
803 Grande, v. 17, n. 3, p. 312-318, 2013.

804

805 TUCCI, C. E.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento:
806 revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.

807

808 TUCCI, C. E. M. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. **Clima e recursos hídri-**
809 **cos no Brasil. ABRH, Porto Alegre**, p. 31-76, 2003.

810

811 VITTE, A. C.; DE MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosivi-
812 dade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico.
813 **Climatologia e estudos da paisagem. Rio Claro**, v. 2, n. 2, p. 107, 2007.

3 SÍNTESE INTEGRADORA

Este trabalho objetivou gerar base de dados que caracterizassem hidrologicamente a bacia do rio Curuá-Una, verificar a influência do uso e ocupação do solo no regime de vazão da bacia através de modelagem hidrológica, e testar a sensibilidade do modelo hidrológico de grandes bacia em cenários de alterações extremas de uso da terra, de precipitação e temperatura média do ar.

No Capítulo 1, cujo título foi “Teste de sensibilidade do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) em cenários de mudanças extremas no uso e ocupação do solo, regime de precipitação e temperatura média do ar”, apresentou-se que o modelo respondeu bem a todas as alterações no uso e ocupação do solo e as modificações realizadas nos *inputs* de precipitação e clima. Os resultados obtidos nas simulações de cenários com modificações extremas no uso e ocupação do solo indicaram que paisagens de vegetação média e alta, em períodos sazonais regulares, evitam cheias e os cenários de vegetação baixa e agropecuária, e antropização e solo exposto, nos períodos sazonais regulares, aumentam as cheias. Estes resultados inferem a importância de regiões com cobertura de vegetação média e alta para evitar cheias intensas em regiões com alto índice de solo exposto, residencial, vegetação baixa e agropecuária. As modificações da cobertura do solo são processos inevitáveis do desenvolvimento urbano, mas se estes forem realizados com base em estudos e planejamento, eventos extremos podem ser mitigados, por exemplo, a construção de bosques florestados em centros urbanos e em regiões de agropecuária extensiva podem ajudar na diminuição de cheias em períodos de altos volumes de precipitação. Já, os resultados para as simulações de cenários com alterações extremas no regime de precipitação e temperatura média do ar inferiram que mudanças significativas na precipitação tanto para crescimento como para decréscimo afetam o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, sendo que para o caso de crescimento, o efeito é mais significativo. Tais cenários, caso venham a ocorrer, devido mudanças no sistema climático terrestre, serão impactantes para as sociedades e sistemas ambientais. No geral, todos os resultados obtidos neste trabalho foram de encontro a resultados publicados na literatura. No Capítulo 2, com título “Estudos geo-hidrológicos da bacia do rio Curuá-Una, Santarém, Pará: Aplicação do Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH)”, apresentou-se que a caracterização da bacia do rio Curuá-Una possibilitou informações relevantes para estudos do comportamento hidrológico da mesma, através da definição do polígono de delineamento da bacia e matrizes de direção de fluxo, acúmulo de fluxo, uso e ocupação do solo, e unidades de respostas hidrológicas, e que as modificações na cobertura do solo ocorridas na bacia entre 1985 e 2015 não influenciaram significativamente no comportamento hidrológico na escala da bacia.

Este trabalho, além dos resultados apresentados, possibilitou formulação de novas hipó-

teses. Existe a pretensão do autor em dar continuidades a este projeto através simulações de combinações de cenários de uso e ocupação do solo e alterações de precipitação e temperatura média do ar; investigação da influencia das modificações no uso e ocupação do solo da bacia do rio Curuá-Una no comportamento hidrológico de micro bacias; e trabalhar o acoplamento do MGB-IPH com modelagem atmosférica.

REFERÊNCIAS

- [1] ABREU, S. F.; COSTA, J. P. F.; ROLIM, P. A. M. Comportamento da TSM e anomalia da precipitação durante os eventos do El Niño 82/83 e 97/98, no regime de precipitação das cidades de Belém, Santarém e Manaus. **In: Anais do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Fortaleza. Disponível em < http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/45_86466.pdf >.
- [2] ADAM, K. N.; COLLISCHONN, W. Análise dos impactos de mudanças climáticas nos regimes de precipitação e vazão na bacia hidrográfica do rio Ibicuí. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 69-79, 2013.
- [3] ALLASIA, D. G. *et al.* Large basin simulation experience in South America. **IAHS PUBLICATION**, v. 303, p. 360, 2006.
- [4] ALENCAR, A. A. C. *et al.* **Análise multitemporal do uso do solo e mudança da cobertura vegetal em antiga área agrícola da Amazônia Oriental**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 8, 1996.
- [5] ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. 1998.
- [6] BALTOKOSKI, V. *et al.* Calibração de modelo para a simulação de vazão e de fósforo total nas sub-bacias dos rios Conrado e Pinheiro–Pato Branco (PR). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 253-261, 2010.
- [7] BAYER, D. M.; COLLISCHONN, W. Análise de sensibilidade do modelo MGB-IPH a mudanças de uso da terra. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 18 n.3 – Jul/Set 2013, 165-179.
- [8] BLAINSKI, E. *et al.* Simulação de cenários de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araranguá utilizando a técnica da modelagem hidrológica. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 24, n. 1, 2011.
- [9] BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v.55, p.2-23, 1982
- [10] BRUIJNZEEL, L. A. Predicting the hydrological impacts of land cover transformation in the humid tropics: the need for integrated research. **Amazonian deforestation and climate**, v. 1, 1996.

- [11] CARVALHO, R. A Amazônia rumo ao “ciclo da soja”. **Amazônia Papers**, v.1, n. 2, 1999
- [12] CARAM, R. O. **Mudanças no uso e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do Rio Piracicaba**. 2010. 140 p. 2010. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem)-Escola Superior de Agricultura"Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- [13] COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- [14] COLLISCHONN, W. *et al.* **The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modeling**. *Hydrological Sciences Journal, Oxford*, v. 52, n. 5, p. 878–895, Oct. 2007.
- [15] COLLISCHONN, W. *et al.* **Manual de Discretização de bacias para aplicação do modelo MGB-IPH**. Versão 1.2. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico. 2009.
- [16] DA CRUZ WEISS, C. V. *et al.* Mapeamento do uso e ocupação do solo utilizando imagens de satélite do sensor TM/Landsat 5 no litoral sul do Rio Grande do Sul, Brasil., **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE
- [17] DA PAZ, A. R. *et al.* **Análise de ensibilidade da evapotranspiração anual calculada pelo modelo hidrológico MGB-IPH relativa ao parâmetro capacidade de armazenamento do solo**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013
- [18] DE OLIVEIRA, F. P. *et al.* **Fatores relacionados à suscetibilidade da erosão em entressulcos sob condições de uso e manejo do solo**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 337-346, 2012.
- [19] DETZEL, D. H. M. *et al.* **Estacionariedade das afluências às usinas hidrelétricas brasileiras**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, n. 3, p. 95 – 111, 2011.
- [20] DOS SANTOS, A. B.; PETRONZIO, J. A. C. Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6185
- [21] ESTEVES, F. de A. Fundamentos de limnologia. In: **Fundamentos de limnologia**. Inter-ciência/Finep, 1988.
- [22] FAN, F. M. *et al.* 2010a. **Manual Arc-HYDRO para aplicação do modelo MGB-IPH. Versão 1.2**. Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 65p.

- [23] FAN, F. M. *et al.* 2010b. **Manual do PrePro-MGB para aplicação do modelo MGB-IPH.** Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 17 p.
- [24] FAN, F. M. *et al.* 2010c. **Manual de definição de unidades de resposta hidrológica (blocos) do modelo MGB-IPH.** Projeto Integrado de Cooperação Amazônica e de Modernização do Monitoramento Hidrológico, FINEP/ANA/IPH-UFRGS, Porto Alegre (RS), 23 p.
- [25] FAN, F. M. **Acoplamento entre modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica: integração do modelo MGB-IPH.** 2011.
- [26] FAN, F. M. *et al.* **Sobre o início da rede de drenagem definida a partir dos modelos digitais de elevação.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos (no prelo).[Links], 2013.
- [27] FEARNSIDE, P. M. Efeitos do desmatamento sobre o ciclo hidrológico: uma comparação entre a Bacia do Rio Curua-Una e a Bacia do Rio Uraim, Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v.28, n. 1, p.23-38, 2001.
- [28] FEARNSIDE, P. M. **As usinas hidrelétricas mitigam o efeito estufa?: o caso da barragem de Curuá-Una.** Manaus: INPA, 2004.
- [29] FRITSCH, F. E. D. **Influência do uso e ocupação do solo nas vazões de pico na bacia hidrográfica do alto rio ligeiro, Pato Branco-PR.** 2013.
- [30] GOMES, C. R. *et al.* **Influência das mudanças no uso e ocupação do solo no comportamento hidrológico da bacia do rio Muricizal.** Projeto Final de Curso, Universidade Federal de Viçosa, 2008.
- [31] GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. Novo dicionário geológico-geomorfológico, Bertrand Brasil, 1997.
- [32] JUNK, W. J. *et al.* **Investigações limnológicas e ictiológicas em Curuá-Una, a primeira represa hidrelétrica na Amazonia Central [Brasil].** Acta Amazonica, 1981.
- [33] KAISER, I. M. **Avaliação de métodos de composição de campos de precipitação para uso em modelos hidrológicos distribuídos.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.2006.
- [34] KAYANO, M. T.; MOURA, A. D. 1986: **O El Niño de 1982 - 1983 e a precipitação sobre a América do Sul.** Revista Brasileira de Geofísica, 4 (1-2); 201- 214.
- [35] LAWSON, T.L.; LAL, R.; ODURO AFRIYE, K. Rainfall redistribution and microclimatic changes over a cleared watershed. In: LAI, R.; RUSSELL, W. (Eds.). **Tropical Agricultural Hydrology.** Nova Iorque: J. Wiley, 1981. p.141-151

- [36] LEAN, J. *et al.* The simulated impact of Amazonian deforestation on climate using measured ABRACOS vegetation characteristics. **Gash, J., Nobre, C., Roberts, J. and Victoria, R., "Amazonian Deforestation and Climate", J Wiley, New York, 1996.**
- [37] LINDNER, E. A. *et al.* **Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 13, p. 3405-3412, 2007.
- [38] LINSLEY, R. K. Rainfall-runoff: an overview. In: **SINGH, V. P. (org.). Rainfall-runoff relationship.** p. 3-22. Apresentado no International Symposium on Rainfall-runoff Modelling, Mississippi, Maio, 1981.
- [39] LUCAS, E. A.; SCHÄFER, A.; BRANCO, VTA. Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Negro-RS Utilizando Imagens de Satélite do Sensor OLI/LANDSAT 8. In: **XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento e XXV Expositiva.** 2013.
- [40] MCCULLOCH, J. S. G.; ROBINSON, M. History of forest hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 150, n. 2-4, p. 189-216, 1993.
- [41] MONTEITH, J.; UNSWORTH, M. Principles of environmental physics. **Academic Press**, 2007.
- [42] NETO, A. R. **Simulação hidrológica na Amazônia: rio Madeira.** 2006. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [43] OMETTO, J. C.; **Bioclimatologia Vegetal;** São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981.
- [44] PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.13, p.365-394.
- [45] PICCILLI, D. G. A. **Avaliação da previsão hidroclimática no Alto Paraguai.** 2007. Tese de Doutorado. Doctoral thesis, Federal university of Rio Grande do Sul, Hydraulic Research Institute, Porto Alegre, Brasil.
- [46] PINTO, N. L. de S. *et al.* Hidrologia básica. In: **Hidrologia básica.** Edgard Blucher, 1976.
- [47] PORTO, R. L. L. Escoamento superficial direto. **Tucci, Carlos, Porto, Rubem La Laina e Barros, Mario. Drenagem Urbana.** Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.
- [48] PONTES, P. R. M. **Comparação de modelos hidrodinâmicos simplificados de propagação de vazões em rios e canais.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas-IPH. 2011. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

- [49] PONTES, P. R. M. *et al.* **Análise da sensibilidade da vazão do rio Paraná a potencial alteração da precipitação.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013.
- [50] RIBEIRO, S. R. A.; CENTENO, J. S. **Classificação do uso do solo utilizando redes neurais e o algoritmo MAXVER.** Anais do XX Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, p. CD, Foz do Iguaçu, INPE, 2001.
- [51] RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos.** EESC/USP, 1998.
- [52] RODRIGUES, T. E. *et al.* **Levantamento exploratório-reconhecimento de alta intensidade e aptidão agrícola dos solos da área compreendida entre os km 81 e 152 da Rodovia Santarém-Cuiabá e o Rio Curua-Una.** 1980.
- [53] RODRIGUES, M. T. *et al.* **Acoplamento do modelo hidrológico MGB ao modelo atmosférico WRF visando estimar vazão na bacia do rio Paraíba do Meio AL/PE.** 2012.
- [54] RODRIGUES, J. O. *et al.* Respostas hidrológicas em pequenas bacias na região semiárida em função do uso do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 3, p. 312-318, 2013.
- [55] SILVEIRA, C. W. **Análise de sensibilidade de vazões a alterações de precipitação na bacia hidrográfica do rio Carinhanha.** TCC, 2015.
- [56] TAVARES, M. G. da C. A dinâmica espacial da rede de distribuição de energia elétrica no Estado do Pará (1960-1996). **Ateliê Geográfico**, v. 1, n. 1, 2007.
- [57] TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997.
- [58] TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos. 1 ed.**, Porto Alegre, Brasil, Editora Universidade/UFRGS/ABRH. 1998
- [59] TUCCI, C. E. M. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. **Clima e recursos hídricos no Brasil. ABRH, Porto Alegre**, p. 31-76, 2003.
- [60] TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos/Carlos EM Tucci; colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos/ABRH.–. 2005.
- [61] VAREJÃO, M. A. Meteorologia e climatologia. **Versão digital**, v. 2, p. 463, 2001.
- [62] VANZELA, L. S. *et al.* **Influência da ocupação do solo e do excedente hídrico sobre a vazão e transporte de sedimentos.** IRRIGA, v. 1, n. 01, p. 181, 2012.
- [63] VICTORIA, D. de C.; DA PAZ, A. R.; ANDRADE, R. G. Simulação hidrológica de grandes bacias-aplicação do MGB-IPH na bacia do rio Ji-Paraná (RO). In: **Embrapa Monitoramento por Satélite-Artigo em anais de congresso (ALICE).** 2014.

-
- [64] VITTE, A. C.; DE MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas conseqüências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e estudos da paisagem. Rio Claro**, v. 2, n. 2, p. 107, 2007.
- [65] ZANATTA, R. T. **A política de reforma agrária nos governos FHC e LULA: um estudo comparativo.**, 2010.

ANEXOS:

ANEXO A - NORMAS DE SUBMISSÃO DA REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA

Diretrizes para Autores

Preparação de originais

Os **ARTIGOS, REVISÕES DE LITERATURA** e **NOTAS CIENTÍFICAS** devem ser encaminhados, exclusivamente, via Online, editados nos idiomas Português ou Inglês. O trabalho deverá ser digitado em tamanho A4 (210 x 297 mm), com margens ajustadas em 2cm (superior, inferior, esquerda e direita), texto em duas colunas, espaçamento simples entre linhas, indentação de 1,25 cm no início de cada parágrafo, fonte Times New Roman, tamanho 11 em todo o texto. Os títulos devem estar em fonte 12 e os subtítulos (quando existirem) devem estar em itálico. O manuscrito deve ser submetido formatado seguindo modelo dos artigos publicados no último volume da RBGF publicado online.

Todas as Figuras (imagens e/ou gráficos) devem ser incluídas no corpo do texto e também submetidas em separado e isoladamente (uma a uma) em documentos suplementares. As figuras para documentos suplementares devem possuir 300dpi.

O número mínimo de páginas será de 15 para Artigos, 20 para Revisão de Literatura e 8 para Nota Científica, incluindo tabelas, gráficos e ilustrações. Um número mínimo de páginas diferente das quantidades recomendados pela revista serão aceitos apenas mediante consulta prévia ao Editor Chefe.

Os **Artigos, Revisões de Literatura** ou **Notas científicas** deverão ser iniciados com o título do trabalho e, logo abaixo, os nomes completos dos autores, com o cargo, o local de trabalho dos autores e endereço eletrônico. A condição de bolsista poderá ser incluída. Como chamada de rodapé referente ao título, deve-se usar número-índice que poderá indicar se foi trabalho extraído de tese, ou apresentado em congresso e entidades financiadoras do projeto.

O **ARTIGO** deverá conter, obrigatoriamente, os seguintes tópicos: **Título; Resumo; Palavras-chave; Abstract; Keywords; Introdução** com revisão de literatura e objetivos; **Material e Métodos; Resultados, Discussão; Conclusão, Agradecimentos e Referências**. Os capítulos de **Resultados e Discussão** poderão ser inseridos juntos ou em separado no artigo.

Agradecimentos devem aparecer sempre antes das **Referências**. Todos estes tópicos devem ser escritos com apenas a primeira letra maiúscula, fonte Times New Roman, tamanho 11 e negrito, com exceção do

TÍTULO que deverá estar em tamanho 12 e apenas com a primeira letra das principais palavras em maiúscula, por exemplo: "Estrutura do Componente Lenhoso de uma Restinga no Litoral Sul de Alagoas, Nordeste, Brasil (Structure of the Woody Component of a Restinga on the South Coast of Alagoas, Northeastern Brazil)", com exceção dos nomes científicos e autores das espécies.

A **REVISÃO DE LITERATURA** deverá conter os seguintes tópicos: **Título; Resumo; Palavras-chave; Abstract; Keywords; Introdução; Desenvolvimento; Conclusão; Agradecimentos e Referências**. Os Agradecimentos devem aparecer antes das **Referências**.

A **NOTA CIENTÍFICA** deverá conter os seguintes tópicos: **Título; Resumo; Palavras-chave; Abstract; Keywords; Texto** (sem subdivisão, porém com **Introdução; Material e Métodos; Resultados e Discussão** (podendo conter Tabelas ou Figuras); **Conclusão; Agradecimentos e Referências**. Os **Agradecimentos** devem aparecer antes das referências. **As seções devem ser constituídas de: TÍTULO** – apenas com a primeira letra em maiúscula, deve ser conciso e indicar o seu conteúdo. O(s) nome(s) do(s) autor(es) deve(m) ser escrito(s) em caixa alta e baixa, todos em seguida, com números sobrescritos que indicarão a filiação Institucional e/ou fonte financiadora do trabalho (bolsas, auxílios, etc.).

Créditos de financiamentos devem vir em **Agradecimentos**, assim como vinculações do artigo a programas de pesquisa mais amplos, e não no rodapé. Os Autores devem fornecer os endereços completos, evitando abreviações, elegendo apenas um deles como Autor para correspondência. Se desejarem, todos os autores poderão fornecer E-mail para correspondência.

Os **RESUMO** e **ABSTRACT** devem conter no máximo 250 palavras, escritos no seguinte formato estruturado: Motivação do estudo (porque o trabalho foi realizado, quais as principais questões a serem investigadas e porque isso é importante para o público da RBGF), Métodos (texto explicativo dos métodos utilizados para a realização do estudo), Resultados (principais resultados obtidos) e Conclusões (afirmativas curtas que respondam os objetivos apresentados na Introdução). Serão seguidos da indicação dos termos de indexação, diferentes daqueles constantes do título. A tradução do **RESUMO** para o inglês constituirá o **ABSTRACT**, seguindo o limite de até 250 palavras. Ao final do **RESUMO**, citar até cinco **Palavras-chave**, à escolha do autor, em ordem de importância, evitando palavras no plural e abreviaturas. A mesma regra se aplica ao **ABSTRACT** em Inglês para as **Keywords**.

Resumo e Abstract NÃO devem conter citações bibliográficas.

Introdução - deve ser breve ao expor, evitando abreviaturas, fórmulas e nomes dos autores de espécies vegetais/animais:

- a) conhecimentos atuais no campo específico do assunto tratado;
- b) problemas científicos que levou(aram) o(s) autor(es) a desenvolver o trabalho, esclarecendo o tipo de problema abordado ou a(s) hipótese(s) de trabalho, com citação da bibliografia

específica e finalizar com a indicação do objetivo.

Introdução NÃO deve conter Figuras, Gráficos ou Quadros.

Material e Métodos - devem ser reunidas informações necessárias e suficientes que possibilitem a repetição do trabalho por outros pesquisadores; técnicas já publicadas devem ser apenas citadas e não descritas. Todo e qualquer comentário de um procedimento utilizado para a análise de dados em Resultados deve, obrigatoriamente, estar descrito no item **Material e Métodos**.

Resultados - devem conter uma apresentação concisa dos dados obtidos. As Figuras devem ser numeradas em sequência, com algarismos arábicos, colocados no lado inferior direito; as escalas, sempre que possível, devem se situar à esquerda da Figura e/ou Quadro. As Tabelas devem ser numeradas em sequência, em arábico e com numeração independente das Figuras. Tanto as Figuras quanto os Quadros devem ser inseridos no texto o mais próximo possível de sua primeira citação.

Itens da Tabela, que estejam abreviados, devem ter suas explicações na legenda. As Figuras e as Tabelas devem ser referidas no texto em caixa alta e baixa (Figura e Tabela). Todas as Figuras e Tabelas apresentadas devem, obrigatoriamente, ter chamada no texto e ser submetidas como documentos suplementares, em separado. As siglas e abreviaturas, quando utilizadas pela primeira vez, devem ser precedidas do seu significado por extenso. Ex.: Universidade Federal de Pernambuco (UFPE); Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

Usar unidades de medida de modo abreviado (Ex.: 11 cm; 2,4 μ m), e com o número separado da unidade, com exceção de percentagem (Ex.: 90%). Os números de um a dez devem ser escrito por extenso (não os maiores), a menos que seja medida. Ex.: quatro árvores; 6,0 mm; 1,0 4,0 mm; 125 amostras. O nome científico de espécies deve estar sempre em itálico, seguido do nome do autor.

Os títulos das Figuras, Tabelas e/ou Quadros devem ser autoexplicativos e seguir o exemplo a seguir: **Figura 1**. Localização, drenagem e limite da bacia hidrográfica do Rio Capiá. Subdivisões dentro de **Material e Métodos** ou de **Resultados** e/ou **Discussão** devem ser escritas em caixa alta e baixa, seguida de um traço e o texto segue a mesma linha. Ex.: Área de Estudo - localiza se ...

Discussão - deve conter os resultados analisados, levando em conta a literatura, mas sem introdução de novos dados.

Conclusões - devem basear-se somente nos dados apresentados no trabalho e deverão ser numeradas.

Agradecimentos - Item obrigatório no artigo. Devem ser sucintos e não aparecer no texto ou em notas de rodapé.

Referências - Seguir instruções abaixo.

Citação no texto

Todas as referências citadas no texto devem também está presente na lista de referências e vice-versa.

As citações podem ser feitas diretamente ou entre parênteses

Segundo Pimentel (2013), ...

Moura (2012) e Galvínio (2014) constataram...

Galvínio e Moura (2012), trabalhando com ...,

Galvínio et al. (2004) constataram...

No final ou no meio de uma sentença

(Pimentel, 2013)

(Galvínio e Moura, 2012)

(Galvínio et al., 2004)

Grupos de referências devem ser listadas em ordem cronológica

...como demonstrado por alguns autores (Galvínio et al., 2004; Galvínio e Moura, 2012; Pimentel, 2013).

Itens de Verificação para Submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

1. Carta de Responsabilidade do autor pelo conteúdo do manuscrito, como Documento Suplementar.

2. Inserir arquivos de figuras, imagens e/ou mapas como Documento Suplementar.

3. Artigo deve ser submetido no formato word.

Declaração de Direito Autoral

Material protegido por direitos autorais e plágio. No caso de material com direitos autorais ser reproduzido no manuscrito, a atribuição integral deve ser informada no texto; um documento comprobatório de autorização deve ser enviado para a Comissão Editorial como documento suplementar. É da responsabilidade dos autores, não da RBGF ou dos editores ou revisores, informar, no artigo, a autoria de textos, dados, figuras, imagens e/ou mapas publicados anteriormente em outro lugar. Se existir alguma suspeita sobre a originalidade do material, a Comissão Editorial pode verificar o manuscrito por plágio. Nos casos em que o plágio for confirmado, o manuscrito será devolvido sem revisão adicional e sem a possibilidade de resubmissão. Auto-plágio (ou seja, o uso de frases idênticas de documentos publicados anteriormente pelo mesmo autor) também

não é aceitável.

Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

Taxas para Autores

Publicação de Artigo: 150,00 (BRL) Caso este documento seja aceito para publicação, será necessário o pagamento de uma Taxa de Publicação de Artigo para auxiliar nos custos de publicação. Consulte a Política de Isenção de Taxas.

Caso não possa pagar as taxas descritas, notifique a Equipe Editorial através do campo Comentários, pois não é de interesse impedir a publicação de trabalhos importantes.

ANEXO B - NORMAS DE SUBMISSÃO DA REVISTA ACTA AMAZÔNICA

INSTRUÇÕES AOS AUTORES

Como parte do processo de submissão, os autores devem verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. Submissões que não estejam de acordo com as normas são devolvidas aos autores.

1. O tamanho máximo de um arquivo individual deve ser 2 MB.
2. O manuscrito deve ser acompanhado de uma carta de submissão indicando que: a) os dados contidos no trabalho são originais e precisos; b) que todos os autores participaram do trabalho de forma substancial e estão preparados para assumir responsabilidade pública pelo seu conteúdo; c) a contribuição apresentada à Revista não foi previamente publicada e nem está em processo de publicação, no todo ou em parte em outro veículo de divulgação. A carta de submissão deve ser carregada no sistema da Acta Amazonica como "documento suplementar".
3. **Os manuscritos devem ser escritos em inglês.** A veracidade das informações contidas numa submissão é de responsabilidade exclusiva dos autores.
4. A extensão máxima para artigos e revisões é de 30 páginas (ou 7500 palavras, excluindo a folha de rosto), dez páginas (2500 palavras) para Notas Científicas e cinco páginas para outros tipos de contribuições.
5. Os manuscritos formatados conforme as Instruções aos Autores são enviados aos editores associados para pré-avaliação. Neste primeiro julgamento são levados em consideração a relevância científica, a inteligibilidade do manuscrito e o escopo no contexto amazônico. Nesta fase, contribuições fora do escopo da Revista ou de pouca relevância científica são rejeitadas. Ma-

nuscritos aprovados na pré-avaliação são enviados para revisores (pelo menos dois), especialistas de instituições diferentes daquelas dos autores, para uma análise mais detalhada.

6. A aprovação dos manuscritos está fundamentada no conteúdo científico e na sua apresentação conforme as Normas da Revista.

7. Os manuscritos que necessitam correções são encaminhados aos autores para revisão. A versão corrigida deve ser encaminhada ao Editor, via sistema da Revista, no prazo de DUAS semanas. Uma carta de encaminhamento deve ser também carregada no sistema da Revista, detalhando as correções efetuadas. Nessa carta, recomendações não incorporadas ao manuscrito devem ser explicadas. Todo o processo de avaliação pode ser acompanhado no endereço, <http://mc04.manuscriptcentral.com/aa-scielo>.

8. Seguir estas instruções para preparar e carregar o manuscrito:

a. Folha de rosto (Title page): Esta página deve conter o título, nomes (com último sobrenome em maiúscula), endereços institucionais completos dos autores e endereço eletrônico do autor correspondente. Os nomes das instituições não devem ser abreviados. Usar um asterisco (*) para indicar o autor correspondente.

Carregar este arquivo selecionando a opção: "Title page"

b. Corpo do manuscrito (main document). O corpo do manuscrito deve ser organizado da seguinte forma: Título, Resumo, PalavrasChave, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões, Agradecimentos, Bibliografia Citada, Legendas de figuras e Tabelas. Além do “main document” em inglês, o manuscrito deve ter “Título, Resumo e Palavras-chave” em português ou espanhol .

Carregar este arquivo como "Main document".

c. Figuras. São limitadas a sete em artigos. Cada figura deve ser carregada em arquivo separado e estar em formato gráfico (JPG ou TIFF). Deve ser em alta qualidade e com resolução de 300 dpi. Para ilustrações em bitmap, utilizar 600 dpi.

Carregar cada um destes arquivos como "Figure".

d. Tabelas. São permitidas até cinco tabelas por artigo. Utilizar espaço simples e a função "tabela" para digitar a tabela. As tabelas devem ser inseridas ao final do corpo do manuscrito (main document), após as legendas das figuras.

9. As Notas Científicas são redigidas separando os tópicos: Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão e Conclusões em parágrafos, mas sem incluir os títulos das seções. Os outros tópicos da Nota Científica devem seguir o formato do artigo completo. São permitidas até três figuras e duas tabelas. Carregar as diferentes partes do manuscrito como descrito no Item 8.

10. Nomes dos autores e endereço institucional completo, incluindo endereço electrónico

DEVEM ser cadastrados no sistema da Revista no ato da submissão.

11. **IMPORTANTE:** Os manuscritos não formatados conforme as Normas da Revista **NÃO** são aceitos para publicação.

FORMATO E ESTILO

12. Os manuscritos devem ser preparados usando editor de texto (e.g. doc ou docx), utilizando fonte "Times New Roman", tamanho 12 pt, espaçamento duplo, com margens de 3 cm. As páginas e as linhas devem ser numeradas de forma contínua. Para tabelas ver Item 8d.

13. **Título.** Justificado à esquerda, com a primeira letra maiúscula. O título deve ser conciso evitando-se o uso de nomes científicos.

14. **Resumo.** Deve conter até 250 palavras (150 palavras no caso de Notas Científicas). Iniciar o Resumo com uma breve introdução, logo a seguir informar os objetivos de forma clara. De forma sucinta informar a metodologia, os resultados e as conclusões enfatizando aspectos importantes do estudo. O resumo deve ser autossuficiente para a sua compreensão. Os nomes científicos das espécies e demais termos em latim devem ser escritos em itálico. Siglas devem ser evitadas nesta seção; porém, se necessárias, o significado deve ser incluído. Não utilizar referências bibliográficas no resumo.

15. **Palavras-chave.** Devem ser em número de quatro a cinco. Cada palavra-chave pode conter dois ou mais termos. Porém, não devem ser repetidas palavras utilizadas no título.

16. **Introdução.** Enfatizar o propósito do trabalho e fornecer, de forma sucinta, o estado do conhecimento sobre o tema em estudo. Especificar claramente os objetivos ou hipóteses a serem testados. Esta seção não deve exceder de 35 linhas. Não incluir resultados ou conclusões e não utilizar subtítulos na Introdução. Encerrar esta seção com os objetivos.

17. **Material e Métodos.** Esta seção deve ser organizada cronologicamente e explicar os procedimentos realizados, de tal modo que outros pesquisadores possam repetir o estudo. O procedimento estatístico utilizado deve ser descrito nesta seção. O tipo de análise estatística aplicada aos dados deve ser descrita. Procedimentos-padrão devem ser apenas referenciados. As unidades de medidas e as suas abreviações devem seguir o Sistema Internacional e, quando necessário, deve constar uma lista com as abreviaturas utilizadas. Equipamento específico utilizado no estudo deve ser descrito (modelo, fabricante, cidade e país de fabricação, entre parênteses). Por exemplo: "A fotossíntese foi determinada usando um sistema portátil de trocas gasosas (Li-6400, Li-Cor, Lincoln, NE, USA)". Material testemunho (amostra para referência futura) deve ser depositado em uma ou mais coleções científicas e informado no manuscrito. **NÃO** utilizar sub-subtítulos nesta seção. Utilizar negrito, porém não itálico ou letras maiúsculas para os subtítulos.

18. **Aspectos éticos e legais.** Para estudos que exigem autorizações especiais (e.g. Comitê de Ética/Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP, IBAMA, SISBIO, CNPq, CNTBio,

INCRA/FUNAI, EIA/RIMA, outros) informar o número do protocolo e a data de aprovação. É responsabilidade dos autores o cumprimento da legislação específica relacionada a estes aspectos.

19. Resultados. Os resultados devem apresentar os dados obtidos com o mínimo julgamento pessoal. Não repetir no texto toda a informação contida em tabelas e figuras. Não apresentar a mesma informação (dados) em tabelas e figuras simultaneamente. Não utilizar sub-subtítulos nesta seção. Algarismos devem estar separados de unidades. Por exemplo, 60°C e NÃO 60° C, exceto para percentagem (e.g., 5% e NÃO 5 %).

Unidades: Utilizar unidades e símbolos do Sistema Internacional e simbologia exponencial. Por exemplo, cmol kg^{-1} em vez de $\text{meq}/100\text{g}$; m s^{-1} no lugar de m/s . Use espaço no lugar de ponto entre os símbolos: m s^{-1} e não m.s^{-1} ; use“-” e não“-” para indicar número negativo. Por exemplo: -2 no lugar de -2. Use kg e não Kg ; km no lugar de Km .

20. Discussão. A discussão deve ter como alvo os resultados obtidos. Evitar mera especulação. Entretanto, hipóteses bem fundamentadas podem ser incorporadas. Apenas referências relevantes devem ser incluídas.

21. Conclusões. Esta seção (um parágrafo) deve conter uma interpretação sucinta dos resultados e uma mensagem final que destaque as implicações científicas do trabalho.

22. Agradecimentos devem ser breves e concisos. Incluir agência(s) de fomento. NÃO abreviar nomes de instituições.

23. Bibliografia Citada. Pelo menos 70% das referências devem ser artigos de periódicos científicos. As referências devem ser preferencialmente dos últimos 10 anos, evitando-se exceder 40 citações. Esta seção deve ser organizada em ordem alfabética e deve incluir apenas citações mencionadas no manuscrito. Para referências com mais de dez autores, relacionar os seis primeiros seguido de *et al.* Nesta seção, o título do periódico NÃO deve ser abreviado.