

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA-INPA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CLIMA E AMBIENTE - PPG
CLIAMB
NÍVEL MESTRADO**

**POTENCIAIS IMPACTOS DAS SIMULAÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E
DO USO DA TERRA SOBRE O TRANSPORTE HIDROVIÁRIO NA BACIA DO RIO
MADEIRA**

CLEIDE LANA CARNEIRO DE MORAES

Manaus- Am
Maio, 2016

CLEIDE LANA CARNEIRO DE MORAES

**POTENCIAIS IMPACTOS DAS SIMULAÇÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E
DO USO DA TERRA SOBRE O TRANSPORTE HIDROVIÁRIO NA BACIA DO RIO
MADEIRA**

ORIENTADOR: PROF. DR. JAVIER TOMASELLA

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente.

Manaus-Am
Maio, 2016

M827 Moraes, Cleide Lana Carneiro de
Potenciais impactos das simulações de mudanças climáticas e do uso da terra sobre o transporte hidroviário na bacia do rio madeira/
Cleide Lana Carneiro de Moraes. --- Manaus: [s.n.], 2016.
67 f.: il.

Dissertação (Mestrado) --- INPA, Manaus, 2016.

Orientador: Javier Tomasella

Área de concentração: Clima e Ambiente

1. Mudanças climáticas. 2. Transporte hidroviário. 3. Bacia do rio Madeira. I. Título.

CDD 551.6

Sinopse:

Analisa a influência das alterações climáticas globais e regionais do uso da terra no volume de cargas transportada nas estações de Porto Velho, Humaitá, Manicoré e Fazenda Vista Alegre. Os resultados obtidos asseguram que mudanças climáticas globais (CC) impactam nos níveis d'água, influenciando na capacidade de desembarque/embarque de cargas. E ainda, impactos no transporte hidroviário são reduzidos quando incluímos as mudanças climáticas do uso da terra (LUCC), pois há diminuição da evaporação devida à substituição da floresta por pastagens, associada a um aumento da cota do rio.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Transporte hidroviário; Bacia do rio Madeira; Simulações de projeções climáticas.

Do meu filho Héctor Vinícius, o meu amor incondicional!
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, por estar sempre ao meu lado;

Ao meu marido Evaldo Teixeira, companheiro, dedicado e amigo em todas as horas;

Aos meus pais Geiza e Raimundo, pelo apoio permanente e fundamental, aos meus irmãos Segirlana, Cleison e Augusto, pelo companheirismo;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Javier Tomasella, pelo apoio profissional e por ter acompanhado todo o projeto, meu respeito e infinita gratidão;

Aos pesquisadores José Lázaro Siqueira Júnior e ao Dr. Daniel Andres Rodriguez que cederam gentilmente os dados de simulação de vazão;

Ao amigo e professor, José Teixeira Neto, pelo auxílio permanente na solução de inúmeros problemas, contribuindo brilhantemente nessa pesquisa;

Ao Prof. Dr. Antônio Ocimar Manzi, pelo direcionamento e por ter me incentivado no início dessa jornada;

À minha amiga irmã de longa data, Marilene Costa;

À minha cunhada Rafaela, pela amizade de sempre;

Ao Sr. Jatniel Januário, pelo apoio e incentivo nesta conquista;

Aos amigos do subgrupo da SEAOP, pela alegria da convivência e palavras de apoio nesta etapa.

Muito Obrigada!

RESUMO

A variação dos níveis d'água provoca mudança no comportamento da navegação hidroviária interior. Entretanto, não existem estudos sobre impacto das variações da cota no transporte hidroviário. O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência das alterações climáticas globais e regionais do uso da terra no volume de cargas transportada nas estações de Porto Velho, Humaitá, Manicoré e Fazenda Vista Alegre. Para atingir o objetivo foram utilizadas as simulações de oito projeções climáticas utilizadas como dados de entrada do modelo hidrológico MDH-INPE, a partir daí foram gerados cenários produzidos que incluem projeções de uso da terra (isto é, mudanças regionais de cobertura da terra induzidas pela conversão de florestas em pastos para o período 2011-2099), bem como cenários sem uso da terra (onde a vegetação atual permanece inalterada em todo o período de simulação). Neste contexto, o impacto do fluxo de cargas foram analisados para o período de 2011-2040. Os resultados obtidos asseguram que mudanças climáticas globais (CC) impactam nos níveis d'água, influenciando na capacidade de desembarque/embarque de cargas. E ainda, impactos no transporte hidroviário são reduzidos quando incluímos as mudanças climáticas do uso da terra (LUCC), pois há diminuição da evaporação devida à substituição da floresta por pastagens, associada a um aumento da cota do rio.

ABSTRACT

The variation of Moorhen levels causes changes in the behavior of the inner waterway navigation. However, there are no studies on the impact of changes in share in water transport. This study aimed to analyze the influence of global and regional climate change of land use in the volume of cargo transported in Porto Velho stations, Humaita, Manacapuru and Fazenda Vista Alegre. To achieve the goal we used the simulations eight climate projections used as the hydrological model MDH-INPE data entry, from there have been generated produced scenarios that include land use projections (ie, regional changes land cover induced conversion of forests into pastures for the period 2011-2099), and without land use scenarios (where the current vegetation remains unchanged throughout the simulation period). In this context, the impact loads stream were analyzed for the period 2011-2040. The results ensure that global climate change (CC) impact on water levels, influencing the landing capacity / shipping charges. Also, impacts on water transport are reduced when we include climate change in land use (LUCC), because there is decreased due to evaporation replacement of forest by pasture, associated with an increase in the quota river.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVO	10
3. JUSTIFICATIVA	10
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
4.1 Mudanças climáticas.....	12
4.2 Modelagem hidrológica	12
4.3 O Modelo Hidrológico Distribuído MHD-INPE.....	14
5. MATERIAL E MÉTODOS	19
5.1 Descrição da área de estudo	19
5.1.1 Aspectos climatológicos	19
5.1.2 Aspectos hidrológicos	21
5.1.3 Navegação na bacia do Rio Madeira.....	23
5.2 Preparação de dados	25
5.2.1 Séries dos níveis hidrométricos observados	25
5.2.2 Movimentação de mercadorias no Madeira	25
5.2.3 Cenários de projeções climáticas	26
5.2.4 Transformação dos dados de vazão em cota	28
5.2.5 Relação de nível d'água vs transporte de cargas.....	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
6.1 Estimativas de movimentação de cargas	31
6.2 Comparação das estatísticas das séries resultantes das projeções com o período histórico.....	33
6.3 Potenciais impactos sobre as mercadorias do Madeira.....	44
6.3.1 Estação Porto Velho (B-19).....	44
6.3.1.1 Cargas desembarcadas	44
6.3.1.2 Cargas embarcadas	46
6.3.2 Estação Humaitá (B-16).....	47
6.3.2.1 Cargas desembarcadas	47
6.3.2.2 Cargas embarcadas	48
6.3.3 Estação Manicoré (B-17)	49
6.3.3.1 Cargas desembarcadas	49
6.3.3.2 Cargas embarcadas	51
6.3.4 Estação Fazenda Vista Alegre (B-19).....	52
6.3.4.1 Cargas desembarcadas	52
6.3.4.2 Cargas embarcadas	53
7. CONCLUSÃO	53
8. ANEXO	56
REFERÊNCIAS	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Relação entre as diversas áreas apoiadas pela modelagem hidrológica e respectivos modelos.....	15
Tabela 2. Lista de parâmetros do modelo MHD-INPE.	19
Tabela 3. Detalhes das simulações dos modelos climáticos	27
Tabela 4. Médias de mercadorias transportadas, em toneladas, segundo classes das cotas reais das estações.	31
Tabela 5. Resumo das principais medidas estatísticas da estação de Porto Velho (B-11)	56
Tabela 6. Resumo das principais medidas estatísticas da estação de Humaitá (B-16).....	57
Tabela 7. Resumo das principais medidas estatísticas da estação de Manicoré (B-17)	58
Tabela 8. Resumo das principais medidas estatísticas da estação Fazenda Vista Alegre (B-19)..	59
Tabela 9. Resultados do Teste <i>t-Student</i> para comparação de duas médias de movimentação de cargas em cenários de CC e LUCC nas seguintes estações: Porto Velho; Humaitá; Manicoré e Fazenda Vista Alegre. A matriz triangular superior (cinza) refere-se aos cenários de cargas desembarcadas e matriz triangular inferior (azul) aos cenários de cargas embarcadas. Para testar as hipóteses, considerou a hipótese nula de que não há diferença entre as médias com intervalo de confiança de 0,95 e nível de significância de 0,05. O critério de decisão avalia os <i>p-valores</i> comparados ao nível de significância estabelecido: se <i>p-valor</i> < α , rejeita-se a hipótese nula, ou seja há evidências significativas de diferença entre os pares de médias.	60
Tabela 10. Resultados do teste <i>t-Student</i> para comparação de duas médias de movimentação de cargas em cenários do período histórico 1970-1990 vs CC e período histórico 1970-1990 vs LUCC nas seguintes estações: Porto Velho; Humaitá; Manicoré e Fazenda Vista Alegre. Para testar as hipóteses, considerou a hipótese nula de que não há diferença entre as médias com intervalo de confiança de 0,95 e nível de significância de 0,05. O critério de decisão avalia os <i>p-valores</i> comparados ao nível de significância estabelecido: se <i>p-valor</i> < α , rejeita-se a hipótese nula, ou seja há evidências significativas de diferença entre os pares de médias.	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema ilustrativo das etapas de separação do modelo hidrológico MHD-INPE. (a) escoamento; (b) fluxo propagado na rede de drenagem.	15
Figura 2. Esquema conceitual do modelo hidrológico MHD-INPE indicando os fluxos e sua direção e as diferentes camadas: superior, com espessura D_1 ; intermediária, com espessura D_2 ; e inferior, com espessura D_3	16
Figura 6. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Porto Velho (B-11).	33
Figura 7. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Porto Velho (B-11).	35
Figura 8. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Humaitá (B-16).	36
Figura 9. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Humaitá (B-16).	38
Figura 10. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Manicoré (B-17).	39
Figura 11. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Manicoré (B-17).	40
Figura 12. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), em Fazenda Vista Alegre (B-19).	42
Figura 13. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), em Fazenda Vista Alegre (B-19).	43
Figura 14. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na estação de Porto Velho (B-11), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).	45
Figura 15. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na estação de Porto Velho (B-11), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).	46
Figura 16. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na estação de Humaitá (B-16), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).	47
Figura 17. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na estação de Humaitá (B-16), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).	48
Figura 18. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na estação de Manicoré (B-17), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).	49
Figura 19. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na estação de Manicoré (B-17), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).	51

Figura 20. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na Fazenda Vista Alegre (B-19), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).....	52
Figura 21. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na Fazenda Vista Alegre (B-19), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).....	53

INTRODUÇÃO

A Amazônia brasileira possui uma rede hidroviária da ordem de 24 mil km, ocupando uma extensão territorial de mais de 3,6 milhões de km². Os principais rios que integram esse subsistema são navegáveis em grande parte de seu percurso e formam a espinha dorsal que estrutura a rede viária da Amazônia (Sant'Anna,1998).

O Estado do Amazonas destaca-se pelo menor índice de rodovias (km/km²) da Amazônia não chegando a 0,01 enquanto que Rondônia, Acre e Pará apresentam os melhores índices da região registrando 0,09; 0,04 e 0,03 respectivamente. Esse índice demonstra uma tendência decrescente em relação à aproximação da calha do rio Amazonas e principais afluentes. As regiões na Amazônia sem meios de transporte e logística eficientes e/ou satisfatórias estarão fadadas ao eterno subdesenvolvimento e conseqüentemente aos baixos IDH's, uma vez que se observa estreita inter-relação direta de sistema logístico e transporte com os indicadores de progresso e desenvolvimento regional (Kuwahara, 2006).

A hidrovia do Madeira é a segunda hidrovia brasileira em termos de Tonelada Quilômetro Útil - TKU. A cada ano o transporte de cargas cresce significativamente na região. De 2011 a 2013, o crescimento foi de aproximadamente 30% (ANTAQ, 2013).

Considerando as dimensões da Amazônia e os desafios para o seu desenvolvimento econômico, são necessárias ferramentas que permitam avaliar de forma mais precisa os efeitos de cenários hidrológicos extremos para o planejamento de estimativas de impactos sobre os diferentes setores econômicos e sociais.

A bacia do rio Madeira apresenta condições propícias para o estudo dos impactos da mudança do uso do solo, pois é um dos afluentes do Amazonas que vive intenso desmatamento (Trancoso *et al.* 2009). Contudo, eventos extremos como a seca de 2005 e 2010, semelhantes em termo de gravidade meteorológica, porém considerados responsáveis nos impactos hidrológicos sobre o nível de água (Marengo *et al.*, 2011), fizeram a comunidade científica se interrogar sobre os possíveis impactos destes eventos sobre a ecologia, a biodiversidade e a hidrologia da Amazônia. Entretanto, não existem estudos dos possíveis impactos de eventos extremos no setor hidroviário.

A conversão da paisagem de floresta por pastagem afeta o balanço d'água por meio de mudanças na evapotranspiração, bem como as propriedades hidráulicas dos solos também são afetadas, resultando em modificações nos caminhos naturais do fluxo. As mudanças do uso e cobertura da terra podem também afetar a resposta hidrológica da bacia através de mecanismos de retro-alimentação com o clima local (Germer *et al.*,2010).

As simulações do impacto do desflorestamento utilizando modelos atmosféricos de circulação global (GCMs) mostram uma diminuição da evapotranspiração e da precipitação com a perda da floresta na bacia Amazônica (Sampaio *et al.*, 2007; Costa *et al.*, 2007). Estudos com simulações em escala regional não concordam com (GCMs) e indicam que as regiões central e oriental da Amazônia podem sofrer deficiências de chuva no futuro e um aumento da frequência de eventos extremos de precipitação na maior parte da Amazônia Ocidental (Marengo *et al.* 2011). Segundo Saad (2010), o incremento da área desflorestada, acima de um determinado limiar associada a fragmentos de menor extensão, implica na diminuição da precipitação nas simulações.

Neste estudo serão analisados os potenciais impactos das mudanças climáticas com e sem o uso da terra sobre o Transporte Hidroviário Interior – THI na bacia do rio Madeira. Para tal fim serão usadas as simulações de Siqueira Júnior *et al.* (2015), que incluem oito projeções climáticas utilizadas como dados de entrada do modelo hidrológico MDH-INPE. Os cenários produzidos por Siqueira Júnior *et al.* (2015) incluem projeções de uso da terra (isto é, mudanças regionais de cobertura da terra induzidas pela conversão de florestas em pastos para o período 2011-2099), bem como cenários sem uso da terra (onde a vegetação atual permanece inalterada em todo o período de simulação).

1. OBJETIVO

Analisar os efeitos das mudanças climáticas globais e de cobertura da terra na bacia do Rio Madeira e possíveis impactos no transporte de cargas na navegação interior no período de 2011-2040.

2. JUSTIFICATIVA

Através do rio Madeira se estabeleceram as principais linhas de tráfego de passageiros e cargas, ligando o Estado de Rondônia às cidades de Belém e Manaus, e a saída para o oceano Atlântico. No trecho a jusante de Santo Antônio, as boas condições de navegabilidade proporcionaram a ampla utilização hidroviária. No trecho a montante da mesma localidade, as

várias quedas que o rio sofre ao longo de seu curso restringem o uso do rio a uma dimensão local. Contudo, o rio, nesse trecho, é extremamente importante para a organização do modo de vida ribeirinho, integrando as comunidades e suas diversas formas de aproveitamento dos recursos naturais com outras localidades.

Existem apenas dois períodos bem marcados em toda a região Amazônica: período de chuvas intensas e período de chuvas esparsas. No entanto, isso só não é suficiente, no sentido de racionalizar o uso de hidrovias na Amazônia dentro do contexto do ciclo hidrológico.

Segundo Sant'Anna (1998), as condições naturais da Amazônica fazem com que o transporte hidroviário seja tomado como um ponto de referência básico para a rede de transporte e Schweighofer (2014) afirma que o transporte fluvial está associado a um alto grau de confiabilidade e segurança, bem como as mais baixas emissões de ruído sendo refletido nos menores custos externos relacionados a uma tonelada (t) de cargas transportadas mais de um quilômetro (km), em comparação com outros modos de transporte.

Ronchail *et al.* (2005) analisaram a variabilidade temporal da vazão de 80 estações fluviométricas na bacia do Amazonas do Brasil, Bolívia e Guiana Francesa no período de 1981 a 2002. Durante o La Niña, a vazão fica acima do normal na bacia do nordeste e, em contrapartida, abaixo do normal na bacia do Madeira. Coe *et al.*, (2002 e 2007) reconstruíram, por meio de modelagem, a vazão mensal média do período de 1940-1990, a partir de um conjunto de dados de precipitação, e verificaram que os anos de vazão relativamente alta estão agrupados no período de 1940-1950 e na década de 1970, enquanto que os anos de vazão baixa estão agrupados na década de 1960 e no período de 1980-1990.

Eventos extremos hidrológicos, como a seca de 2015 e 2010, que estima-se ocorrer uma vez a cada cem anos, afetam não apenas as atividades humanas e econômicas, mas também os ecossistemas. Eventos de secas com períodos longos de duração podem causar danos diretos e indiretos, tais como impactos na navegação, atividades econômicas dos ribeirinhos, fornecimento de água potável, entre outros. (Marengo *et al.*, 2013).

Padovezi (2003), afirma que não há sistema de transporte hidroviário que resista a um contínuo aumento do número de restrições à navegação e ainda diz que quanto maior tempo a embarcação puder operar melhores são os resultados econômicos para o transporte. Na maioria dos rios amazônicos não há condições físicas para a operação em época de estiagem, o sistema de transporte funciona plenamente, por exemplo, em oito ou nove meses por ano.

Cabe ressaltar que durante as secas de 2005 e 2010, a navegação ao longo do rio Madeira teve que ser suspensa, pois os níveis da água chegaram ao extremo, o que levou, em

setembro de 2005, vários municípios da região amazônica a declarar estado de emergência, afetando a economia na região (Marengo *et al.*, 2013).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Mudanças climáticas

Para Nobre *et al.*, 2007, a Amazônia possui papel fundamental no controle do regime de precipitação e umidade em grande parte do continente sul-americano, e seus recursos hídricos são cruciais na manutenção da vida selvagem e da população, além da ampla contribuição econômica através da produção de energia elétrica, ressaltam ainda que a região é alvo de grandes riscos devido às ações antrópicas e às mudanças climáticas.

A mudança climática representa um risco para o ciclo hidrológico na Amazônia, uma vez que o aumento de temperatura provocará uma maior evaporação e maior transpiração das plantas, o que levará a uma aceleração do ciclo hidrológico (Case, 2006). Se, além disso, a precipitação diminuir durante a estação seca, o impacto das mudanças climáticas no regime hidrológico na Amazônia será ainda mais agravado (Nijssen *et al.*, 2001).

3.2 Modelagem hidrológica

Nos Recursos Hídricos existem três tipos principais de modelos matemáticos: Modelos de Decisão, Modelos de Otimização e Modelos de Simulação – que está sendo utilizado nesse trabalho de pesquisa. Esse representa processos e permite antecipar as ocorrências e tomar decisões.

Modelo hidrológico constitui uma ferramenta, de grande potencial e utilidade, mas que não deve ser encarado como um objetivo. Segundo Maidment (1993), um modelo hidrológico pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. Ainda Maidment (1993), afirma que a hidrologia está estreitamente relacionada às condições climáticas e, portanto, modelos hidrológicos e atmosféricos deveriam estar acoplados, sendo que, na prática, um estreito acoplamento torna-se bastante dificultado, uma vez que modelos atmosféricos trabalham com resoluções espaciais muito maiores que as utilizadas na modelagem hidrológica.

Um dos principais questionamentos consiste em discutir o por que da necessidade dos modelos hidrológicos, já que é possível medir as variáveis hidrológicas. O uso dos modelos visa, principalmente, tentar estimar como seria ou será a resposta do sistema estudado a eventos futuros, antecipando-os. Consideram que a modelagem hidrológica é uma ferramenta científica desenvolvida com o intuito de se compreender e representar o funcionamento das bacias hidrográficas e simular diferentes cenários nestas. Porém, para sua utilização, é necessária uma boa definição dos objetivos do estudo abordado, visto que isso definirá o grau de detalhamento do modelo a ser adotado (Marinho Filho *et al.*, 2012).

Tabela 2. Relação entre as diversas áreas apoiadas pela modelagem hidrológica e respectivos modelos.

Área	Foco	Principais modelos
Transporte	<i>Navegação</i> : canal de navegação e eclusa; manutenção dos sistemas; níveis e calados; portos.	Precipitação-vazão para estimar a vazão; modelos de rios para estimativa do calado e de operação de barragem.
Desenvolvimento urbano	<i>Abastecimento de água</i> : regularização, adução, tratamento e distribuição.	Precipitação-vazão; balanço de reservatório; modelo Hidráulico da rede de condutos.
	<i>Tratamento de esgoto</i> : rede coleta, tratamento, despejo do afluente, impacto ambiental do afluente em rios, lagos, reservatórios e oceanos.	Hidráulica da rede coletora, qualidade da água de rios, reservatórios, lagos e estuários.
	<i>Drenagem urbana e controle de cheias</i> : redes pluviais, obras hidráulicas e previsão de enchentes.	Precipitação-vazão para dimensionamento e previsão de cheias; amortecimento em reservatório; remanso de rios e canais; qualidade da água de redes pluviais.
Energia	<i>Projeto e operação de hidrelétricas</i> : disponibilidade hídrica, regularização para energia firme, projeto de vertedores, diques, condutos, previsão de afluência de vazões e operação hidráulica dos reservatórios em tempo real.	precipitação-vazão para extensão de série temporal e previsão em tempo real para operação do sistema; balanço de reservatórios; hidráulico de rios e canais; modelo de dispositivos hidráulicos.
Controle de calamidades	<i>Rompimento de barragens</i> : eventos críticos.	Modelos hidráulicos de rompimento de barragens; modelos de precipitação-vazão e vazão-vazão em tempo real para estiagens e cheias.
	<i>Cheias</i> : alerta da população ribeirinha.	
	<i>Estiagens</i> : racionamento para abastecimento urbano e irrigação.	
Gerenciamento de recursos hídricos	<i>Concessão do uso da água. Controle do uso e conservação da água.</i>	Modelos de precipitação-vazão; regionalização de variáveis hidrológicas; modelos de balanço e escoamento em rios.
Sistema de informações	<i>Abastecimento de água: regularização, adução, tratamento e distribuição.</i>	Modelos hidrológicos para preenchimento de falhas; precipitação-vazão; estatísticos.
Produção agrícola	<i>Irrigação</i> : disponibilidade hídrica, regularização, necessidade hídrica agrícola e distribuição.	Precipitação-vazão, balanço de reservatório, balanço agrícola, projeto e otimização de rede de canais.
Controle ambiental	<i>Impacto de obras hidráulicas</i> : reservatórios, diques e <i>polders</i> .	Modelos hidráulicos e de qualidade da água de rios, reservatórios e de cargas difusas; hidráulicos e de qualidade de água de lagos e estuários; precipitação-vazão, erosão e transporte hídrico.
	<i>Impacto devido a despejo de afluentes</i> : efluentes industriais e domésticos.	
	<i>Impacto devido a uso do solo rural e urbano</i> : erosão do solo, impermeabilidade e rede de condutos.	

Fonte: adaptado de Fayal (2008). Citado por Marinho Filho *et al.* (2012).

Segundo Tucci (1998), quanto mais complexo são os sistemas e seus processos, mais desafiadores e necessários são os modelos que possibilitam prever situações futuras, algumas vezes passadas, porém sempre buscando direcionar ações de decisão. Os primeiros registros da elaboração de modelos hidrológicos datam da década de 30, entre eles destacam-se: a teoria da hidrógrafa unitária (Sherman, 1932) e a teoria da infiltração de Horton (1933), que buscaram identificar os fatores relacionados aos processos de transformação da precipitação em escoamento e suas interações. Até a década de 50, os chamados modelos empíricos eram os métodos utilizados em hidrologia se limitavam ao uso de indicadores estatísticos relacionados os processos hidrológicos.

Verifica-se que a modelagem hidrológica dá suporte a diversas áreas que fazem uso ou necessitam de informações referentes ao seu ciclo hidrológico, alguns exemplos de aplicações desses setores são apresentados na Tabela 1.

A modelagem hidrológica de grande escala na Amazônia tem sido realizada com diferentes objetivos e diferentes níveis de complexidade. Com passo de tempo mensal, Vorosmarty et al. (1989) apresentam uma das primeiras simulações na bacia Amazônica e Chapelon et al. (2002) apresentam simulações com o modelo ISBA.

Ribeiro Neto (2006), utilizou o Modelo para Grandes Bacias-IPH –MGB-IPH na bacia do Rio Madeira, apresentou e avaliou os resultados da variável vazões, além de avaliar a capacidade do modelo em representar os processos intermediários do ciclo hidrológico, e conclui que os resultados gerados, referentes às variáveis evapotranspiração, interceptação e umidade do solo concordam com dados observados em outros experimentos.

Siqueira Júnior *et al* (2015), utilizaram o modelo hidrológico distribuído desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - MHD-INPE, com a finalidade de avaliar os potenciais impactos de várias projeções climáticas globais sobre o regime hidrológico do rio Madeira, foram realizadas as projeções hidrológicas nos períodos de 1970-1990 e 2011-2099 e concluíram que os cenários de mudanças climáticas afetam descargas extremas, o aumento dos valores de Evapotranspiração e, em geral, a diminuição da Precipitação e da Vazão da bacia do rio Madeira.

3.3 O Modelo Hidrológico Distribuído MHD-INPE

O modelo hidrológico distribuído de grande escala foi desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, designado de MHD-INPE (Rodriguez, 2011; Siqueira Júnior. *et al.*, 2015). Este modelo é uma versão adaptada do Modelo de Grandes Bacias do

Instituto de Pesquisas Hidráulicas (MGB-IPH) (Collischonn *et al.*, 2007), onde foram realizadas modificações nas rotinas de estimativa da evaporação e de separação de fluxos.

A estrutura do MHD-INPE é composta por quatro módulos mostrados esquematicamente na Figura 1, são eles: balanço de água no solo; evapotranspiração; escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo e escoamento na rede de drenagem .

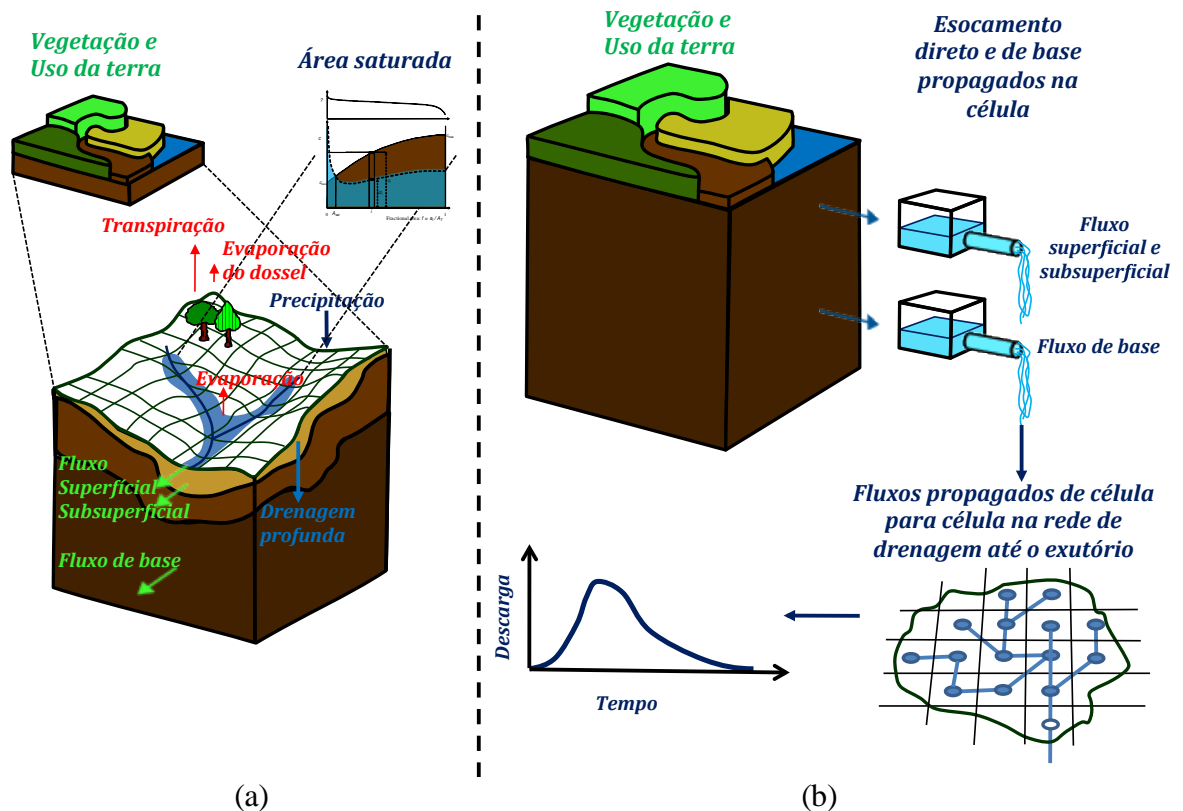


Figura 1. Esquema ilustrativo das etapas de separação do modelo hidrológico MHD-INPE. (a) escoamento; (b) fluxo propagado na rede de drenagem.

Fonte: Falck, 2016.

Para simular a resposta hidrológica a versão atual utiliza três camadas: uma superior, uma intermediária e uma inferior conforme mostrado esquematicamente na (Figura 2).

A camada superior comanda o fluxo subsuperficial e drena para a camada intermediária, que é responsável pelo fluxo vertical para a camada inferior. A camada intermediária funciona como um reservatório de água para vegetação com raízes muito profundas como ocorre em áreas de floresta e cerrado, além disso, não permite fluxos horizontais e pode ser excluída em casos de solos muito rasos. A camada inferior controla o fluxo de base e indiretamente o fluxo superficial por excesso de saturação. A estimativa de separação dos fluxos combina a abordagem do modelo Xinanjiang (ZHAO, 1992; ZHAO e

LIU, 1995) e a formulação utilizada no modelo TopModel (BEVEN e KIRKBY, 1979), a fim de representar os processos de geração de escoamento (Figura 1.a). De acordo com Rodriguez (2011) estas metodologias estão correlacionadas com os padrões de auto-organização observados na grande escala.

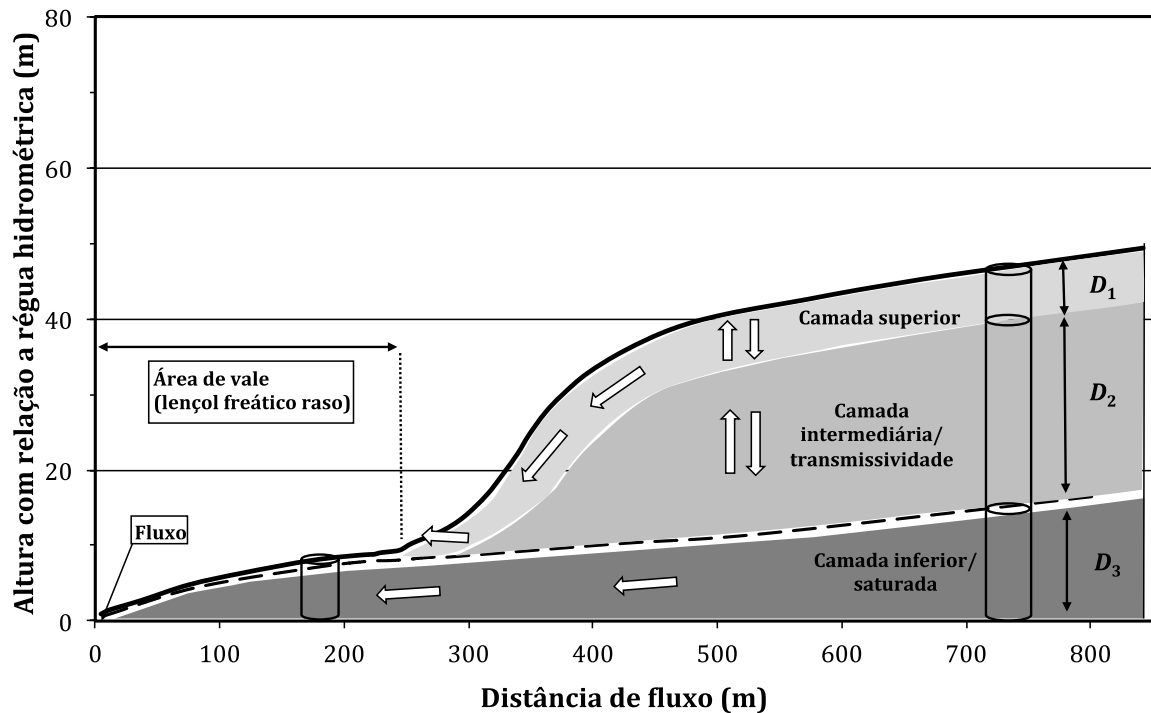


Figura 2. Esquema conceitual do modelo hidrológico MHD-INPE indicando os fluxos e sua direção e as diferentes camadas: superior, com espessura D_1 ; intermediária, com espessura D_2 ; e inferior, com espessura D_3 .
Fonte: Falck, 2016.

A formulação assume que a superfície do lençol freático é paralela à superfície e considerando uma variação não linear da transmissividade com a profundidade, (Beven and Kirkby, 1979; Iorgulescu and Musy, 1997). Considerando que o fluxo subterrâneo é máximo quando o armazenamento de água no solo é máximo, a seguinte equação para a estimativa de fluxo de base da camada inferior, Q_{sub} , pode ser deduzida:

$$Q_{sub} = \frac{T_{sub} \tan \beta}{\lambda_{\mu}^{\mu}} \left[1 - \frac{S_{max} - S_t}{S_{max} (1 - \xi)} \right]^{\mu} = \frac{T_{sub} \tan \beta}{\lambda_{\mu}^{\mu}} \left[\frac{S_t - \xi S_{max}}{S_{max} (1 - \xi)} \right]^{\mu} \quad (\text{Eq. 4.3.1})$$

Sendo T_{sub} a transmissividade quando o lençol freático atinge a superfície; $\tan \beta$ representa a declividade média do lençol freático na célula; S_{max} e S_t são, respectivamente, o valor máximo e o valor médio na célula no tempo t do armazenamento na camada inferior do solo;

ξ a razão o armazenamento na capacidade de campo e S_{max} ; μ é um parâmetro que determina a variação de transmissividade com a profundidade; and λ_μ é a média na grade da área de contribuição a montante por unidade de contorno. O armazenamento máximo S_{max} pode ser estimado pelo produto da porosidade do solo ϕ e a espessura média da camada saturada D_3 .

O valor médio da área de contribuição a montante por unidade de contorno, que geralmente varia entre 1 a 50 km, para um perfil de transmissividade de tipo potência (Iorgulescu and Musy, 1997), assim o parâmetro λ_μ é derivado conforme Equação 4.3.2., com resolução mais fina:

$$\lambda_\mu = \frac{1}{At} \int_0^{At} \lambda_i^\mu da_c \quad (\text{Eq. 4.3.2})$$

Onde λ representa a contribuição a montante por unidade de contorno elevada à potência μ e At a área da célula.

Usando um histograma da área de contribuição a montante da grade, é possível em cada passo de tempo estimar a fração de área saturada A_{sat} e, portanto o fluxo superficial por saturação Q_{sof} . Para levar em conta o retardo entre infiltração e recarga, o modelo MHD-INPE assume que cada unidade de grade é coberta por uma camada superior de solo espacialmente uniforme. Assumindo condições de drenagem livre, (gradiente unitário), o fluxo lateral na camada superior do solo é proporcional à área de montante. Integrando esta equação na área da célula, a seguinte equação é obtida:

$$Q_{ss} = \frac{\alpha D_1 K_{ss} \tan \beta}{\lambda_n^\eta} \left(\frac{SS_t}{SS_{max}} \right)^\eta \quad (\text{Eq. 4.3.4})$$

Sendo K_{ss} a condutividade hidráulica da camada superior do solo; D_1 a espessura da camada superior do solo; α um coeficiente que leva em conta a anisotropia do solo; η é o parâmetro de condutividade de Brooks Corey; SS_{max} é a capacidade máxima de armazenamento da camada superior do, solo igual ao produto de D_1 e a porosidade do solo; SS_t representa o armazenamento médio na célula no tempo t ; e λ_η é a área de contribuição média por unidade de contorno elevada à potência $1/\eta$. A diferença entre da camada superior do solo para a camada intermediária descontado o fluxo lateral (dado pela equação acima), resultam na seguinte equação de estimativa de fluxo entre as duas camadas Q_y :

$$Q_v = \frac{K_{ss}\lambda}{\lambda_n^\eta} \left(\frac{SS_t}{SS_{max}} \right)^\eta \left(1 - \frac{\alpha D_1}{\lambda} \right) \quad (\text{Eq. 4.3.5})$$

Para levar em conta retardo adicional devido à recarga do aquífero de grande espessura, e naqueles casos onde o sistema radicular desempenha um papel fundamental na manutenção de evaporação na estação seca, foi incluída a camada intermediária. Esta camada recebe a drenagem profunda Q_v , da camada superior do solo e contribui a recarga do aquífero Q_r de acordo com a seguinte equação:

$$Q_r = K_{ss} \left(\frac{SR_t}{SR_{max}} \right)^\eta \quad (\text{Eq. 4.3.6})$$

Onde SR_t corresponde ao armazenamento médio na grade da camada intermediária no tempo t , e SR_{max} representa a capacidade máxima de armazenamento na camada intermediária, igual ao produto da espessura da camada D_2 e a porosidade do solo. Para reduzir o número de parâmetros do modelo, assume-se que a condutividade saturada e o parâmetro η de condutividade da camada intermediária e do topo são iguais.

As equações de fluxo superficial Q_{sof} e o subsuperficial Q_{ss} geram taxas instantâneas que não consideram o roteamento dentro da célula. Para atenuar esses fluxos, usa-se reservatórios lineares similares aos usados no modelo MGB-IPH (Collischonn *et al.*, 2007), o que resulta em dois parâmetros adicionais: C_{sup} , que representa o retardo devido aos fluxos superficial e subsuperficiais C_{sub} , que representa o roteamento dentro da célula do fluxo de base Q_{sub} .

Cada célula da grade é sub-dividida em unidades de resposta hidrológica (URH) resultantes da combinação de usos da terra, tipos de solo e vegetação. O modelo MHD-INPE resolve o balanço de água para cada URH e calcula o valor de fluxo médio ponderado da área para cada célula de grade. Esta abordagem é comumente usada em modelos hidrológicos de grande escala (por exemplo, Liang *et al.*, 1994).

A perda d'água por interceptação é simulada no modelo utilizando a metodologia proposta por Gash *et al.*, (1995). A extração radicular profunda de captura d'água da vegetação desde o solo é resolvida considerando o modelo de distribuição de raízes de Jarvis (1989), baseado nas estimativas de evaporação, utilizando o método de Penman-Monteith (Monteith, 1965).

Conforme mostra a Figura 1-b, o modelo considera que as sub-bacias são divididas em células regulares ligadas entre si por canais que representam a rede de drenagem. Os fluxos de água gerados dentro de cada célula são propagados para os canais de drenagem usando reservatórios linear simples (RLS), e a troca do fluxo através desses canais entre as células é resolvido usando o algoritmo de Muskingum-Cunge (Cunge, 1969) com a mesma formulação implementada no modelo MGB-IPH (Collischonn et al., 2007).

Tabela 3. Lista de parâmetros do modelo MHD-INPE.

Parâmetro	Unidade	Intervalo	Significado físico
D_1	M	0-2	Espessura da camada superior
D_2	M	0-30	Espessura da camada intermediária
D_3	M	0-100	Espessura da camada inferior
K_{ss}	$m \text{ day}^{-1}$	0.001-36	Condutividade hidráulica saturada
α	-	1-10000	Coefficiente de anisotropia
T_{sub}	$m^2 \text{ day}^{-1}$	0.01-100	Transmissividade máxima na camada inferior do solo
ξ	-	0-1	Razão o armazenamento na capacidade de campo e S_{max}
μ	-	0.01-4	Parâmetro que representa a diminuição de transmissividade com a espessura da zona saturada
C_{sup}	day^{-1}	0.01-100	Parâmetro de roteamento para fluxo superficial e subsuperficial
C_{sub}	day^{-1}	0.001-100	Parâmetro de roteamento para fluxo base

A Tabela 3 apresenta os parâmetros calibrados e seu significado físico. Maiores detalhes sobre o modelo hidrológico MHD-INPE podem ser encontrados em Rodriguez (2011), e, Siqueira Júnior. *et al.* (2015).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de estudo

4.1.1 Aspectos climatológicos

A bacia do rio Madeira, conforme mostra a Figura 3, fica situada na porção sudoeste da bacia Amazônica à margem direita do Rio Amazonas, banhando os estados de Rondônia, Amazonas (sub-região do Madeira), Mato Grosso (porção noroeste) e Acre (pequena faixa a sudeste do estado), além de parte dos territórios boliviano e peruano. Esta bacia representa 22% do total da bacia Amazônica e se estende pela Bolívia (51%), Brasil (42%) e Peru (7%), com uma área total de drenagem de 1.324.727km² – a maior sub-bacia Amazônica (Muniz & Filizola Júnior, 2015).

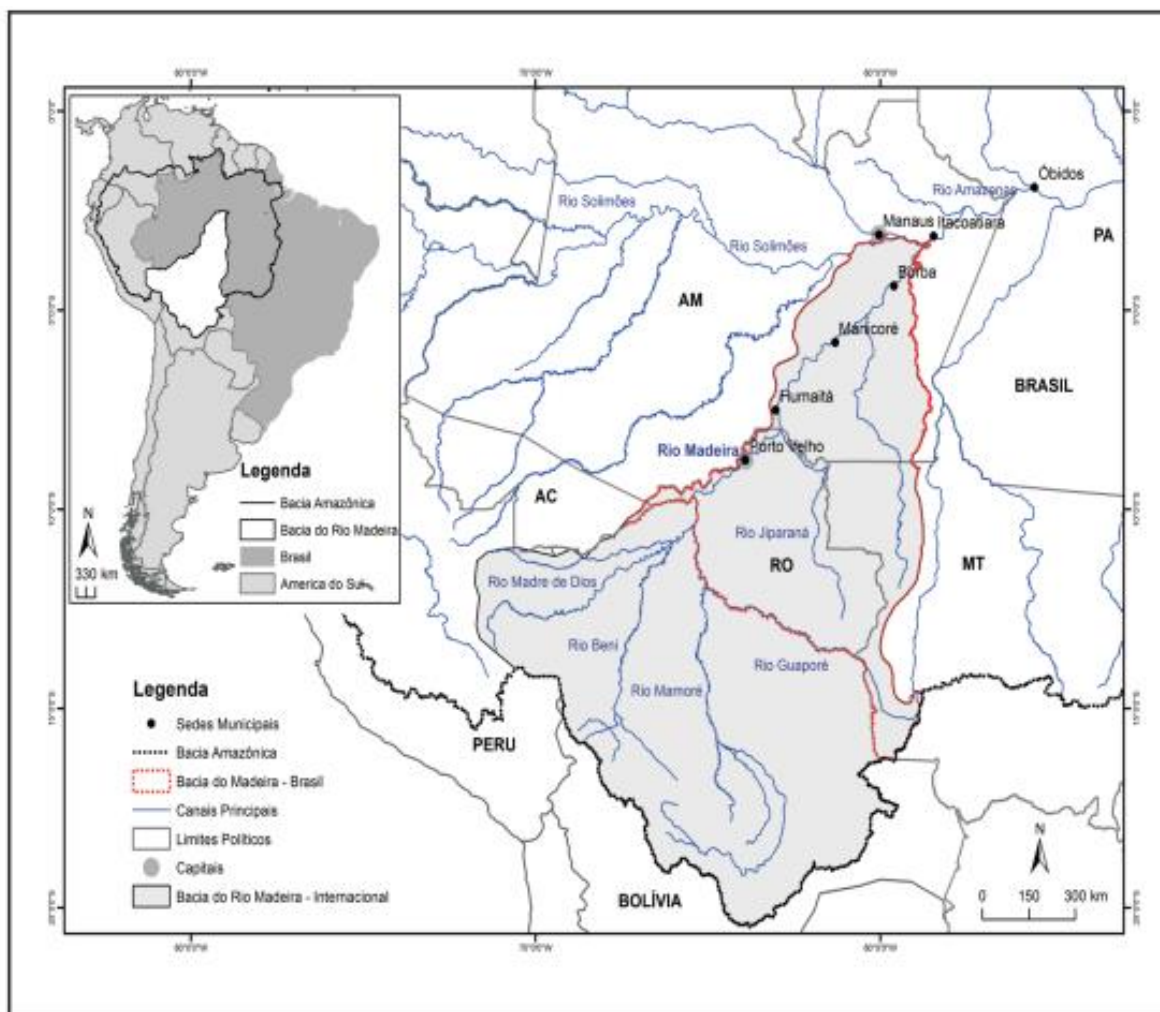


Figura 3: Mapa de localização da bacia do Rio Madeira.

Fonte: Muniz & Filizola Júnior, 2015

De acordo com Muniz & Filizola Júnior (2012) quanto ao clima da bacia do rio Madeira possui aspectos semelhantes à bacia Amazônica, caracterizando-se por um clima quente e úmido (clima equatorial) com temperatura média anual variando entre 24 e 26 °C na planície Amazônica.

Na região da bacia do rio Madeira, há um sistema de circulação atmosférica cuja localização geográfica influencia o regime pluviométrico da região. Trata-se da Alta da Bolívia (AB), anticiclone que se forma em alto nível da atmosfera durante os meses de verão e se situa sobre o altiplano boliviano. Estudos mais recentes tentam estabelecer uma correlação entre a posição da AB com o fenômeno El Niño (ENOS). Assim, quando o ENOS é mais intenso, a AB localiza-se mais a oeste da sua posição climatológica, causando um déficit no índice pluviométrico regional.

A pluviosidade média anual é de 1.940 mm, a descarga media anual é igual a 31.200 m³.s-1, a vazão específica é de 23,55 ls-1.km-2 e o coeficiente de escoamento igual a 0,38 (Molinier et al., 1994). A bacia do Madeira, possui baixa precipitação, coeficiente de escoamento e vazão específica, o que faz com que sua contribuição para a descarga total seja de apenas 15%, apesar de sua área corresponder a 23% do total da bacia amazônica (Ribeiro Neto, 2006).

4.1.2 Aspectos hidrológicos

O rio Madeira pode ser dividido em três trechos: alto madeira, identificado pelos seus formadores, o Mamoré e o Beni e trechos sem cachoeiras. As cheias ocorrem de novembro a maio e possuem duração variável. O trecho de corredeiras que se inicia à jusante da cidade de Guajará-Mirim - RO e termina na cachoeira do Santo Antônio, acima da cidade de Porto Velho-RO, constitui o médio Madeira. O trecho possui aproximadamente 360 Km de extensão com 18 corredeiras (“cachoeiras”) e um desnível de cerca de 179 metros, cuja declividade é da ordem geral de 20cm/Km. E por último, o baixo-madeira que compreende desde a cachoeira de Santo Antônio até sua foz no Amazonas. Neste trecho, o rio é francamente navegável durante todo o ano (PCE *et al.*,2002).

Os períodos de cheias são mais frequentes na bacia do rio Madeira do que os períodos de estiagem (seca), conforme afirma Muniz & Filizola Júnior (2015). O autor diz ainda que as 4 cheias mais importante para toda a área da bacia ocorreram nos anos de 1997, 2006, 2009 e 2012. Para análise do regime fluviométrico o autor utilizou o período entre 1980 a 2010, e constatou que como a bacia do Rio Madeira é muito ampla, verificaram na estações fluviométricas que a diferença dos níveis entre a máxima de enchente e mínima de vazante (a amplitude) é maior ao longo desse rio do que nos seus tributários.

No rio Madeira o regime hidrológico é caracterizado por um período de secas (julho-outubro) e um período de cheias (fevereiro-maio). As vazões mínimas do ano ocorrem com maior frequência em setembro, enquanto que as máximas verificam-se nos meses de março e abril. A flutuação média anual da água do rio varia na faixa de 10,8-12,4 m. A variação entre o pico de água alta e água baixa é de aproximadamente 15,4-21,8 m (PCE & Odebrecht, 2005).

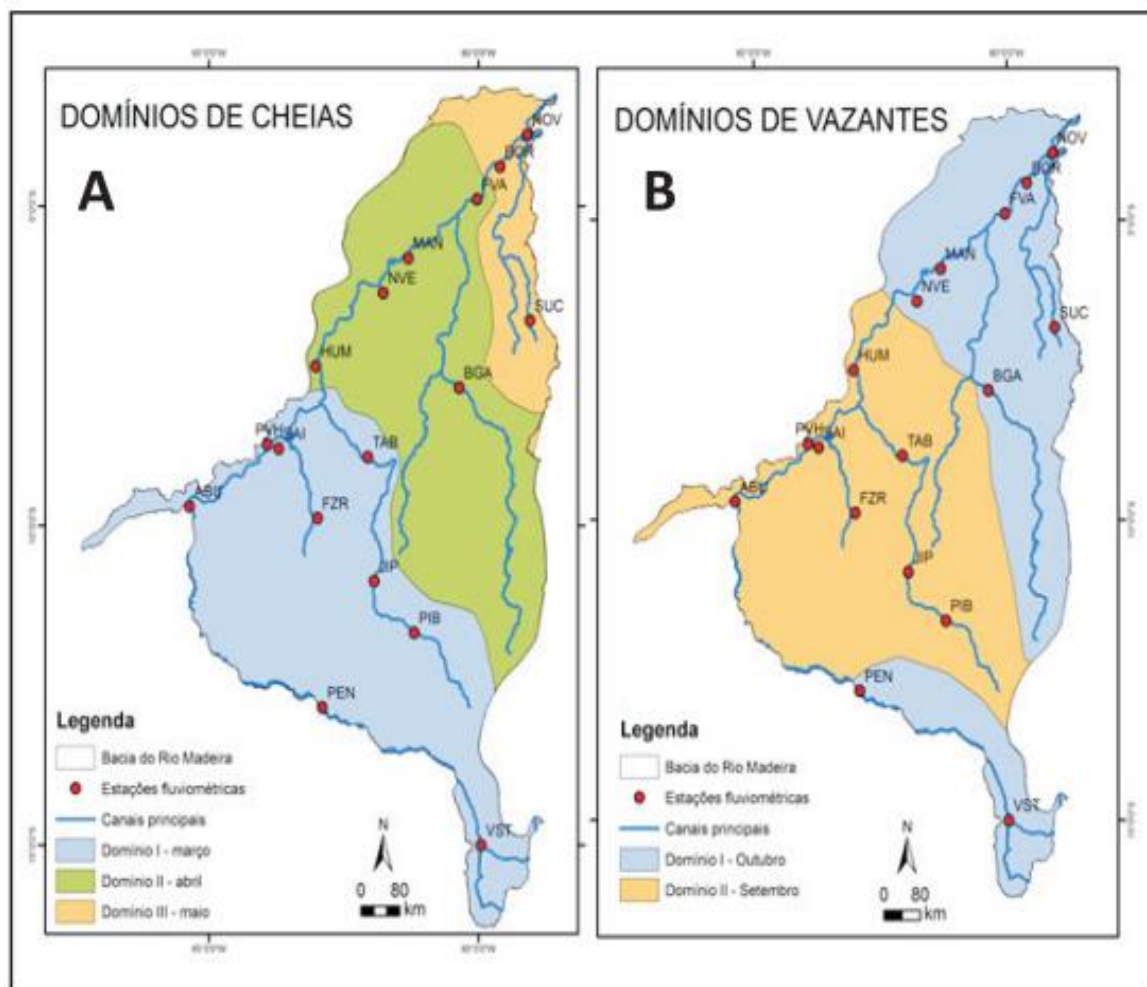


Figura 4: Mapa de classificação de domínios de cheias (A) e vazantes (B) na bacia do Rio Madeira.

Fonte: Muniz & Filizola Júnior, 2015

De acordo com Muniz & Filizola Júnior (2015), o nível do Rio Madeira pode chegar a uma diferença de mais de 18m entre seus períodos de cheia e de seca. A maior parte das estações da Bacia do Madeira registra período de enchente nos meses março, abril e maio com pico em abril com período de vazante nos meses de setembro e outubro, conforme Figura 4.

Os eventos críticos de cheia e estiagem não se comportam da mesma forma ao longo da calha do Rio Madeira. Muniz & Filizola Júnior (2015) comenta que estas características das variações do nível d'água na Amazônia devem-se a diferença de tempo entre os picos de vazão dos grandes tributários que provocam um efeito de barramento hidráulico (uma “barragem” formada pelas águas de rio impedindo que outro rio baixe) e com o armazenamento sazonal de águas em planícies de inundação ou “várzeas”.

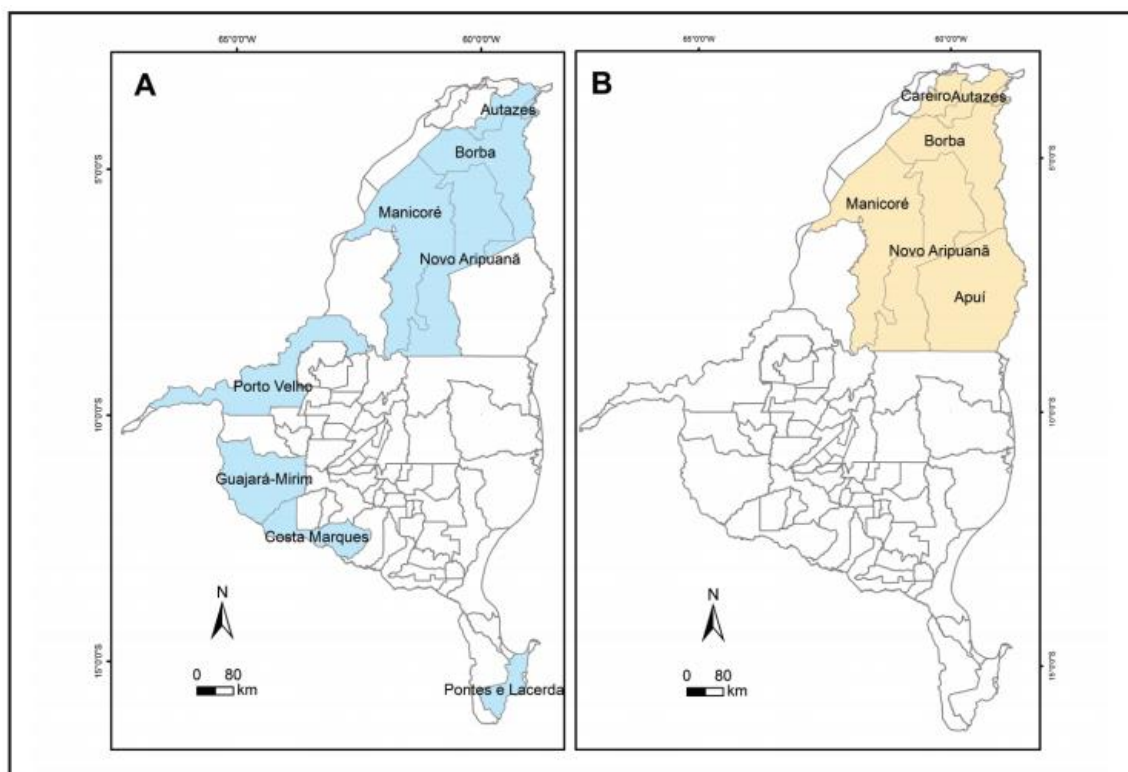


Figura 5: Distribuição dos municípios da bacia do Rio Madeira mais frequentemente afetados pelas cheias em azul (A) e pelas estiagens em bege (B).

Fonte: Muniz & Filizola Júnior, 2015

Devido ao período de cheias e secas, as pessoas da zona urbana e rural, sofrem consequências como falta de água, dificuldade de acesso nas vias públicas, transporte, inundações, falta de energia. Figura 5 mostra as cidades que foram mais atingidas pelos intensos períodos de cheias e estiagens no Rio Madeira.

4.1.3 Navegação na bacia do Rio Madeira

A bacia do rio Madeira possui superfície de 1.420.000 km², as condições de navegabilidade e transporte fluvial na bacia do rio Madeira são bastante diferenciadas em função de suas características físicas distintas ao longo do seu curso.

Segundo Padovezi (2003), o rio Madeira é navegável numa extensão de 1.056 km, entre Porto Velho e sua foz, no rio Amazonas, permitindo, mesmo na época de estiagem, a navegação de grandes comboios, com até 18.000 t.

Muniz & Filizola Júnior (2015), afirma que, em terras brasileiras torna-se navegável após as corredeiras de Santo Antônio no estado de Rondônia até desaguar no Grande Amazonas, 1.285 km depois. Sua foz principal está a cerca de 50km da cidade de Itacoatira (AM).

No trecho do Alto Madeira, cujos rios possuem conjuntamente mais de 4 mil km de trechos navegáveis, o rio Beni desde Rurrenabaque (Bolívia) apresenta trecho de 883Km com condições de navegação, com 1,2 m de calado até Riberalta, a montante da “Cachuela Esperanza”. Neste percurso o rio Beni recebe o rio Madre de Diós, o mais importante devido ser navegável por um trecho de 765 km até Puerto Maldonado, já no Perú.

Ainda no trecho do Alto Madeira, o rio Mamoré-Ichilo formado pelo rio Grande, que passa junto à cidade de Santa Cruz de la Sierra, e o rio Ichilo, onde encontram-se os portos hidrométricos de Villarroell e Puerto Grethel, apresenta trecho navegável de 1.317 km de extensão até Puerto Guayaramerim, maior porto do rio Madeira, em sua margem esquerda e oposto à cidade brasileira de Guajará Mirim, com calado de 1,0 m mínimo sazonal na seca.

O rio Mamoré-Ichilo recebe as águas do rio Guaporé (Iténez na Bolívia), a 108 km a montante de Guajará Mirim. O rio Guaporé possui cerca de 800 km de extensão, limitando a fronteira brasileira no estado de Rondônia, entrando em território nacional no estado do Mato Grosso. O rio Guaporé permaneceu economicamente navegável por comboios de 500 t até a construção da BR-364, que liga Cuiabá a Porto Velho, no início da década de 80.

No Trecho das Cachoeiras, formado pelo trecho final de 50 km, a partir de Guajará Mirim, do rio Mamoré até a foz do rio Beni e pelo trecho de 310 km do rio Madeira até a Cachoeira de Santo Antônio, cerca de 6 km a montante de Porto Velho, a navegação no rio é interrompida devido às diversas corredeiras e cachoeiras, totalizando 18 obstáculos com queda total de cerca de 60 m, que impedem o tráfego fluvial comercial.

Segundo Padovezi (2003), em épocas de cheias, a velocidade de corrente do rio Madeira é relativamente elevada com presença de troncos flutuando e descendo o rio, aumentando a probabilidade de choques com o casco do comboio.

O trecho do Baixo Madeira, desde Porto Velho até a foz no rio Amazonas, apresenta condições francas de navegação com calado de até 4,0 m, fora do período crítico de seca, de setembro a novembro.

Pode-se, ainda, considerar que, em função das características da hidrovia na estiagem, isto é, baixos níveis d'água observados, os comboios poderão assumir diversas configurações diferentes, desmembrados ou reagrupados, sendo que os pares de origem e destino das cargas a serem movimentadas e a potencialidade hídrica em cada estação do ano são os parâmetros que ditarão a conformação possível (PCE *et al.*, 2002).

4.2 Preparação de dados

Nesta seção é discutida a preparação dos dados, tais como: séries dos níveis hidrométricos observados, movimentação de mercadorias no Madeira, cenários de projeções climáticas e hidrológicas, transformação de dados de vazão em cota e a relação nível d'água vs transporte de cargas.

4.2.1 Séries dos níveis hidrométricos observados

Foram analisados dados consistidos de níveis hidrométricos de quatro estações da bacia do Rio Madeira do período de 2011-2014 disponíveis na rede hidrometeorológica do Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas (ANA). As séries históricas de 2010-2014 das seguintes estações: Porto Velho (código ANA: 15940004), Humaitá (código ANA:15630000), Manicoré (código ANA: 15700000) e Fazenda Vista Alegre (código ANA: 15860000).

A partir daí foram calculados as médias mensais totalizando quarenta e oito valores de cotas por amostra (estações), em centímetros.

4.2.2 Movimentação de mercadorias no Madeira

O rio Madeira é a fundamental via de escoamento para os consumidores do exterior, bem como da própria região amazônica. De acordo com a ANTAQ (2015), cerca de 85% do volume transportado na hidrovia do Madeira, no período de 2010-2014, refere-se a soja, milho, combustíveis e óleos minerais, sendo as duas primeiras mercadorias transportadas no sentido jusante (quando desce o rio) e a última no sentido montante do rio.

A hidrovia do rio Madeira, é muito utilizada para o escoamento de granéis sólidos agrícolas como a soja e o milho, produzidos no centro-norte mato-grossense. Essas mercadorias percorrem o trajeto de Porto Velho/RO a Itacoatiara/AM, onde a maior parte é exportada.

O Quadro 1 apresenta os principais grupos de mercadorias transportadas pelo modal aquaviário.

Quadro 1. Natureza da carga e grupo de mercadoria na navegação do rio Madeira

Natureza da Carga	Grupos de Mercadorias
Granel Líquido	Combustíveis
	Óleos Minerais
	Produtos
Granel Sólido	Minério de Ferro
	Soja
	Enxofre, Terras, Pedras, Gesso e Cal
	Milho
	Farelo de Soja

Fonte: ANTAQ, 2015

O fluxo de cargas (granel sólido e líquido) para este estudo foram obtidos e consolidados a partir dos relatórios de movimentação de cargas disponíveis no site da Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ, condensadas e organizadas mensalmente por embarque e desembarque nos trechos das respectivas estações, referente ao período de 2011-2014.

Devido à grande movimentação nas instalações portuária dos municípios do estudo, houve a necessidade de apresentar as mensurações das cargas transportadas nos dois sentidos (desembarque e embarque), a fim de conhecer o fluxo de escoamento de mercadorias e estimar a relação de entrada (desembarque) e saída (embarque) com a sazonalidade local.

4.2.3 Cenários de projeções climáticas

Os dados de vazão foram extraídos do estudo de Siqueira Júnior *et al.* (2015), que utilizou oito cenários de projeções climáticas denominados (CSR, CTL, HD2, HIG, IPS, LOW, MED e MR5), sendo que quatro desses cenários (CTL, LOW, MED e HIG) são membros do modelo regional atmosférico no Eta-CPTEC que utilizou um conjunto de condições de contorno do modelo HadCM-3 correspondente ao cenário A1B do AR4 (IPCC, 2007). Os outros quatro cenários são projeções globais dos modelos MIROC5, CSIRO-MK3, IPSL-CSMA-LR e HADGEM2 que correspondem aos novos cenários "Representative Concentration Pathways", RCP 4.5, do AR5. De todas as simulações de modelos disponíveis no AR5, foram escolhidas as simulações MR5, CSR, IPS e HD2, pois tem sido aplicado em muitos estudos sobre as mudanças climáticas na América do Sul (Siqueira Júnior *et al.*, 2015) (Tabela 4).

Tabela 4. Detalhes das simulações dos modelos climáticos

CENÁRIO	NOME DO MODELO	RESOLUÇÃO ESPACIAL	PERÍODO SIMULADO		REFERÊNCIA
			PERÍODO CLIMÁTICO	PROJEÇÕES	
HadCM3	The Hadley Centre HadCM3 global model	2.5°x3.75° latitude-logitude, with 19 levels in the vertical	1961-1990	2010-2100	(Gordon et al., 2000); (Collins et al., 2000)
CTL, LOW, MED e HIG	Eta-CPTEC regional model, scenarios using the HadCM3 boundary conditions	40-km horizontal resolution, 38 vertical layers	1961-1990	2010-2100	(Chou et al., 2011); (Marengo et al. 2011)
MR5	Model for Interdisciplinary Research on climate - MIROC5	T85 resolution with 40 vertical levels	1950-2005	2006-2100	(Hasumi 2004); (Watanabe et al. 2010)
CSR	CSIRO-Mk3.6.0	approximately 1.9° x 1.9° with 18 vertical levels	1950-2005	2006-2100	(Gordon et al. 2010); (Collier et al. 2011); (Rotstayn et al. 2010)
IPS	Institut Pierre Simon Laplace IPSL-CSMA-LR	3.75° x 1.875° in longitude and latitude respectively	1950-2005	2006-2205	(Marti et al. 2010); (Dufresne et al. 2013)
HD2	Hadley Centre Global Environmental Earth System Model version 2 (HadGEM2-ES)	1.25° x 1.875° in latitude and longitude with 38 layers	1850-2005	2006-2300	(Collins et al. 2011)

Fonte: Siqueira Júnior *et al.*, 2015

Para os dados do período de 1970-1990, foi utilizada a reconstrução da série histórica de Leite *et al.*, (2010), com resolução espacial de 5' x 5' e com um passo de tempo anual. Para o período de 2000-2100, foram utilizadas de mudanças climáticas com uso e cobertura da terra - tendências LUCC, produzido por Soares Filho *et al.*, (2006) para o cenário de "as-usual-business" (BAU), que fornece estimativas com resolução espacial de 1 km e um passo de tempo anual. Projeções LUCC são utilizadas como condições de superfície para integrações hidrológicas, enquanto projeções climáticas usadas aqui não consideram estas projeções LUCC.

Segundo Wood *et al.*, (2002), o viés da chuva e temperatura dentro do modelo de produção do clima restringe severamente o seu uso direto em aplicações hidrológicas. Assim, foram realizadas correções do viés usando dois métodos distintos: para estimativas de precipitação tanto para o presente quanto para o clima, foram corrigidos os erros sistemáticos dos modelos usando a transformação quantil-quantil (Q-Q), proposto por Bárdossy e Pegram (2011), este é baseado na comparação da distribuição de frequência cumulativa, FDC, de precipitação diária do modelo climático para o clima presente e do FDC dos dados observados em média, para a mesma porção da grade.

As diferenças entre os dois FDCs indicam o viés, que é específico para cada local e época. Portanto, dado um valor de grade de chuvas para o período de 1970-1990 produzido pelo modelo, determinou-se a probabilidade associada com esse valor utilizando a função de distribuição de frequência (empírica). Para o mesmo nível de probabilidade, o valor corrigido foi determinado a partir da função de distribuição empírica extraído da grade de dados observados.

Para as demais variáveis meteorológicas necessárias para estimativas de evaporação (como a radiação, a velocidade do vento, pressão atmosférica, a temperatura do ar e ponto de orvalho) os dados do modelo foram corrigidos usando o método de mudança delta (Hay et al., 2000).

A mesma abordagem foi utilizada para os cenários de projeções, dada a precipitação diária dos modelos, foi possível determinar a probabilidade correspondente e FDCs observados para o mesmo nível de probabilidade de o clima presente. Este método de correção estatística assume que erros sistemáticos permanecerão constantes para um determinado nível de probabilidade e desconsideram as condições meteorológicas, estruturas espaciais de chuva e as relações entre as variáveis termodinâmicas da atmosfera.

Projeções climáticas com correção de viés foram então usadas como entrada do modelo hidrológico MDH-INPE, para avaliar o impacto de mudanças climáticas sem o uso da terra-CC sobre as descargas fluviais nas médias mensais e várias assinaturas FDC (Curva de Duração do Fluxo), incluindo e excluindo trajetórias Lucc regionais. Os dados meteorológicos apresentam uma série diária para o clima atual (1961 a 1990) e futuro (2011 a 2099), no entanto para este estudo foi selecionado dados de 1970-1990 e 2011-2040.

4.2.4 Transformação dos dados de vazão em cota

A série temporal de dados das previsões de vazões dos oito cenários foi selecionada de acordo com as quatro estações fluviométricas de interesse do estudo: Porto Velho (B11), Humaitá (B16), Manicoré (B17) e Fazenda Vista Alegre (B19).

Por conseguinte, utilizaram-se dados de cota e vazão, disponibilizados no site da ANA (*Hidroweb*) para a determinação da curva chave de cada estação, conforme Figura 6.

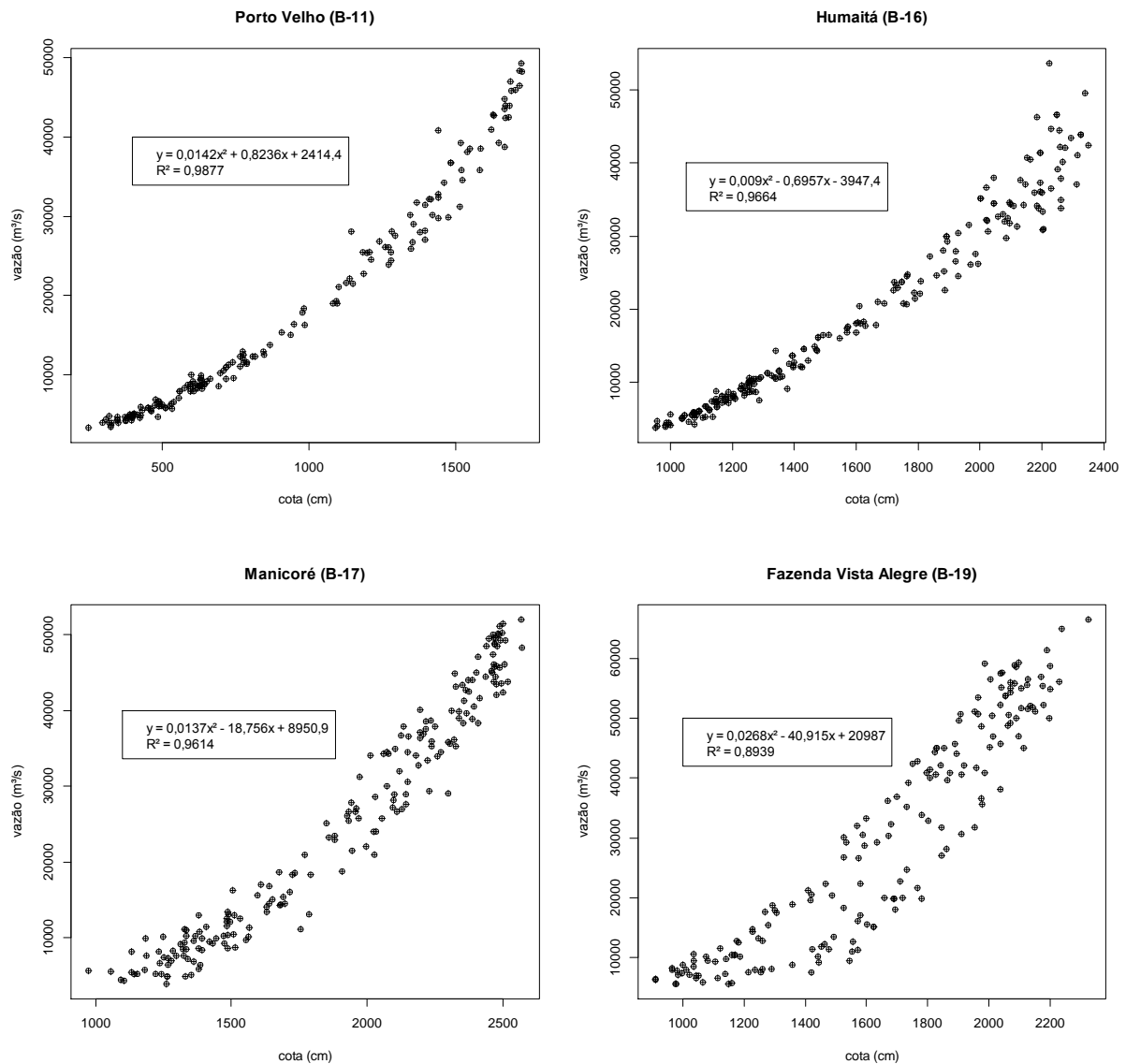


Figura 6. Dispersão entre cota e vazão (curva-chave), por estações.

Segundo Ribeiro Neto (2001), curva-chave é a relação entre a vazão e a cota d'água, cuja fórmula matemática mais utilizada é a polinomial ($Q = a_0 + a_1Z + a_2Z^2 + \dots + a_nZ^n$), onde Z é a cota referente à vazão, a e n são constantes determinadas para o local. De acordo com Jaccon e Canuto (1989), a relação cota e vazão é explicada pela função $Q = f(Z)$, onde cota (Z) e vazão (Q).

Como forma de ilustração, plotamos a dispersão das variáveis (cota vs vazão), bem como a função quadrática e seu respectivo coeficiente de determinação R^2 (Figura 6 e Quadro 2).

Verificamos que na Fazenda Vista Alegre a relação da curva-chave é não-unívoca (quando para uma mesma vazão há mais de uma cota).

Quadro 2. Estações utilizadas para o estudo e parâmetros da curva-chave

Estação	Lat	Lon	Area Drenagem (km ²)	Cota média (cm)	Função	R ²
Porto Velho	-8,75	-63,92	954285	1016,4	$y = 0,0142x^2 + 0,8236x + 2414,4$	0,9877
Humaitá	-7,50	-63,02	1066240	1690,9	$y = 0,009x^2 + 0,6957x - 3947,4$	0,9664
Manicoré	-5,82	-61,30	1157516	1958,0	$y = 0,0137x^2 - 18,756x + 8950,9$	0,9614
Faz. Vista Alegre	-4,90	-60,03	1310000	1702,8	$y = 0,0268x^2 - 40,915x + 20987,0$	0,8939

Segundo Meade *et al.* (1991) a Fazenda Vista Alegre apresenta a relação de vazões de regime uniforme e vazões em regime transitório, chamado efeito remanso. Na jusante, o efeito remanso, ocorre que durante às cheias a profundidade e a velocidade diminuem com a distância, enquanto que a velocidade aumenta com o tempo, sendo que no período de vazante, ocorre o inverso, ou seja, a vazão no período de estiagem será menor que a vazão em regime uniforme (Figura 6).

Como os resultados da aplicação das projeções climáticas ao modelo MHD-INPE geram séries de vazão, para cada cenário futuro foram recalculadas as cotas por meio da equação quadrática (Eq. 5.0):

$$cota = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4a(c - vazão)}}{2a} \quad \text{Eq. 5.0}$$

Em seguida, as estimativas diárias observadas da cota foram organizadas em médias mensais para o período de 2011-2040.

4.2.5 Relação de nível d'água vs transporte de cargas

A partir das cotas mensais médias reais, para cada estação do estudo, referente ao período de 2011 a 2014, disponibilizadas pela ANA, foram estabelecidos por meio da Regra de Sturges as amplitudes das classes (Eq. 5.1).

$$k = 1 + 3.322(\log_{10} n) \quad \text{Eq. 5.1}$$

Onde, n é o número de observações do conjunto de dados.

Para cada estação foram definidas nove classes, onde a cota mínima e máxima foi de 315,1 cm e 2869,0 cm nas bacias B11 e B17, respectivamente.

Calculou-se a média de cargas transportadas (embarque e desembarque) por estação e relacionou-se com os respectivos intervalos de cotas, a fim de projetar para os cenários futuros a quantidade média de cargas desembarcadas e embarcadas em cada estação em relação ao nível do rio real intervalar utilizando-se o método de interpolação linear (Tabela 5).

Estimou-se a previsão da movimentação média mensal de cargas para os oito cenários de mudanças climáticas (CC) e uso e cobertura do solo (LUCC) para o período de 2011 a 2040.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estimativas de movimentação de cargas

As estimativas de movimentação de cargas para o período base 1970-1990 e futuras 2011-2040 tiveram como referência do período de 2011-2014 por serem estas relações mais confiáveis (Tabela 5).

Tabela 5. Médias de mercadorias transportadas, em toneladas, segundo classes das cotas reais das estações.

COTA B-11			COTA B-17		
	Desembarque	Embarque		Desembarque	Embarque
315,1 -- 459,0	112.693,0	153.952,0	1313,0 -- 1451,0	140.193,0	185.980,0
459,0 -- 576,7	167.129,0	222.214,0	1451,0 -- 1568,0	141.101,0	162.234,0
576,7 -- 892,9	240.500,0	263.273,0	1568,0 -- 1836,0	247.571,0	306.439,0
892,9 -- 1013,0	293.139,0	314.159,0	1836,0 -- 1980,8	291.244,0	313.551,0
1013,0 -- 1251,9	277.204,0	339.757,0	1980,8 -- 2086,0	287.567,0	349.742,0
1251,9 -- 1420,0	295.117,0	355.279,0	2086,0 -- 2316,0	282.404,0	344.668,0
1420,0 -- 1573,1	304.018,0	403.904,0	2316,0 -- 2521,0	291.653,0	381.306,0
1573,1 -- 1918,1	313.295,0	316.616,0	2521,0 -- 2869,0	321.361,0	325.236,0
mais	313.295,0	316.616,0	mais	321.361,0	325.236,0
(a)			(c)		
COTA B-16			COTA B-19		
	Desembarque	Embarque		Desembarque	Embarque
1008,0 -- 1144,0	128.356,0	166.374,0	917,0 -- 1162,0	149.438,0	174.331,0
1144,0 -- 1261,0	151.466,0	209.793,0	1162,0 -- 1400,0	276.361,0	295.947,0
1261,0 -- 1537,0	200.500,0	263.273,0	1400,0 -- 1645,7	271.995,0	313.465,0
1537,0 -- 1697,0	297.149,0	320.041,0	1645,7 -- 1768,0	258.787,0	285.176,0
1697,0 -- 1959,0	279.168,0	366.523,0	1768,0 -- 1947,0	265.126,0	373.758,0
1959,0 -- 2076,0	293.442,0	336.610,0	1947,0 -- 2036,4	231.736,0	280.297,0
2076,0 -- 2242,5	305.975,0	386.532,0	2036,4 -- 2159,0	282.462,0	315.321,0
2242,5 -- 2502,0	307.039,0	320.009,0	2159,0 -- 2358,0	267.191,0	330.860,0
mais	307.039,0	320.009,0	mais	267.191,0	330.860,0
(b)			(d)		

No geral, o menor nível d'água observado, 315 cm, foi em Porto Velho (B-11), enquanto que a cota mínima observada na estação de Manicoré (B-17) foi de 1.313 cm, em média. Em termos de cargas transportadas, a Fazenda Vista Alegre (B-19) supera as demais estações no desembarque mínimo de mercadorias de 149.438 toneladas no intervalo de cotas entre 917-1.162 cm, tal relação, em média, ocorre entre setembro e outubro. (Tabela 5).

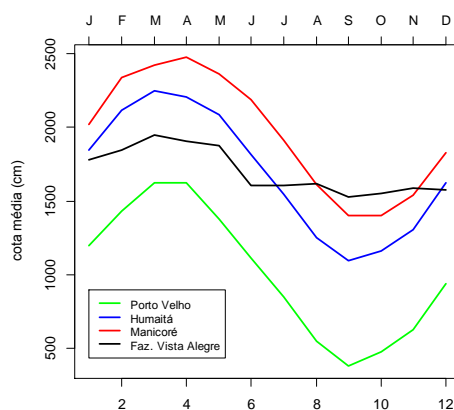


Figura 7. Variabilidade de cota média mensal do rio Madeira do período 2011-2014.

No período de 2011-2014, a amplitude média das variações de cota ficou entre 385 cm (Porto Velho) e 2.473,7 cm (Manicoré) em setembro e abril, respectivamente. Em termos médios da análise das quatro estações (Porto Velho, Humaitá, Manicoré e Fazenda Vista Alegre) apresentaram comportamento em que os períodos de cheias ocorreram, principalmente, de março a maio, tendo pico de cheia no mês de abril e o período de seca de setembro a novembro (Figura 7).

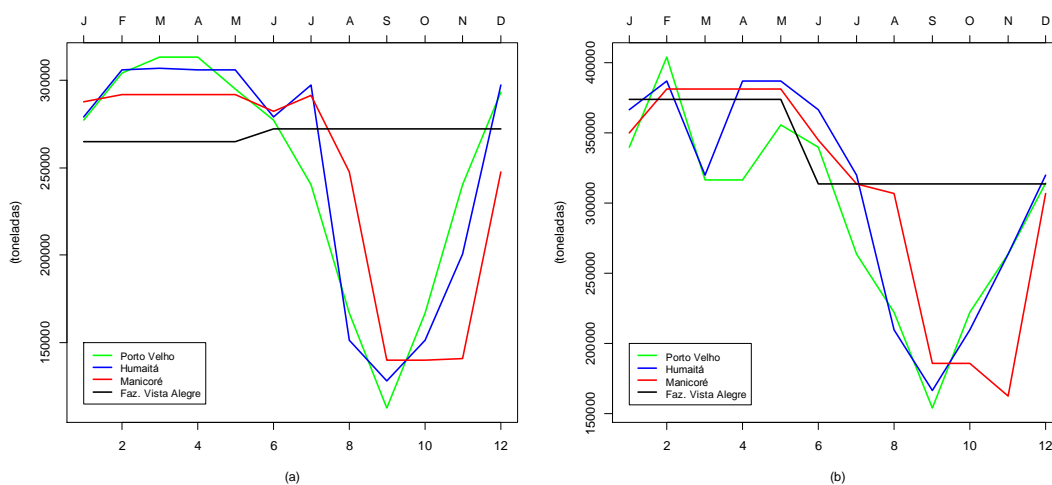


Figura 8. Comportamento sazonal de cargas transportadas da média mensal do período de 2011-2014. (a) cargas desembarcadas; (b) cargas embarcadas.

O comportamento do fluxo de cargas coincide com a sazonalidade das cotas do rio madeira. Os valores máximos observados de desembarque de cargas foram observados em Porto Velho, com 403.904 t, em níveis d'água entre 1420-1573,1 cm. Apesar de Manicoré apresentar maiores níveis d'água o fluxo máximo desembarcado foi de 261.593 t. As mercadorias embarcadas apresentaram comportamento similar às cargas desembarcadas, observou-se que a quantidade máxima embarcada foi em Porto Velho no mês de fevereiro (403.904 t) e o mínimo ocorreu no mês de setembro também em Porto Velho (153.952 t) (Figura 8).

5.2 Comparação das estatísticas das séries resultantes das projeções com o período histórico

Conforme Siqueira Júnior *et al.* (2015), cenários de mudanças climáticas afetam vazões extremas da bacia do rio Madeira, embora a conversão da floresta em pastagem reduza esse impacto no Alto Madeira, os efeitos de altas vazões são intensificadas no baixo Madeira.

Neste item apresentam-se as principais estatísticas do conjunto de dados de cargas estimadas para o período de 2011-2040 com cenários de mudanças climáticas com e sem o uso da terra, bem como as diferenças com relação ao período histórico de 1970-1990.

Realizou-se um teste estatístico com a finalidade de comprovar se as diferenças nas médias de cargas são estatisticamente significantes.

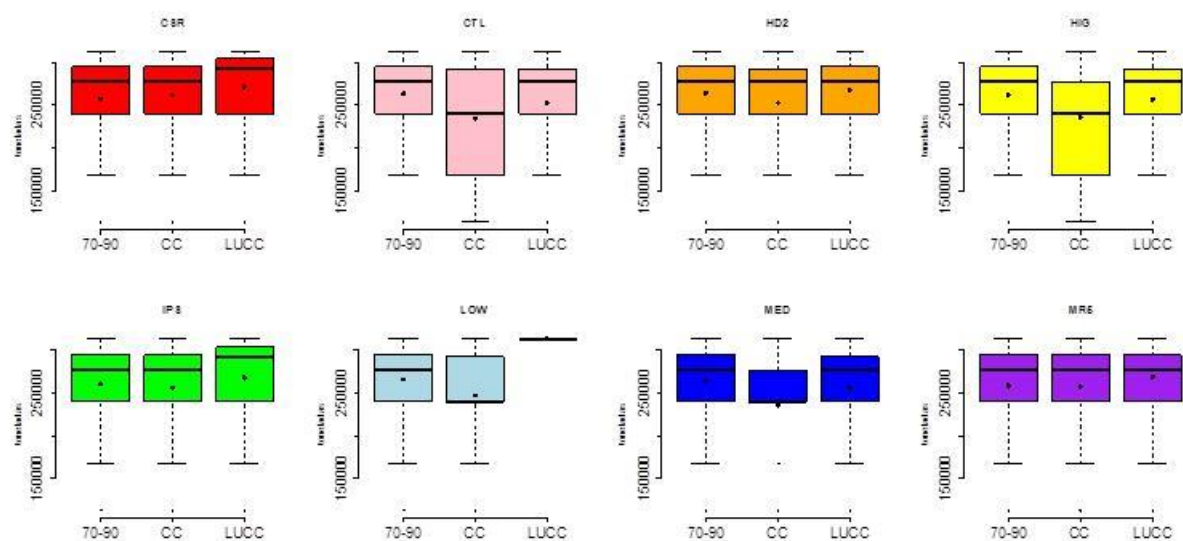


Figura 9. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Porto Velho (B-11). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

A Figura 9 mostra, na forma de diagramas Boxplots, as diferenças entre o período histórico (1970-1990) e o período 2011- 2040 considerando apenas mudanças climáticas (CC) e incluindo mudanças do uso da terra (LUCC) de cargas desembarcadas na estação de Porto Velho. As diferenças foram comprovadas por meio do teste estatístico *t-Student* para comparações de médias, ao nível de 5% de significância.

Quando consideradas as projeções sob impacto das mudanças climáticas, observa-se que os cenários CSR, IPS e MR5 não apresentaram diferenças significativas entre o período histórico e as projeções, conforme Tabela 10. No caso dos cenários CTL, HIG, LOW, MED, notam-se diferenças nas médias, enquanto que o teste *t-Student* apresentaram *p-valores* $< \alpha$. Notou-se que no período histórico 1970-1990, a mediana era de 277.204 t, nesses cenários a mediana foi de 240.500 t, ou seja, uma diminuição das cargas desembarcadas. Ao passo que valores máximos e mínimos e os desvios padrões entre o período histórico e as projeções, nota-se um comportamento similar nas projeções dos modelos CTL e HIG, especificamente um aumento no desvio padrão das cargas desembarcadas resultante de uma maior variabilidade das cotas, o que provoca fortes oscilações na capacidade de transporte. Em termos da variabilidade das séries, os cenários LOW e MED mostraram menor variabilidade com relação ao período histórico (Figura 9).

Se considerarmos as mudanças do uso da terra (cenário LUCC), notou-se, em termos de ponto médio, poucas alterações, entre o período histórico e o 2011-2040, referente às projeções CTL, HD2, HIG, MED e MR5, porém o teste *t* não apresentou diferenças significativas (*p-valores* $> \alpha$) para os cenários HD2 e HIG. Nos cenários (CSR, IPS, LOW) há um aumento no valor médio do período 2011-2040 com relação ao período 1970-1990, apresentado diferença significativas nos resultados teste *t*. No caso dos cenários CSR e IPS nota-se um aumento da variabilidade da capacidade de embarque, associado a uma maior variabilidade nas séries de níveis d'água nestes dois cenários. Em geral, os impactos na navegação devidos às mudanças climáticas (CC) são reduzidos no caso dos cenários com uso da terra (LUCC), devido à diminuição da evaporação associada com a substituição de florestas por pastagem (Siquiera Júnior *et al.*, 2015) ocasionando aumento de vazões, o que favorece o transporte de cargas (Figura 9).

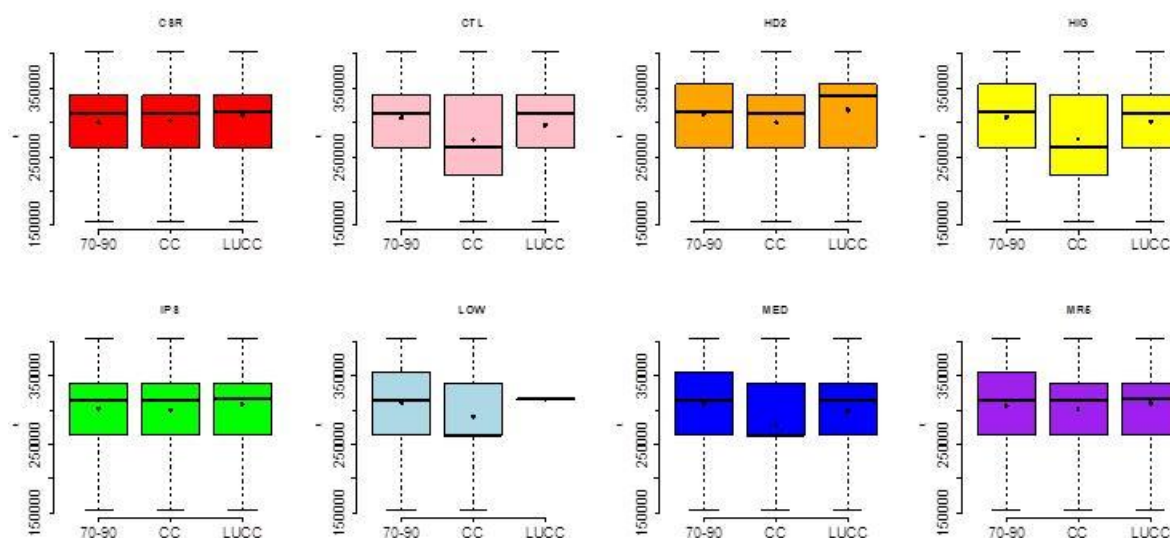


Figura 10. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Porto Velho (B-11). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

Os Boxplots da Figura 10 apresentam as diferenças entre a série histórica de 1970-1990 e as projeções de 2011-2040 sob efeito de mudanças climáticas (CC) e mudanças do uso da terra (LUCC) para oito projeções no embarque de cargas na estação de Porto Velho. Ao analisar os cenários, nota-se que CSR e IPS apresentaram comportamento similar (em relação à variabilidade dos dados), não indicando diferença entre a série histórica (1970-1990) e as projeções (2011-2040). Para efeito de comparações de médias, aplicou-se o teste *t* de *Student* comprovando que além dos cenários CSR e IPS, o cenário MR5 também apresentou embarque médio de cargas significativamente semelhante ao período histórico.

Para os cenários CTL, HIG, LOW, MED, considerando apenas as projeções sob efeito de CC, percebe-se diferença na mediana e na variabilidade dos dados. Na série histórica (1970-1990) em tais cenários, as medianas foram 314.159 t, 316.616 t, 315.388 t e 314.159 t, respectivamente, enquanto que para as projeções (2011-2040) o valor das medianas foi de 263.273 t, ou seja, houve uma diminuição das cargas embarcadas. Os cenários CTL e HIG apresentaram comportamento similar no período de previsões quando comparado através dos seus quartis, bem como os seus desvios padrões. Esses cenários também apresentaram mediana e média menor, como também caixas maiores, o que proporciona uma maior dispersão. Pode-se perceber que houve ocorrências de níveis d'água impactando em menores volumes de cargas transportadas. Os cenários LOW e MED também apresentaram características semelhantes, com pouca variabilidade em relação ao período histórico. No teste estatístico para comparações de médias de cargas embarcadas entre os cenários (CTL, HD2,

HIG, LOW e MED) com período histórico, verificou-se $p\text{-valores} < \alpha$, aceitando a hipótese de que há diferença significativa desses cenários de projeções 2011-2040 em relação a 1970-1990 (Figura 10).

Para as projeções sob efeito de mudanças climáticas com o uso da terra, houve poucas alterações entre os períodos de 1970-1990 e 2011-2040. Conforme resultado do teste estatístico t , os cenários CSR, CTL e MED apresentaram diferenças significativas em relação às médias das cargas desembarcadas das projeções com o período histórico. No cenário HD2 houve uma elevação dos valores médios e medianos das projeções com relação à série histórica, o que ocasionou um aumento da variabilidade da capacidade de embarque, correlacionado a uma maior variabilidade em níveis d'água neste cenário. LOW apresentou valor constante de cargas embarcadas (mínimo e máximo), ou seja, com as mudanças climáticas do uso da terra os níveis d'água variaram entre 18606,7 cm a 44258,6 cm (acima do real para esta estação), correspondendo ao intervalo real de cota máxima (1918,1 cm), portanto considerou-se o embarque constante de 316.616 t neste cenário (Figura 10 e Tabela 5).

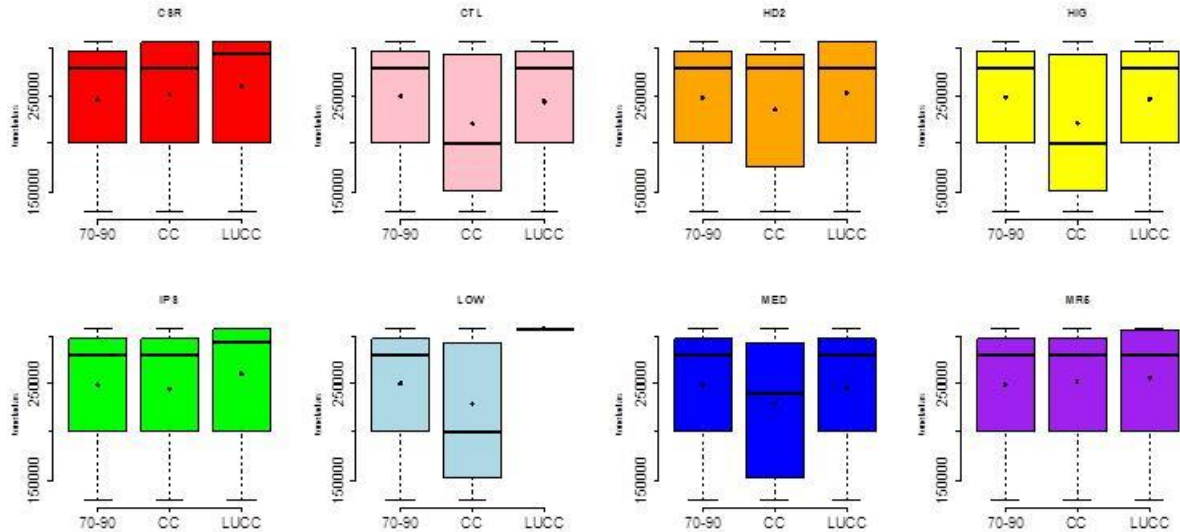


Figura 11. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Humaitá (B-16). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

A Figura 8 compara usando diagramas boxplots das cargas desembarcadas na estação de Humaitá no período histórico de 1970-1990 e as projeções para 2011- 2040 sob efeito de mudanças climáticas (CC) e do uso da terra (LUCC) para cada cenário da estação de Humaitá.

Observando as projeções com mudanças climáticas, nota-se que os cenários CTL, HIG e LOW, obtiveram valor mediano igual a 200.500 t, enquanto que, no período histórico, a mediana apresentou 279.168 t, indicando que houve influência na redução das cargas desembarcadas. No caso dos cenários CSR, IPS e MR5, nota-se que estes apresentaram comportamento similar (em relação a variabilidade dos dados), não indicando diferença significativa entre a série histórica (1970-1990) e as previsões (2011-2040), comprovado por meio do teste de comparações de diferença entre médias (*t-Student*), conforme Tabela 10. No cenário CSR o limite superior é igual ao terceiro quartil devido aos dados que se encontram acima da mediana serem constantes, o que implica no não aparecimento da linha de *whisker* do limite superior. Quanto aos valores dos quartis e dos desvios padrões entre a série histórica e as projeções, os cenários CTL e HIG apresentaram um comportamento similar e ao aplicar o teste *t* entre esses dois cenários de CC, constatou-se similaridade entre as médias das cargas desembarcadas ($p\text{-valor}=0,84$). Considerando os períodos de projeção sobre efeito das mudanças climáticas, alguns cenários obtiveram mediana menor e caixas maiores, causando maiores dispersão e diferença entre os períodos observados, é o caso dos cenários CTL, HIG, LOW e MED, percebe-se que houve ocorrências de níveis d'água impactando em menores volumes de cargas desembarcadas. Realizou-se o teste de comparação de médias de cargas com a finalidade de ratificar o que foi observado nos gráficos de boxplots, os resultados apontaram desigualdade entre os seguintes cenários do período histórico e projeções: CTL, HD2, HIG, LOW e MED (Figura 11).

Se considerarmos as projeções sob efeito de mudanças climáticas de uso da terra, Figura 11, as projeções HD2 e MR5 sofrem alterações mínimas entre o período histórico e de projeções. No caso dos cenários CSR e IPS há um aumento na mediana do período 2011-2040 com relação ao período 1970-1990, exercendo um aumento da variabilidade de 50% da capacidade de desembarque, associado a uma maior variabilidade nas séries de cota do rio. Observaram-se diferenças significativas dos efeitos de LUCC sobre o período histórico nas médias das cargas desembarcadas, $p\text{-valor}<\alpha$, nos seguintes cenários: CSR, IPS e LOW. O embarque de mercadorias sob LUCC do cenário LOW obteve comportamento similar ao desembarque/embarque de mercadorias sob efeitos de LUCC na estação de Porto Velho, ou seja, mudanças climáticas do uso da terra influenciaram na ocorrência de níveis d'água muito altas, acima do intervalo de cotas reais estabelecido, logo, para efeito de quantidade de mercadorias desembarcadas nesta estação, estimou-se a constante de 307.039 t.

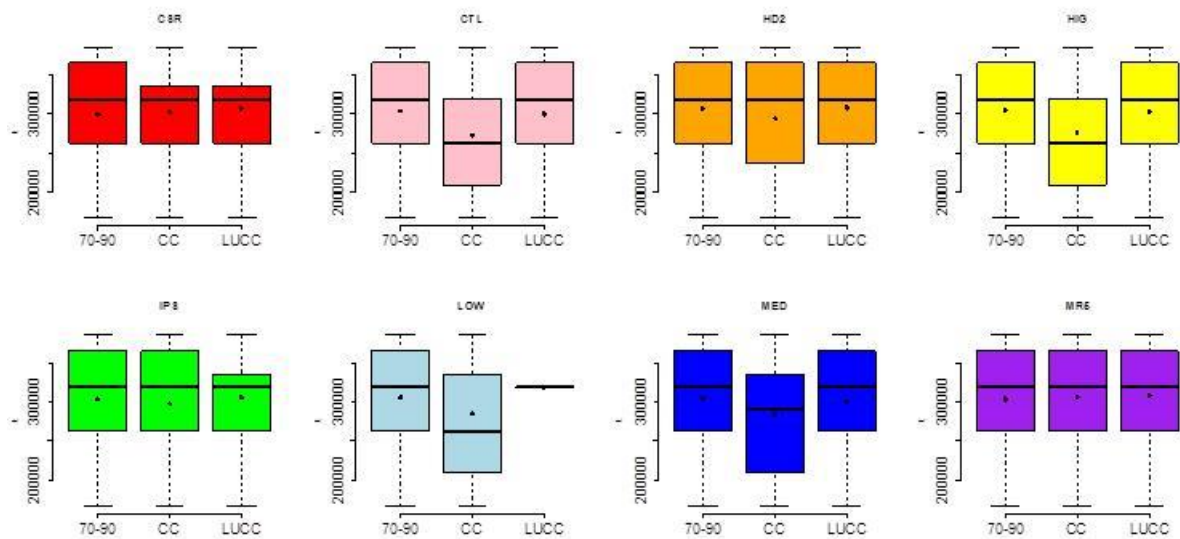


Figura 12. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Humaitá (B-16). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

O diagrama de Boxplot para cargas embarcadas, ilustrado na Figura 12, mostra as diferenças entre o período histórico 1970-1990 e o período 2011-2040 considerando apenas mudanças climáticas (CC) e incluindo mudanças do uso da terra (LUCC) na estação de Humaitá.

As projeções com mudanças climáticas, nos cenários IPS e MR5 não apresentaram diferenças entre o período histórico e as projeções. No caso dos cenários CTL, HIG, LOW e MED existem diferenças nas medianas e médias, enquanto no período histórico 1970-1990, a medianas eram de 320.009 t, nesses mesmos cenários, nas projeções de 2011-2040, os valores medianos foram de 263.273; 263.273; 263.273t e 291.641 t respectivamente, implicando numa diminuição das cargas desembarcadas. Os cenários CTL e HIG apresentaram comportamento parecido, tais cenários obtiveram uma maior dispersão, médias e medianas menores nas cargas embarcadas, decorrente da variação das cotas, o que impacta na capacidade de transporte. Foi realizado o teste t entre esses dois cenários (CTL e HIG) de CC, resultando em $p\text{-valor} > \alpha$, logo as médias de mercadorias desses cenários em função de CC são iguais. Os cenários LOW e MED mostraram maior variabilidade e menores valores médios com relação ao período histórico. O teste t apontou que as projeções de cargas médias embarcadas dos cenários CSR, IPS e MR5 foram similares com o período histórico ao nível de 5% de significância.

Para as mudanças do uso da terra, os cenários CTL, HD2, HIG, MED e MR5 mostraram poucas alterações entre o período histórico e o período de projeção. Nos outros

cenários, como CSR, IPS e LOW há uma menor variabilidade aumento na média do período 2011-2040 com relação ao período 1970-1990. No caso dos cenários CSR e IPS apresentaram caixas menores, o que proporciona uma menor dispersão do período 2011-2040 com relação ao período 1970-1990, exercendo uma menor dispersão da capacidade de embarque, apesar de variâncias iguais. Em geral, o teste estatístico t ratificou que a média de cargas embarcadas, sob efeito de LUCC, é diferente somente no cenário LOW em relação ao período de 1970-1990 (Figura 12).

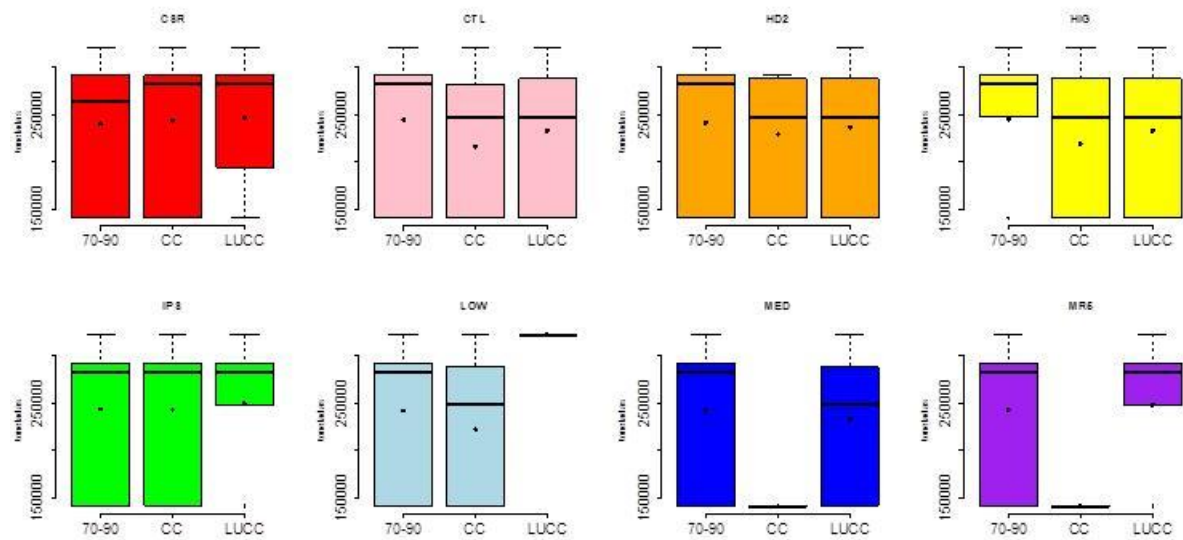


Figura 13. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Manicoré (B-17). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

Em Manicoré, as projeções de cargas desembarcadas nos cenários de mudanças climáticas foram impactadas por redução do transporte de cargas na maioria dos modelos em relação ao período histórico. No caso dos cenários MED e MR5 notam-se comportamento atípico nas séries de movimentações de cargas, consequências de impactos de CC nas projeções de cotas estimadas nesta estação, que variaram entre 752,2 e 809,2 cm, equivalente ao nível d'água para capacidades mínimas de cargas desembarcadas em dados reais. Já a projeção de CC para o cenário IPS não apresentou diferença quando comparado ao período histórico. Nos cenários CTL, HD2, HIG e LOW, observaram-se mediana e média inferior a do período histórico, sugerindo redução da movimentação de mercadorias desembarcadas nesta estação. A mediana do cenário CSR foi de 282.404 t, superior a observada no período de 1970-1990 que foi de 264.988t, indicando aumento no volume de cargas desembarcadas, ocasionado por acréscimo de níveis d'águas. Para fins de comparação das médias de desembarque de mercadorias do período 2011-2040 em relação a 1970-1990, o teste t

apresentou os seguintes resultados: as projeções de CSR e IPS apresentaram similaridade nas médias das cargas desembarcadas comparados ao período histórico, enquanto que as médias de desembarque das demais projeções (CLT, HD2, HIG, LOW, MED e MR5), ao nível de 5% de significância, são diferentes ao período histórico (Figura 13).

Em termos de mudanças climáticas do uso da terra, conforme Figura 13, notou-se que a maioria dos cenários manteve valores medianos e médios equivalentes aos observados em CC. No entanto, o desembarque de mercadorias no cenário LOW se mostrou constante em 325.236 t, oriundo de cotas elevadas em todos os períodos. Em relação ao período histórico, os cenários IPS e MR5 apresentaram mediana equivalente a projeções LUCC, porém com menor variabilidade de volume de cargas transportadas entre o valor mínimo e primeiro quartil da série. Em geral, nas maiorias dos cenários de previsões de impactos no volume de mercadorias transportadas nesta estação, ocasionados por CC, tendem a reduzir a capacidade de transporte. Com relação aos efeitos gerados por LUCC, quatro cenários (CSR, IPS, LOW e MR5) diminuem a variabilidade e aumentam o volume de mercadorias desembarcadas, os demais cenários apresentaram comportamento oposto quando comparados ao período de 2011-2040. Tais oscilações estão associadas a variações nos níveis d'água. Em geral, resultados do teste *t* apontaram, ao nível de 5% de significância, que as médias de cargas desembarcadas nas projeções de mudanças climáticas do uso da terra nos cenários CTL, HIG e LOW são diferentes às médias de desembarque de cargas do período histórico (Figura 13).

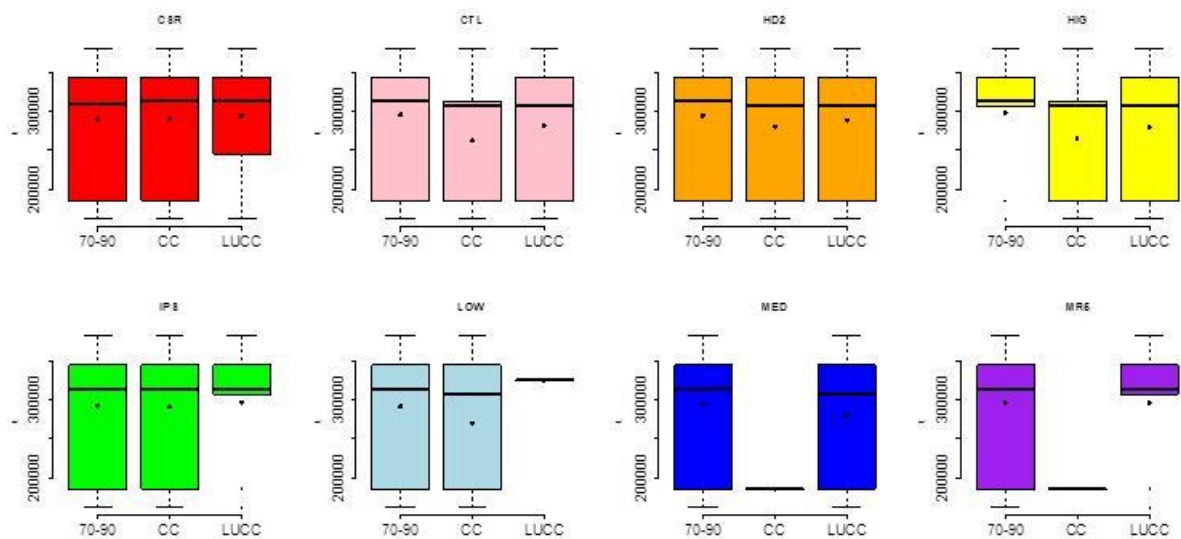


Figura 14. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), na estação de Manicoré (B-17). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

No geral, em cenários de mudanças climáticas sem o uso da terra as cargas embarcadas na estação de Manicoré apresentaram comportamento semelhante às cargas desembarcadas nesta estação (Figura 13). Assim, cenários como MED e MR5 também apresentaram comportamento atípico, no entanto ambos permaneceram constante com valores de 185.980t (equivalente a 25% do total de cargas transportadas no período histórico) o que corresponde ao mínimo da capacidade de cargas, visto que as cotas sempre permanecem menores. Ainda em relação à CC, nos cenários CTL e HIG houve uma redução do volume de mercadorias no terceiro quartil, ou seja, 75% do total de cargas embarcadas foram equivalentes a 50% mercadorias embarcadas no período histórico, resultante de cotas menores devido às mudanças climáticas. No caso dos cenários CSR e IPS notou-se que não apresentaram diferença entre o período histórico e as projeções. O teste estatístico *t* confirma a suposição das médias de cargas embarcadas, sob efeito de mudanças climáticas, nas projeções de 2011-2040 serem iguais ao período de 1970-1990 nos seguintes cenários: CSR e IPS. Embora as projeções dos cenários HD2 e LOW apresentassem leve semelhança, em termos de quartis, quando comparadas ao período histórico, comprovaram-se diferenças significativas nas médias do desembarque de mercadorias por meio do teste *t-Student* (Figura 14).

Devido aos potenciais impactos de mudanças climáticas com uso da terra, os níveis d'água do cenário LOW permaneceram no intervalo de cotas médias do período histórico, assim estimativas preveem constantes mercadorias embarcadas de 325.236 t. Os cenários IPS e MR5 apresentaram comportamentos semelhantes entre si, no entanto ambos sofreram influência de LUCC, indicam uma capacidade de transporte, em média, 297.312 e 295.234 toneladas, respectivamente. Projeções de embarque de mercadorias nos cenários CTL, HD2 e MED não apresentaram diferença quando comparados ao período de 1970-1990. Houve maior variabilidade do volume de cargas no cenário HIG, associado a uma maior variabilidade nas séries de cotas. Em termos de transporte médio de cargas, o teste *t-Student* resultou em diferenças significativas ($p - \text{valores} < \alpha$) nos cenários CTL, HIG, LOW e MED de projeções LUCC comparados ao período histórico (Figura 14).

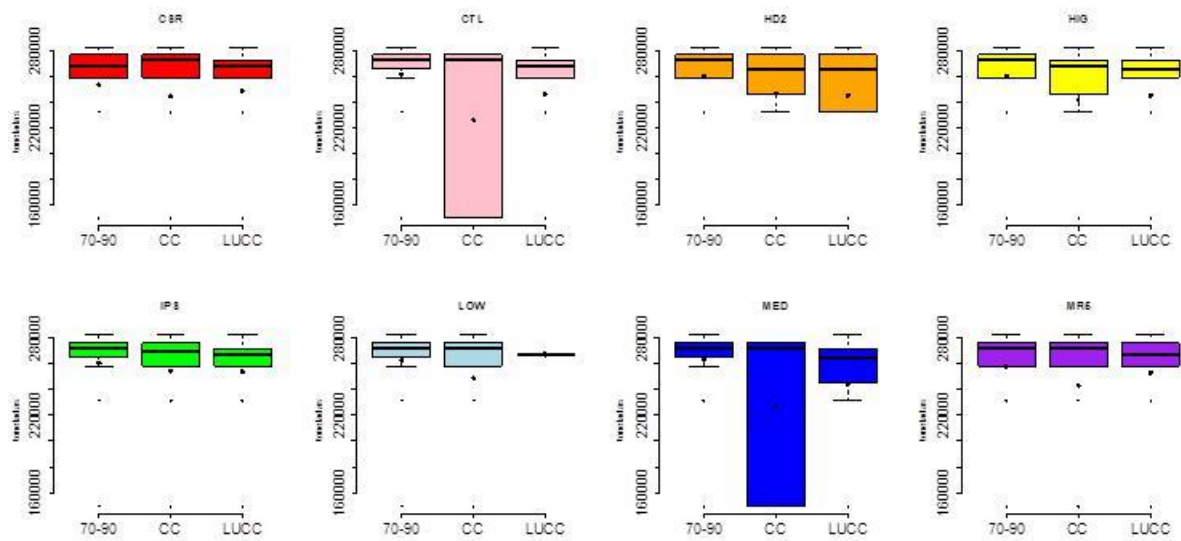


Figura 15. Diagrama Boxplot para as cargas desembarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCC), em Fazenda Vista Alegre (B-19). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

A Figura 15 compara cargas desembarcadas em Fazenda Vista Alegre estimadas no período 1970-1990 e projeções para o período 2011-2040 considerando mudanças climáticas incluindo ou não mudanças do uso da terra. Segundo Siqueira Júnior *et al.* (2015), a maioria dos cenários nas simulações de CC apresentaram redução de vazão ao longo do período, o que implicou na redução de cotas quando comparados ao período histórico, assim, as estimativas de cargas desembarcadas nesta estação foram impactadas nos seguintes cenários: CSR, HD2, HIG, IPS, LOW e MR5, nestes cenários o desembarque de 25% de mercadorias permaneceu entre 149.438 t e 258.787 t, inferior ao período histórico que apresentou desembarques entre 258.787 t e 265.126 t. Os demais cenários (CTL e MED) mantiveram 25% do total as mercadorias desembarcadas na mesma quantidade mínima observada no período de 1970-1990. Por meio do teste estatístico *t-Student*, comparou-se as médias de desembarque de mercadorias das projeções de 2011-2040 com o período histórico, confirmando que todos os oito cenários são diferentes ao nível de 5% significância.

Conforme resultados Siqueira Júnior *et al.* (2015), quando inseridos projeções LUCC, verificou-se que LOW obteve um aumento da curva de duração de fluxo no intervalo médio, o que implica uma estação chuvosa mais duradoura, sugerindo cotas mais elevadas nesta estação, acima da média de CC e do período histórico, contudo o desembarque de cargas manteve-se constante em 267.191 toneladas. As dispersões e reduções nos volumes de cargas desembarcadas nesta estação são notadas nos cenários HD2 e MED, em relação ao período de 1970-1990. Os demais cenários (CSR, CTL, HIG, IPS e MR5) apresentam similaridade no

desembarque de mercadorias quando as projeções são comparadas ao período histórico, ou seja, mudanças climáticas do uso da terra pouco influenciaram nos níveis d'água em Fazenda Vista Alegre. A média de desembarque de cargas de projeções LUCR com relação ao período 1970-1990, só foram iguais nos cenários CSR e MR5, conforme resultado do teste *t-Student* (Figura 15).

No geral, mudanças climáticas (CC) impactam na redução do volume de mercadorias desembarcadas, ocasionadas por ocorrências de menores valores de cotas, enquanto que em mudanças climáticas do uso da terra, impactos de redução de cargas desembarcadas são menos percebidos quando comparados ao período histórico de 1970-1990 (Figura 15).

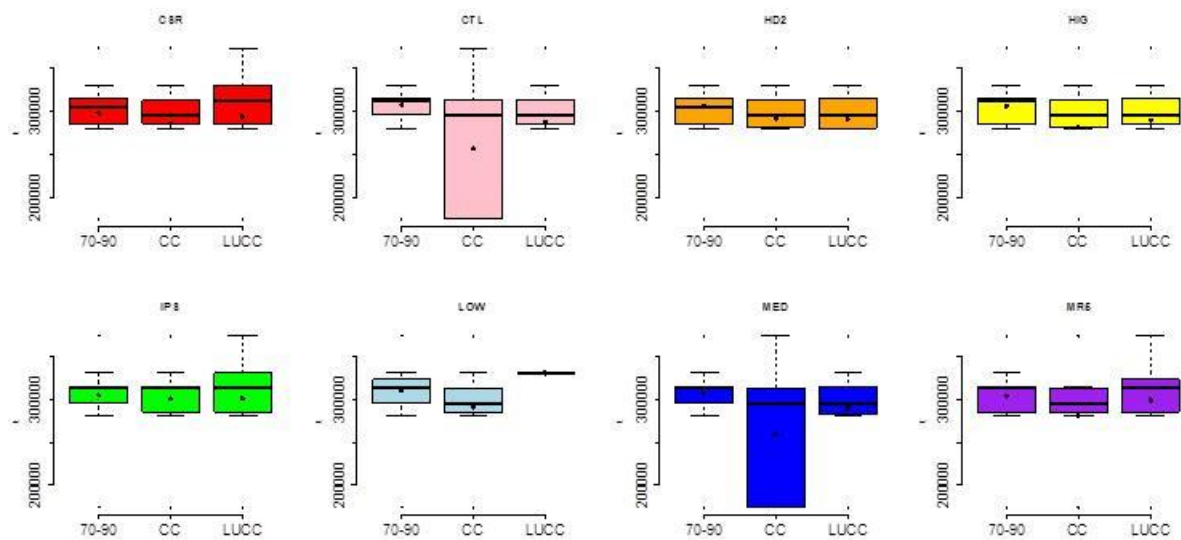


Figura 16. Diagrama Boxplot para as cargas embarcadas, em toneladas, dos oito cenários comparativos nos seguintes períodos: 1970-1990 (70-90); 2011-2040 (CC) e (LUCR), em Fazenda Vista Alegre (B-19). Legenda: (●) Média; (◇) Outliers; (—) Mediana.

A Figura 16 mostra os diagramas de Boxplots das séries de cargas dos períodos de 1970-1990 e 2011-2040 considerando cenários de mudanças climáticas (CC) e incluindo trajetórias LUCR para cargas embarcadas na estação Fazenda Vista Alegre. Em termos de previsões de CC, as mercadorias embarcadas dos cenários CTL e MED sofreram impactos de redução de cotas e consequentemente redução do volume de cargas. Tais impactos são avaliados quando comparamos os valores médios de cargas embarcadas desses cenários (257.089t e 227.883t, respectivamente) inferiores ao período histórico. Observou-se que, na maioria das projeções, houve diferença nas medianas em relação ao período de 1990-190, ou seja, 50% das cargas estimadas para o período de 2011-2040 variam entre 290.746 a 300.607 toneladas, inferiores ao período histórico que variaram entre 304.409 a 313.465 toneladas.

Nos demais cenários notou-se a presença de *outliers* tanto no mínimo quanto no máximo de volume de cargas transportadas, ocasionadas pelas raras ocorrências de variações de cotas mínimas e máximas. Com a finalidade de avaliar a diferença entre as médias de embarque de mercadorias dos cenários de mudanças climáticas do período futuro em relação ao período histórico, aplicou-se o teste estatístico *t*, onde somente no cenário IPS constatou-se que não houve diferença significativa das médias de desembarque de cargas (2011-2014 *vs* 1970-1990).

Quando inseridos trajetórias LUCC, observaram-se impactos em LOW, que foi influenciado, inclusive, por cotas elevadas durante todo o período. Impactos relevantes são observados quando analisadas os cenários CTL, HIG e MED, notou-se que as medianas, ou seja, 50% das mercadorias embarcadas atingiram o máximo de 295.947 toneladas, quantidade inferior quando comparada a 1970-1990, ou ainda, essas projeções de mudanças climáticas do uso da terra impactaram no nível d'água, conseqüentemente no volume de mercadorias transportadas nesta estação. Nos demais cenários observou-se o inverso, o volume de cargas embarcadas, em 50% das vezes, foi superior (313.465t) comparativamente ao período histórico que apresentou o máximo de 305.154t. Resultado do teste de comparação de médias forneceu que os cenários CTL, HD2, HIG, LOW e MED, sob efeito de LUCC, são estatisticamente diferentes ao período histórico (Figura 16).

5.3 Potenciais impactos sobre as mercadorias do Madeira

5.3.1 Estação Porto Velho (B-19)

5.3.1.1 Cargas desembarcadas

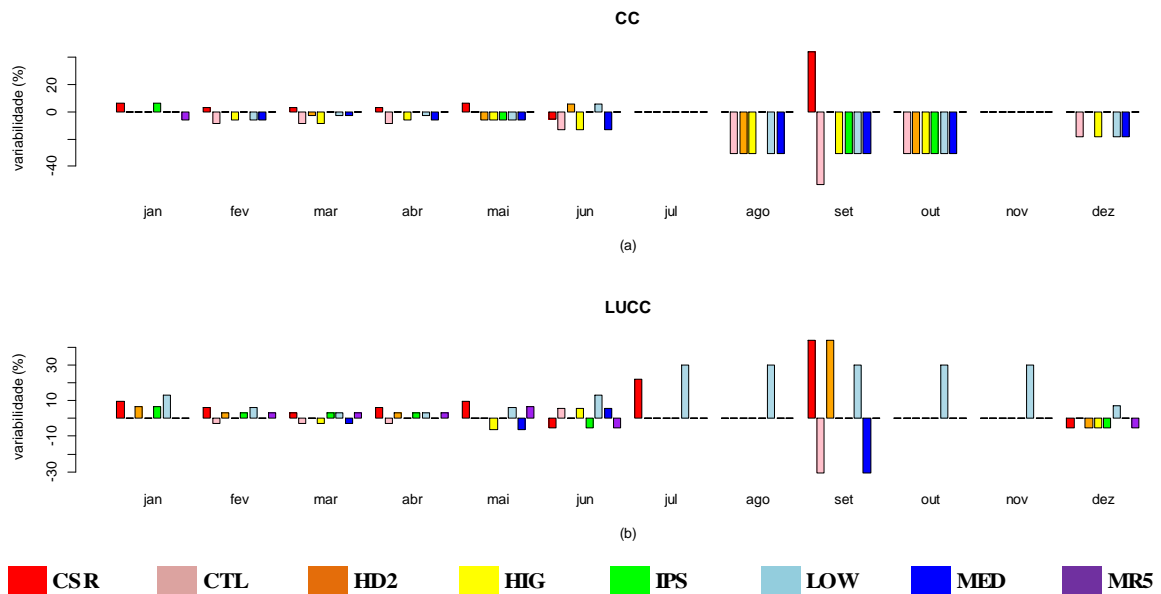


Figura 17. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na estação de Porto Velho (B-11), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

Em cenários de mudanças climáticas sem o uso da terra (Figura 17a), observou-se que nos meses de julho e novembro todos os cenários não apresentaram variabilidade média no transporte de cargas em nenhum cenário, sendo que as cotas no mês de julho variaram entre 609,1 a 843,7 cm e novembro entre 676,2 a 772,5 cm, correspondendo ao terceiro intervalo de classes das mercadorias transportadas, assim, desembarcando cargas de até 240.500 toneladas, equivalente à quantidade desembarcada no período histórico de 1970-1990, conforme Tabela 5a. No segundo semestre, a média estimada de variabilidade foi positiva somente para CSR, em setembro, o qual estimou-se 43,9% de crescimento no desembarque de cargas no período de 2011-2040 que pode ser devido ao aumento de 12% nas descargas mínimas nesse período. Em contrapartida, o cenário que mais apresentou queda foi o CTL com -53,1% em relação a 1970-1990, impactado pela redução de aproximadamente 30% de descargas mínimas. Projeções HIG, LOW e MED, no período de julho a dezembro, apresentaram variabilidades equivalentes (0,0%; -30,5%; -30,5%; -30,5%; 0,0% e -18%), também impactadas pelas reduções consistentes de descargas mínimas, respectivamente.

Quando são consideradas as alterações climáticas com uso do solo (LUCC), comparando as simulações com o uso inalterado, observou-se que no segundo semestre, em média, houve mais cenários com variabilidade positiva no desembarque de cargas na referida bacia em relação aos cenários de embarque de mercadorias. LOW manteve-se variabilidade positiva constante (30,3%) no período de julho a novembro (estação de estiagem) ocasionado pelo aumento observado de, aproximadamente, 10% de descargas máximas e mínimas. Projeções CSR, HD2, IPS e MR5 apresentaram diferenças médias negativas (5,4%) em

dezembro. Em setembro, destacou-se CSR e HD2, com expressiva variabilidade positiva de mercadorias embarcadas (43,9%), cada cenário (Figura 17b e Tabela 6).

5.3.1.2 Cargas embarcadas

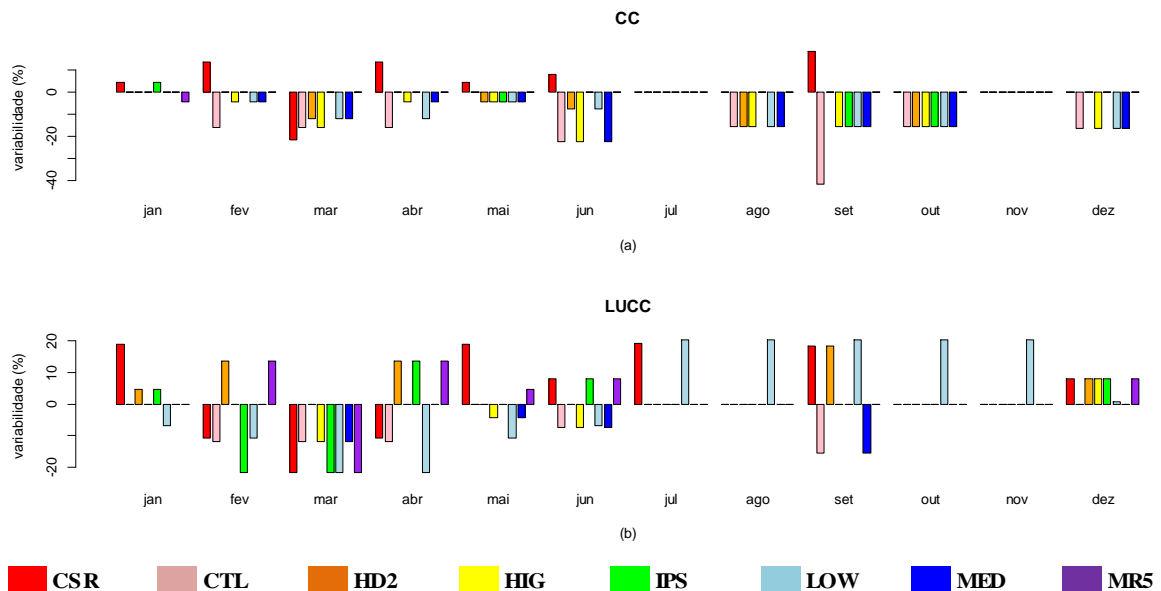


Figura 18. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na estação de Porto Velho (B-11), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

Ainda na estação de Porto Velho (B-11), o embarque de cargas no segundo semestre de mudanças climáticas (CC) apresentou comportamento similar em relação ao desembarque de cargas (Figura 18).

Notou-se que, em relação aos demais cenários, houve uma variação média acentuada de -41,5% no cenário CTL no mês de setembro, possivelmente ocasionado pela redução de 30% de descargas mínimas, conforme Siqueira Júnior *et al.* (2015) e anteriormente (Figura 17a). MR5 mostrou-se sem variação média de mudanças climáticas, exceto no mês de janeiro que estimou-se redução, em média, de -6,1% no embarque de mercadorias nesta estação, observou-se que no período histórico o nível médio d'água atingiu 306,63 cm enquanto que em CC atingiu 300,48 cm (Figura 18a)

Em geral, cenários de mudanças no uso do solo (LUCC), variaram, em média, em todos os meses, ou seja, estimaram-se mudanças futuras no transporte de cargas embarcadas na estação de Porto Velho (B-11). No entanto, LOW variou negativamente no primeiro semestre e positivamente no segundo semestre, atingindo picos de (-21,6%; 20,3%), respectivamente, possivelmente ocasionado pela variabilidade sazonal na estação seca e chuvosa. Notou-se variabilidade negativa, durante o segundo semestre, nos seguintes

modelos: CTL e MED, pois no período histórico a cota do rio nesta estação, em média, foi 5% superior quando comparado a LUCC (Figura 18b).

5.3.2 Estação Humaitá (B-16)

5.3.2.1 Cargas desembarcadas

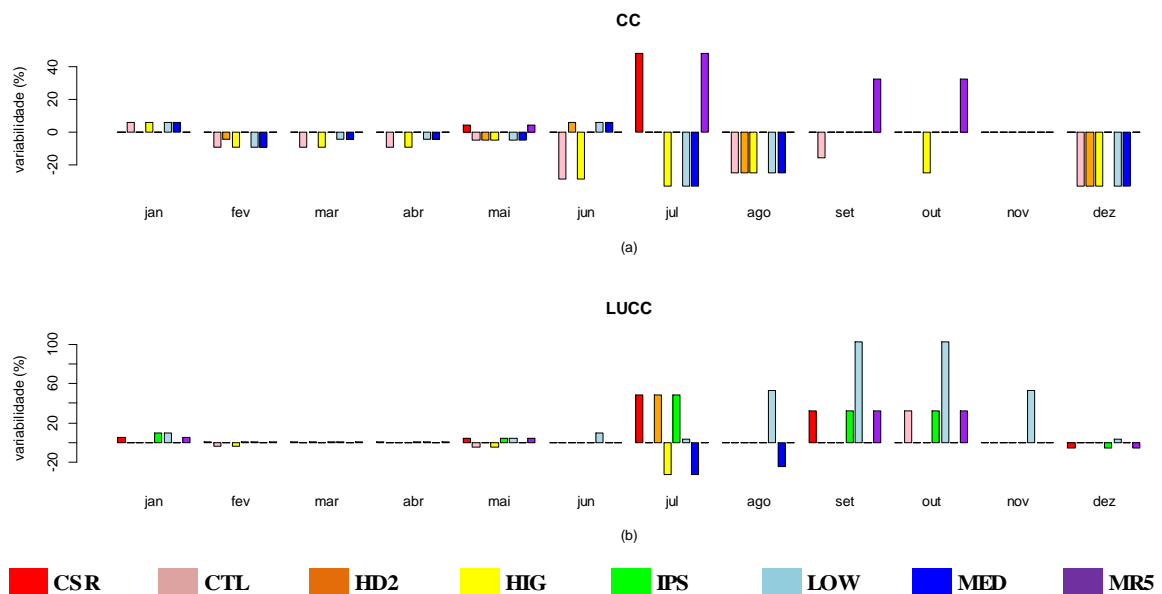


Figura 19. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na estação de Humaitá (B-16), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

No desembarque de cargas na estação Humaitá (B-16), observou-se, no segundo semestre, uma variação significativamente positiva de impacto de CC no desembarque de mercadorias no cenário CSR (48,2%) em julho, observou-se que o nível d'água de previsões futuras foi 5% superior ao período histórico nesse mês. MR5 também apresentou variação positiva na quantidade de cargas desembarcadas, sendo 48,2%; 32,4% e 32,4% em julho, setembro e outubro, respectivamente, ocasionado pelo incremento de cota de 5% em julho, 2% em setembro e 4% em outubro nas previsões CC comparativo com o período histórico. Projeções HIG, LOW e MED coincidiram na variabilidade média nos meses de janeiro, fevereiro, maio, julho, agosto e dezembro, considerando que nesses períodos o impacto no nível d'água de CC esteve aproximado a ponto de esses valores estarem no mesmo intervalo de classe estabelecido conforme Figura 19. IPS não apresentou variação média em nenhum período observado, ou seja, o desembarque de cargas nessa estação não sofreu variação por conta das mudanças climáticas estimadas no modelo quando comparado a 1970-1990 (Figura 19a).

Impactos de variabilidades negativas no desembarque de mercadorias com mudanças climáticas incluindo trajetórias LUCC foram observados em CTL, HIG, MED, CSR, IPS e MRS, nos meses fevereiro, maio, julho, agosto e dezembro, sendo que os cenários HIG e MED propuseram uma acentuada redução média na quantidade desembarcada de mercadoria de 32,5% somente em julho, onde observou-se redução de 5% na previsão de cota nos dois cenários, quando comparados ao período histórico. O modelo LOW, sobressaiu-se com variabilidade positiva em todos os períodos, porém no período de estiagem houve uma maior variante no desembarque das cargas nesta bacia, com 102,7% em setembro e outubro e 53,1% em agosto e novembro, ocasionado pelo acréscimo exorbitante no nível d'água nesse período provocado pelas previsões LUCC. Nos meses de setembro e outubro, a variabilidade mostrou-se positiva também nos cenários: CSR, CTL, IPS e MR5. Observou-se que em março e abril não ocorreu variabilidade entre -0,3% a 0,3% nas estimativas de embarque de cargas dos modelos futuros em relação a 1970-1990 (Figura 19b).

5.3.2.2 Cargas embarcadas

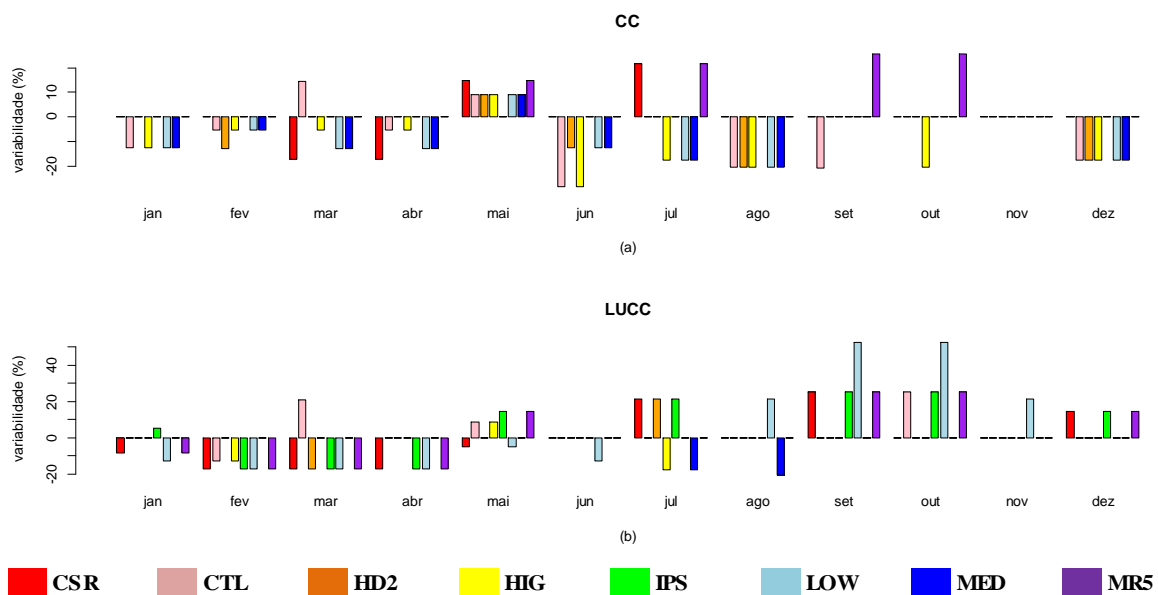


Figura 20. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na estação de Humaitá (B-16), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

Cenários futuros de mudanças climáticas-CC mostraram-se com maior variabilidade negativa quando comparados com cenários de mudanças no uso da terra principalmente em épocas de estiagem. Destacou-se com variabilidade positiva mediante projeções futuras de mudanças climáticas o MR5, principalmente em setembro e outubro análogo ao observado anteriormente no desembarque de mercadorias nesta estação. Em novembro o transporte de

mercadorias embarcadas não variou mediante qualquer possível cenário. Notou-se ainda a variação positiva no embarque de cargas em todos os cenários no mês de maio, exceto IPS que não variou em nenhuma estação, ou seja, estimativas de mudanças climáticas não impactou nesse cenário em relação a 1970-1990 (Figura 20a).

O impacto no embarque de cargas em Humaitá (B-16) se mostrou praticamente inverso à sazonalidade atualmente observada, pois a maioria dos modelos apresentou redução de cargas embarcadas no período chuvoso e acréscimo no período seco, houve ainda modelos que quase não sofreram variação mediante projeções de mudanças no uso da terra, como por exemplo, MED apresentou variação somente em julho (-17,7%) e agosto (-20,3%) e HD2 que variou em março (-17,2%) e julho (21,6%), sendo que ambos nos demais meses não variaram em razão de impactos pouco expressivos que não destoaram dentro de um mesmo intervalo de cota, por exemplo, conforme definido na Figura 20. LOW sobressaiu-se variando, em média, 52,5% em setembro e outubro devido à previsão de níveis d'água superior ao real observado (Figura 20b).

5.3.3 Estação Manicoré (B-17)

5.3.3.1 Cargas desembarcadas

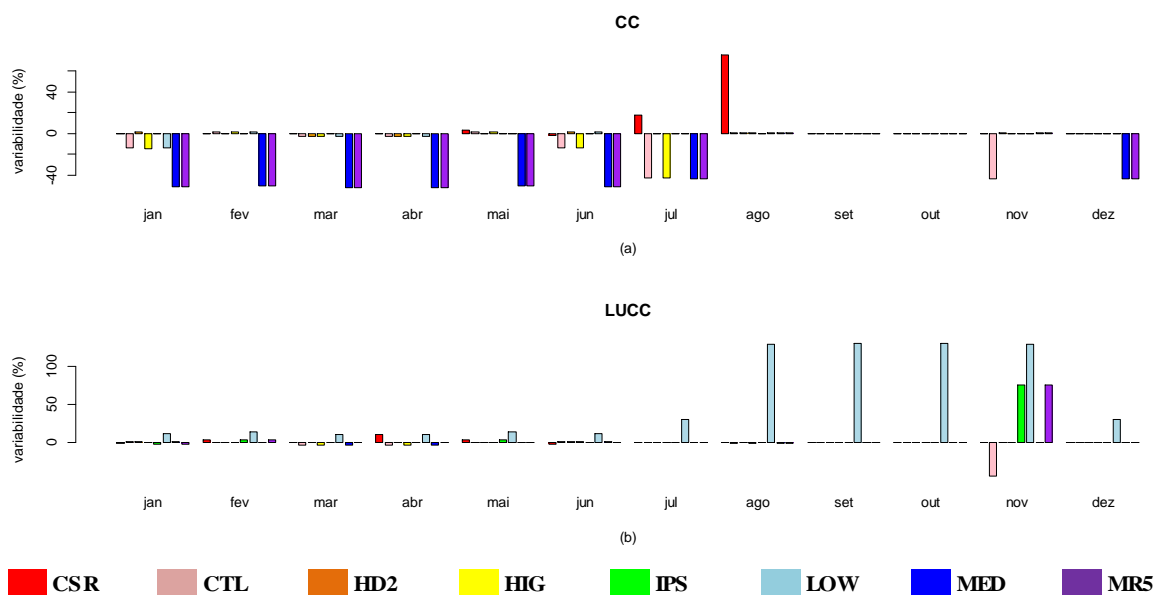


Figura 21. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na estação de Manicoré (B-17), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

O modelo CSR destacou-se com variação positiva de 17,6% e 75,5% em julho e agosto, respectivamente, ou seja, previsões de CC impactaram na quantidade de cargas transportadas quando comparados ao período histórico motivado pelo acréscimo de 5% de cota nestes meses. No segundo semestre destacaram-se quatro modelos de projeções de mudanças climáticas com influências de variações negativas, sendo que em julho o CTL, HIG, MED e MR5, contudo CTL também variou em novembro, MED e MR5 em dezembro. Apesar de outros cenários apresentarem variações negativas, MED e MR5 foram os que mais variaram em magnitude e apresentando impactos de mudanças climáticas idênticos em todos os períodos, com picos de -51,9% em março e abril e 51,2% em janeiro e junho devido à previsão de redução de 68% nos níveis d'água nesses períodos em relação a 1970-1990. Nos meses de setembro e outubro o desembarque de mercadorias na estação de Manicoré (B-17) não se mostrou afetado pelas projeções futuras de mudanças climáticas (Figura 21a).

Em relação às mudanças no uso da terra, LOW, assim como nas demais estações B-11 e B-16, predominou em magnitude na variação do segundo semestre, atingindo o máximo de 129,2% em setembro, seguido de variações de 127,8% em agosto e novembro e o mínimo de 10,2% em março e abril, logo, esse cenário é propício ao aumento significativo no desembarque de mercadorias na estação B-17. Enquanto que HD2 atingiu a máxima variação positiva de 1,3% de cargas desembarcadas nesta estação em janeiro e junho e nos demais meses não variou, pois foi ligeiramente impactado pelo acréscimo de nível d'água em relação ao período base de 3% e 5%, respectivamente. O cenário CTL, no mês de novembro atingiu a máxima variação negativa 43%, ou seja, nesse cenário 43% de cargas deixaram de ser desembarcadas devido a uma redução de, aproximadamente, 9% na cota no mês de novembro na estação de Manicoré (Figura 21b).

5.3.3.2 Cargas embarcadas

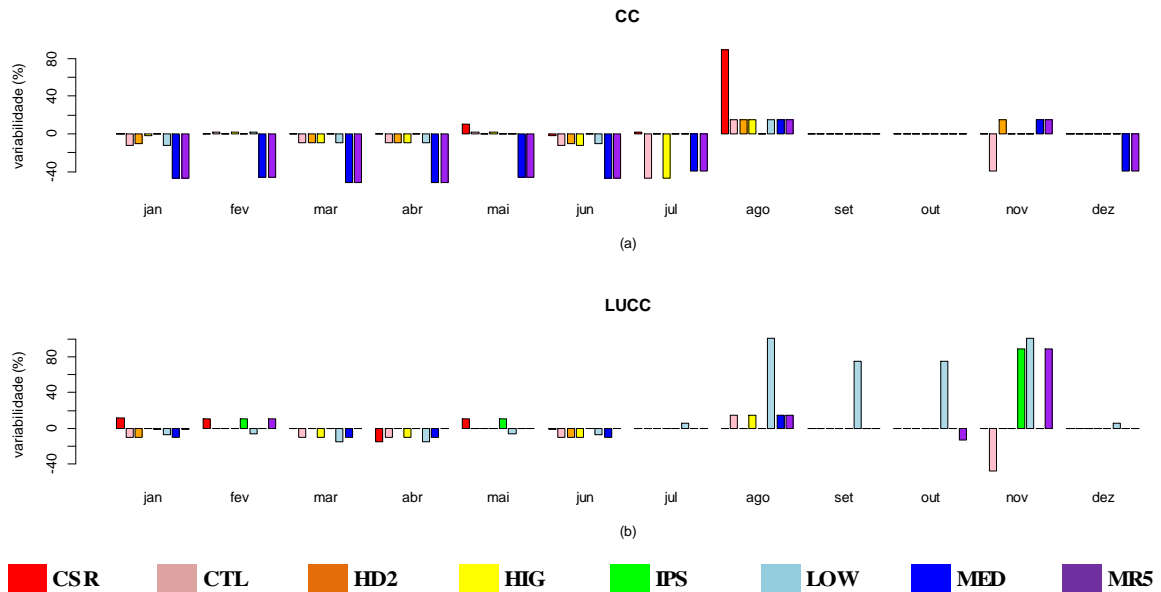


Figura 22. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na estação de Manicoré (B-17), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

Ainda na estação de Manicoré, a maioria dos cenários indicou diminuição de cargas embarcadas. No entanto nos cenários MED e MR5 esse tipo de movimentação de cargas apresentou queda de até 46,8%, somente no primeiro semestre em virtude de redução do nível da cota de até 68% devido efeitos de CC. Por outro lado, no mês de agosto, em todos os cenários foi observada variabilidade positiva de quantidade de cargas embarcadas, exceto no cenário IPS, pois previsões futuras para este se igualaram com o período histórico em todos os meses. Notou-se ainda que CSR sobressaiu-se positivamente, no embarque de cargas, dos demais cenários no mês de agosto, movimentando 88,9% acima do transportado no período histórico, tal acréscimo no transporte de cargas decorre do acréscimo de 4% no nível d'água no Madeira em Manicoré (Figura 22a).

No geral, as projeções LUCC impactaram, de forma positiva, principalmente nos cenários IPS, LOW e MR5. O segundo semestre MR5 apresentou redução no embarque de cargas de 12,8% no mês de outubro e o cenário CTL com queda de 47% na movimentação de cargas em novembro em relação ao período base, decorrente da redução de, aproximadamente, 9% na cota conforme observado no desembarque de mercadorias nesta mesma estação (Figura 22b).

5.3.4 Estação Fazenda Vista Alegre (B-19)

5.3.4.1 Cargas desembarcadas

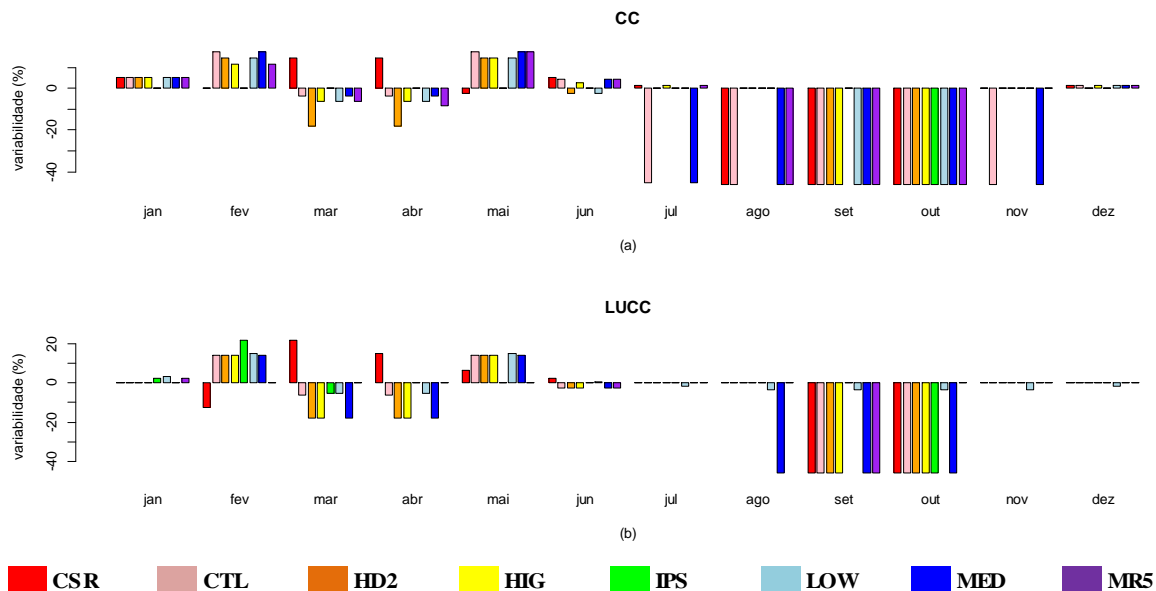


Figura 23. Potenciais impactos sobre o desembarque de cargas na Fazenda Vista Alegre (B-19), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

No geral, em época de estiagem, as descargas nas projeções dos cenários CSR, CTL, HD2, HIG, IPS, MED e MR5 se apresentaram mais baixas quando comparadas ao período histórico devido a CC, logo o fluxo de cargas desembarcadas em Fazenda Vista Alegre foram reduzidas em até 46%. Em outubro, por exemplo, em todos os cenários foi observada queda estimada de 46% no desembarque de cargas em razão da diminuição do nível d'água de 19% nos cenários CTL e MED, cada e nos demais cenários a cota desceu em torno de 4 a 9% ocasionado pelos efeitos das mudanças climáticas CC. Estimou-se que em dezembro a movimentação de cargas nesta estação apresente uma variabilidade positiva na maioria dos cenários em relação ao período histórico (Figura 23a).

Quando incluímos trajetórias de desmatamento nas futuras mudanças climáticas, observou-se menos impactos no transporte de mercadorias no segundo semestre quando comparados aos efeitos CC. Ao passo que as variações negativas, na maioria dos cenários, foram significativas no mês de setembro e outubro, em que notou-se queda de até 46% no desembarque de cargas, apesar de redução média de, no máximo, 15% e mínima de 3% no nível d'água nestes meses nos cenários CSR e LOW, respectivamente. Diferente do observado nas demais estações (B-11, B-17 e B-17) o cenário LOW sofreu pouca influência de LUCC variando 15% em fevereiro e maio e -3,5% de agosto a novembro (Figura 23b).

5.3.4.2 Cargas embarcadas

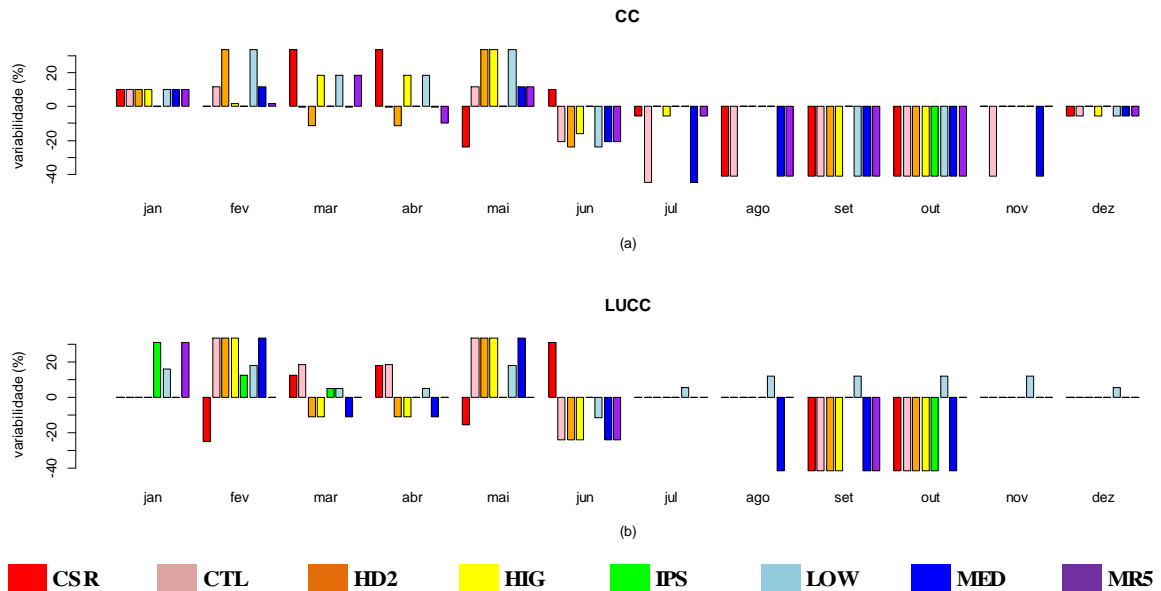


Figura 24. Potenciais impactos sobre o embarque de cargas na Fazenda Vista Alegre (B-19), causados pelas mudanças climáticas (a) e alterações climáticas combinadas com o uso terra e cobertura do solo (b).

Na Figura 24a observa-se uma acentuada sazonalidade nas diferenças dos efeitos de CC sobre o período histórico, o qual todos os cenários foram influenciados por mudanças climáticas. No período de julho a novembro houve variações negativas de até 41%, mas somente no mês de outubro todos os cenários apresentaram diminuição no embarque de cargas, influenciados pela redução entre 4% a 19% na cota. Os níveis d'água do cenário futuro IPS foi o que menos apresentou discrepância em relação ao período histórico, exceto no mês de outubro, consequentemente a quantidade de cargas embarcadas previstas serão análogas ao de 1970-1990.

Cenários de projeções LUCC terão comportamento similar à sazonalidade observada em CC, exceto em LOW que apresentou variabilidade média positiva principalmente na estação de estiagem ocasionada pelo acréscimo da cota nesta estação (Figura 24b).

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Atualmente, o rio Madeira é navegável de Porto Velho (RO) até sua foz, no rio Amazonas, próximo a Itacoatiara (AM) e por sua vez tem papel fundamental no dinamismo

econômico brasileiro. Os obstáculos que restringem a navegação de grandes comboios (4x5) em alguns trechos, especialmente entre Humaitá (AM) e Porto Velho (RO), são em geral notados principalmente no período de seca, época em que são utilizados comboios menores (3x3).

As influências das mudanças climáticas implicam na amplitude das variações de cotas que comprometem a eficiência do Transporte Hidroviário Interior - THI, bem como seu desempenho e comportamento.

As projeções de cotas dos cenários dos períodos de 1970-1990 e 2011-2040 foram realizadas com base na interpolação das médias dos níveis d'água reais de cada estação (Porto Velho, Humaitá, Manicoré e Fazenda Vista Alegre) do período de 2010-2014. Notou-se que as estimativas de níveis d'água das projeções, em alguns cenários de LUCC, apresentaram valores acima do observado do período real. No período real a cota máxima observada foi 2.869,0 cm na estação Manicoré, em cenários do período histórico (1970-1990) e em CC o nível d'água máximo estimado foi de 2.424,30 cm no cenário CLT, enquanto que em LUCC a cota máxima observada foi de 70.534 cm em LOW, todos na estação de Manicoré. Em épocas de estiagens as cotas mínimas reais foram de 315,1 cm e valores de projeções estimados de níveis d'água no período histórico (1970-1990), CC e LUCC, foram de 564,9 cm em CSR; 564,9 cm em CSR e 538,9 cm no cenário CTL, respectivamente, observadas na estação de Porto Velho.

A quantidade de mercadoria transportada no período histórico (1970-1990) e de projeções de CC e LUCC estão relacionadas aos níveis d'água, também por meio do método de interpolação. Em alguns cenários, os resultados apresentados de movimentação de cargas mostraram-se atípicos, tais como: *outliers* e valores constantes de fluxo de movimentação de cargas independente da estação (seca e cheia). Ocorreu que, em alguns cenários, a variação do nível d'água se manteve com poucas oscilações ao longo dos anos, logo, quando calculou-se a média mensal, reduziu-se a amplitude da cota do rio, portanto pouca variação de nível d'água transporta quantidade de cargas similares, o que explica valores constante de movimentação de cargas em determinadas estações, principalmente no cenário LOW.

Tanto para cenários de mudanças climáticas com e sem o uso da terra foi realizado o teste estatístico de comparações de médias (*t-Student*). O teste consistiu em avaliar se as médias de cargas (desembarque/embarque) em cenários de projeções de mudanças climáticas com e sem o uso da terra são idênticas às médias de cargas (desembarque/embarque) do período histórico.

As tendências dos resultados modelados são importantes como uma indicação futura de condições do volume de mercadorias transportadas no rio Madeira. Enquanto que cenários futuros de mudanças climáticas globais (CC) impactam nos níveis d'água, influenciando na capacidade de desembarque/embarque de cargas. E ainda, impactos no transporte hidroviário são reduzidos quando incluímos as mudanças climáticas do uso da terra (LUCC), pois há diminuição da evaporação devida á substituição da floresta por pastagens, associada a um aumento da cota do rio. Isto é particularmente importante para o transporte hidroviário interior em locais onde a baixa profundidade da água é uma preocupação comum.

Recomenda-se uma série histórica mais longa referente aos dados de transporte de mercadorias, bem como uma previsão que extrapole a movimentação de cargas em períodos atípicos de níveis d'água. Estudos relacionados à economia local, bem como período de decréscimo da exportação, crescimento do PIB e outras variáveis podem influenciar a movimentação de cargas. Os tipos de configurações dos comboios das embarcações devem ser levados em consideração, visto que a característica da hidrovia e a época do ano são parâmetros que ditam a conformação e a potencialidade do transporte hidroviário interior. Estudos e projeções climáticas futuras devem ser expandidos para outros períodos de tempo (por exemplo, 2041-2070 e 2071-2099).

7. ANEXO

Tabela 6. Resumo das principais medidas estatísticas da estação de Porto Velho (B-11)

MEDIDAS	CSR						CTL					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	112.693	112.693	112.693	153.952	153.952	153.952	112.693	112.693	112.693	153.952	153.952	153.952
1º QUARTIL	240.500	240.500	240.500	263.273	263.273	263.273	240.500	167.129	240.500	263.273	222.214	263.273
MEDIANA	277.204	277.204	293.139	314.159	314.159	316.616	277.204	240.500	277.204	314.159	263.273	314.159
MÉDIA	256.761	261.646	270.612	300.371	302.585	310.425	262.817	233.816	252.030	306.342	273.478	296.286
3º QUARTIL	295.117	295.117	304.018	339.757	339.757	339.757	295.117	293.139	293.139	339.757	339.757	339.757
MÁXIMO	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	403.904	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	403.904
DESVIO PADRÃO	54.165	50.656	48.174	61.849	58.660	54.878	44.292	64.012	53.158	54.764	66.320	59.944

MEDIDAS	HD2						HIG					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	112.693	112.693	112.693	153.952	153.952	153.952	112.693	112.693	112.693	153.952	153.952	153.952
1º QUARTIL	240.500	240.500	240.500	263.273	263.273	263.273	240.500	167.129	240.500	263.273	222.214	263.273
MEDIANA	277.204	277.204	277.204	316.616	314.159	339.757	277.204	240.500	277.204	316.616	263.273	314.159
MÉDIA	263.345	252.255	267.119	311.845	299.375	317.335	261.540	236.434	256.799	308.133	275.903	300.649
3º QUARTIL	295.117	293.139	295.117	355.279	339.757	355.279	295.117	277.204	293.139	355.279	339.757	339.757
MÁXIMO	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	403.904	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	403.904
DESVIO PADRÃO	42.572	50.081	39.333	57.193	58.923	56.177	45.479	61.339	46.696	57.490	62.460	54.189

MEDIDAS	IPS						LOW					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	112.693	112.693	112.693	153.952	153.952	153.952	112.693	112.693	313.295	153.952	153.952	316.616
1º QUARTIL	240.500	240.500	240.500	263.273	263.273	263.273	240.500	240.500	313.295	263.273	263.273	316.616
MEDIANA	277.204	277.204	293.139	314.159	314.159	316.616	277.204	240.500	313.295	315.388	263.273	316.616
MÉDIA	260.250	256.470	267.823	302.708	299.168	308.858	266.102	247.584	313.295	311.408	290.480	316.616
3º QUARTIL	295.117	295.117	304.018	339.757	339.757	339.757	295.117	293.139	313.295	355.279	339.757	316.616
MÁXIMO	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	403.904	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	316.616
DESVIO PADRÃO	47.297	56.189	51.832	57.376	65.411	60.682	37.932	50.816	0	52.875	56.415	0

MEDIDAS	MED						MR5					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	112.693	112.693	112.693	153.952	153.952	153.952	112.693	112.693	112.693	153.952	153.952	153.952
1º QUARTIL	240.500	240.500	240.500	263.273	263.273	263.273	240.500	240.500	240.500	263.273	263.273	263.273
MEDIANA	277.204	240.500	277.204	314.159	263.273	314.159	277.204	277.204	277.204	314.159	314.159	316.616
MÉDIA	263.399	235.872	255.756	309.779	277.388	300.091	258.752	257.664	268.865	306.063	300.480	309.640
3º QUARTIL	295.117	277.204	293.139	355.279	339.757	339.757	295.117	295.117	295.117	355.279	339.757	339.757
MÁXIMO	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	403.904	313.295	313.295	313.295	403.904	403.904	403.904
DESVIO PADRÃO	40.589	61.798	51.769	54.896	65.745	59.753	48.895	49.172	46.014	63.542	59.892	55.696

Tabela 7. Resumo das principais medidas estatísticas da estação de Humaitá (B-16)

MEDIDAS	CSR						CTL					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	128.356	128.356	128.356	166.374	166.374	166.374	128.356	128.356	128.356	166.374	166.374	166.374
1º QUARTIL	200.500	200.500	200.500	263.273	263.273	263.273	200.500	151.466	200.500	263.273	209.793	263.273
MEDIANA	279.168	279.168	293.442	320.009	320.009	320.009	279.168	200.500	279.168	320.009	263.273	320.009
MÉDIA	245.875	250.953	260.003	299.655	302.356	307.227	248.797	220.283	243.231	303.525	272.882	300.143
3º QUARTIL	297.149	305.975	307.039	366.523	336.610	336.610	297.149	293.442	297.149	366.523	320.041	366.523
MÁXIMO	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	386.532	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	386.532
DESVIO PADRÃO	62.533	59.930	58.331	64.593	59.295	56.265	60.032	67.639	61.562	60.029	71.060	64.879

MEDIDAS	HD2						HIG					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	128.356	128.356	128.356	166.374	166.374	166.374	128.356	128.356	128.356	166.374	166.374	166.374
1º QUARTIL	200.500	188.242	200.500	263.273	249.903	263.273	200.500	151.466	200.500	263.273	209.793	263.273
MEDIANA	279.168	279.168	279.168	320.041	320.041	320.009	279.168	200.500	279.168	320.009	263.273	320.041
MÉDIA	247.551	235.722	252.745	307.772	294.497	308.435	248.134	221.295	246.602	305.489	275.465	302.992
3º QUARTIL	297.149	293.442	305.975	366.523	366.523	366.523	297.149	293.442	297.149	366.523	320.041	366.523
MÁXIMO	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	386.532	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	386.532
DESVIO PADRÃO	59.174	64.474	57.346	62.605	69.686	57.947	59.623	66.600	59.374	62.327	70.652	61.389

MEDIDAS	IPS						LOW					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	128.356	128.356	128.356	166.374	166.374	166.374	128.356	128.356	307.039	166.374	166.374	320.009
1º QUARTIL	200.500	200.500	200.500	263.273	263.273	263.273	200.500	151.466	307.039	263.273	209.793	320.009
MEDIANA	279.168	279.168	293.442	320.009	320.009	320.009	279.168	200.500	307.039	320.009	263.273	320.009
MÉDIA	248.788	244.264	259.904	304.360	297.943	305.980	249.873	228.879	307.039	306.316	285.993	320.009
3º QUARTIL	297.149	297.149	307.039	366.523	366.523	336.610	297.149	293.442	307.039	366.523	336.610	320.009
MÁXIMO	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	386.532	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	320.009
DESVIO PADRÃO	58.579	63.417	58.807	60.093	65.598	56.823	58.377	63.453	0	59.463	67.191	0

MEDIDAS	MED						MR5					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	128.356	128.356	128.356	166.374	166.374	166.374	128.356	128.356	128.356	166.374	166.374	166.374
1º QUARTIL	200.500	151.466	200.500	263.273	209.793	263.273	200.500	200.500	200.500	263.273	263.273	263.273
MEDIANA	279.168	239.834	279.168	320.009	291.641	320.041	279.168	279.168	279.168	320.009	320.009	320.009
MÉDIA	249.128	229.561	245.322	305.298	284.442	300.794	248.870	251.566	256.530	303.419	307.203	308.242
3º QUARTIL	297.149	293.442	297.149	366.523	336.610	366.523	297.149	297.149	305.975	366.523	366.523	366.523
MÁXIMO	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	386.532	307.039	307.039	307.039	386.532	386.532	386.532
DESVIO PADRÃO	58.136	65.725	65.725	61.577	58.181	69.380	64.261	60.024	57.294	56.179	61.980	58.860

Tabela 8. Resumo das principais medidas estatísticas da estação de Manicoré (B-17)

MEDIDAS	CSR						CTL					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	140.193	140.193	140.193	162.234	162.234	162.234	140.193	140.193	140.193	162.234	162.234	162.234
1º QUARTIL	141.101	141.101	220.954	185.980	185.980	276.324	141.101	140.193	141.101	185.980	185.980	185.980
MEDIANA	264.988	282.404	282.404	309.995	313.551	313.551	282.404	247.571	247.571	313.551	306.439	306.439
MÉDIA	240.279	243.252	247.247	289.785	291.666	294.476	244.184	215.681	233.259	295.367	262.609	281.630
3º QUARTIL	291.244	291.244	291.346	344.668	344.668	344.668	291.244	282.404	287.567	344.668	313.551	344.668
MÁXIMO	321.361	321.361	321.361	381.306	381.306	381.306	321.361	321.361	321.361	381.306	381.306	381.306
DESVIO PADRÃO	64.355	65.977	65.390	71.860	74.546	71.405	64.119	68.167	65.203	72.921	73.820	71.796

MEDIDAS	HD2						HIG					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	140.193	140.193	140.193	162.234	162.234	162.234	140.193	140.193	140.193	162.234	162.234	162.234
1º QUARTIL	141.101	140.193	141.101	185.980	185.980	185.980	247.571	140.193	141.101	306.439	185.980	185.980
MEDIANA	282.404	247.571	247.571	313.551	306.439	306.439	282.404	247.571	247.571	313.551	306.439	306.439
MÉDIA	240.885	229.093	236.655	294.654	281.190	288.861	244.664	219.169	233.214	297.915	264.752	280.152
3º QUARTIL	291.244	287.567	287.567	344.668	344.668	344.668	291.244	287.567	287.567	344.668	313.551	344.668
MÁXIMO	321.361	291.653	321.361	381.306	381.306	381.306	321.361	321.361	321.361	381.306	381.306	381.306
DESVIO PADRÃO	63.173	66.335	63.539	75.378	76.606	73.631	62.135	69.274	66.594	73.274	73.053	72.649

MEDIDAS	IPS						LOW					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	140.193	140.193	140.193	162.234	162.234	162.234	140.193	140.193	321.361	162.234	162.234	325.236
1º QUARTIL	141.101	141.101	247.571	185.980	185.980	306.439	141.101	140.193	321.361	185.980	185.980	325.236
MEDIANA	282.404	282.404	282.404	313.551	313.551	313.551	282.404	247.571	321.361	313.551	306.439	325.236
MÉDIA	243.095	242.072	249.061	292.552	291.525	297.312	241.018	221.965	321.361	291.199	269.195	325.236
3º QUARTIL	291.244	291.244	291.346	344.668	344.668	344.668	291.244	287.567	321.361	344.668	344.668	325.236
MÁXIMO	321.361	321.361	321.361	381.306	381.306	381.306	321.361	321.361	321.361	381.306	381.306	325.236
DESVIO PADRÃO	63.528	65.268	63.417	73.680	71.955	69.934	65.154	68.592	0	76.080	77.252	0

MEDIDAS	MED						MR5					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	140.193	140.193	140.193	162.234	185.980	162.234	140.193	140.193	140.193	162.234	185.980	162.234
1º QUARTIL	141.101	140.193	141.101	185.980	185.980	185.980	141.101	140.193	247.571	185.980	185.980	306.439
MEDIANA	282.404	140.193	247.571	313.551	185.980	306.439	282.404	140.193	282.404	313.551	185.980	313.551
MÉDIA	241.703	140.193	232.392	294.923	185.980	280.394	242.329	140.193	247.297	296.073	185.980	295.234
3º QUARTIL	291.244	140.193	287.567	344.668	185.980	344.668	291.244	140.193	291.244	344.668	185.980	344.668
MÁXIMO	321.361	140.193	321.361	381.306	185.980	381.306	321.361	140.193	321.361	381.306	185.980	381.306
DESVIO PADRÃO	63.768	0	67.013	75.793	0	73.783	62.545	0	63.112	74.576	0	70.301

Tabela 9. Resumo das principais medidas estatísticas da estação Fazenda Vista Alegre (B-19)

MEDIDAS	CSR						CTL					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	149.438	149.438	149.438	174.331	174.331	174.331	149.438	149.438	149.438	174.331	174.331	174.331
1º QUARTIL	258.787	258.787	258.787	285.176	285.176	285.176	265.126	149.438	258.787	295.947	174.331	285.176
MEDIANA	267.191	271.995	267.191	304.706	295.947	313.465	271.995	271.995	267.191	313.465	295.947	295.947
MÉDIA	253.069	244.196	248.151	297.748	285.350	293.560	261.559	225.783	245.418	306.634	257.089	287.955
3º QUARTIL	276.361	276.361	271.995	315.321	313.465	330.860	276.361	276.361	271.995	315.321	313.465	313.465
MÁXIMO	282.462	282.462	282.462	373.758	373.758	373.758	282.462	276.361	282.462	373.758	373.758	373.758
DESVIO PADRÃO	39.954	49.473	45.835	53.294	63.279	59.754	29.215	59.811	47.809	41.855	66.727	61.473

MEDIDAS	HD2						HIG					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	149.438	149.438	149.438	174.331	174.331	174.331	149.438	149.438	149.438	174.331	174.331	174.331
1º QUARTIL	258.787	252.024	231.736	285.176	283.956	280.297	258.787	252.024	258.787	285.176	283.956	285.176
MEDIANA	271.995	265.126	265.126	304.706	295.947	295.947	271.995	267.191	265.126	313.465	295.947	295.947
MÉDIA	260.005	246.319	244.911	305.699	291.446	290.741	259.878	241.404	244.776	305.697	280.919	290.036
3º QUARTIL	276.361	276.361	276.361	315.321	313.465	315.321	276.361	271.995	271.995	315.321	313.465	315.321
MÁXIMO	282.462	282.462	282.462	373.758	373.758	373.758	282.462	282.462	282.462	373.758	373.758	373.758
DESVIO PADRÃO	31.207	45.814	47.644	44.511	61.685	63.526	31.734	51.349	48.110	44.959	63.760	64.155

MEDIDAS	IPS						LOW					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	149.438	149.438	149.438	174.331	174.331	174.331	149.438	149.438	267.191	174.331	174.331	330.860
1º QUARTIL	265.126	258.787	258.787	295.947	285.176	285.176	265.126	258.787	267.191	295.947	285.176	330.860
MEDIANA	271.995	269.593	267.191	313.465	313.465	313.465	271.995	271.995	267.191	313.465	295.947	330.860
MÉDIA	260.748	254.755	253.509	305.154	300.607	300.500	262.968	248.995	267.191	310.188	290.746	330.860
3º QUARTIL	276.361	276.361	271.995	315.321	315.321	330.860	276.361	276.361	267.191	319.206	313.465	330.860
MÁXIMO	282.462	282.462	282.462	373.758	373.758	373.758	282.462	282.462	267.191	373.758	373.758	330.860
DESVIO PADRÃO	31.387	39.151	39.282	43.545	52.534	52.667	25.438	45.598	0	40.252	58.761	0

MEDIDAS	MED						MR5					
	DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)			DESEMBARQUE (TON)			EMBARQUE (TON)		
	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC	70-90	CC	LUCC
MÍNIMO	149.438	149.438	149.438	174.331	174.331	174.331	149.438	149.438	149.438	174.331	174.331	174.331
1º QUARTIL	265.126	149.438	252.024	295.947	174.331	283.956	258.787	258.787	258.787	285.176	285.176	285.176
MEDIANA	271.995	271.995	265.126	313.465	295.947	295.947	271.995	271.995	267.191	313.465	295.947	313.465
MÉDIA	263.329	227.883	244.158	309.118	260.026	290.322	258.227	243.251	253.061	304.409	280.464	298.685
3º QUARTIL	276.361	276.361	271.995	315.321	313.465	315.321	276.361	276.361	276.361	315.321	313.465	319.206
MÁXIMO	282.462	276.361	282.462	373.758	373.758	373.758	282.462	282.462	282.462	373.758	373.758	373.758
DESVIO PADRÃO	25.925	58.924	47.707	39.311	66.219	64.197	35.039	50.755	40.051	48.988	61.725	53.385

Tabela 10. Resultados do Teste *t-Student* para comparação de duas médias de movimentação de cargas em cenários de CC e LUCC nas seguintes estações: Porto Velho; Humaitá; Manicoré e Fazenda Vista Alegre. A matriz triangular superior (cinza) refere-se aos cenários de cargas desembarcadas e matriz triangular inferior (azul) aos cenários de cargas embarcadas. Para testar as hipóteses, considerou a hipótese nula de que não há diferença entre as médias com intervalo de confiança de 0,95 e nível de significância de 0,05. O critério de decisão avalia os *p-valores* comparados ao nível de significância estabelecido: se $p\text{-valor} < \alpha$, rejeita-se a hipótese nula, ou seja há evidências significativas de diferença entre os pares de médias.

	CSR		CTL		HD2		HIG		IPS		LOW		MED		MR5		
	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	
PORTO VELHO	CSR	-	-	0,00	0,00	0,01	0,29	0,00	0,00	0,19	0,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,62
	CTL	0,00	0,00	-	-	0,02	0,00	0,58	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,66	0,34	0,00	0,01
	HD2	0,46	0,10	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00	0,29	0,84	0,21	0,00	0,00	0,00	0,14	0,58
	HIG	0,00	0,02	0,61	0,31	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00	0,01	0,00	0,90	0,78	0,00	0,00
	IPS	0,46	0,72	0,00	0,01	0,96	0,05	0,00	0,06	-	-	0,03	0,00	0,00	0,00	0,76	0,78
	LOW	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,81	0,00	0,00	0,06	0,02	-	-	0,01	0,00	0,01	0,00
	MED	0,00	0,02	0,43	0,39	0,00	0,00	0,76	0,90	0,01	0,05	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00
	MR5	0,63	0,85	0,00	0,00	0,80	0,07	0,00	0,03	0,78	0,86	0,02	0,02	0,00	0,03	-	-
HUMAITÁ	CSR	-	-	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,15	0,98	0,00	0,00	0,01	0,00	0,89	0,42
	CTL	0,00	0,12	-	-	0,00	0,03	0,84	0,45	0,00	0,00	0,08	0,00	0,06	0,65	0,00	0,00
	HD2	0,10	0,78	0,04	0,07	-	-	0,00	0,16	0,07	0,00	0,15	0,00	0,20	0,65	0,00	0,00
	HIG	0,00	0,33	0,62	0,55	0,00	0,22	-	-	0,00	0,00	0,12	0,00	0,09	0,78	0,00	0,02
	IPS	0,34	0,77	0,00	0,20	0,49	0,57	0,00	0,50	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,43
	LOW	0,00	0,02	0,01	0,00	0,10	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	-	-	0,89	0,00	0,00	0,00
	MED	0,00	0,15	0,03	0,89	0,05	0,09	0,09	0,64	0,01	0,25	0,76	0,00	-	-	0,00	0,01
	MR5	0,27	0,81	0,00	0,07	0,01	0,96	0,00	0,23	0,05	0,59	0,01	0,00	0,00	0,10	-	-
MANICORÉ	CSR	-	-	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,81	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99
	CTL	0,00	0,02	-	-	0,01	0,48	0,50	0,99	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,86	0,00	0,00
	HD2	0,06	0,30	0,00	0,18	-	-	0,05	0,48	0,01	0,01	0,16	0,00	0,00	0,38	0,00	0,02
	HIG	0,00	0,01	0,70	0,78	0,00	0,11	-	-	0,00	0,00	0,59	0,00	0,00	0,87	0,00	0,00
	IPS	0,98	0,59	0,00	0,00	0,06	0,11	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,71
	LOW	0,00	0,00	0,24	0,00	0,04	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00
	MED	0,00	0,01	0,00	0,82	0,00	0,12	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	0,00
	MR5	0,00	0,89	0,00	0,01	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,01	-	-
FAZENDA VISTA ALEGRE	CSR	-	-	0,00	0,43	0,55	0,35	0,46	0,34	0,00	0,09	0,18	0,00	0,00	0,25	0,80	0,13
	CTL	0,00	0,22	-	-	0,00	0,89	0,00	0,86	0,00	0,01	0,00	0,00	0,64	0,72	0,00	0,02
	HD2	0,19	0,54	0,00	0,55	-	-	0,18	0,97	0,01	0,01	0,43	0,00	0,00	0,83	0,39	0,01
	HIG	0,35	0,45	0,00	0,66	0,02	0,88	-	-	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,86	0,63	0,01
	IPS	0,00	0,10	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,02	-	-	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88
	LOW	0,24	0,00	0,00	0,00	0,88	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	-	-	0,00	0,00	0,11	0,00
	MED	0,00	0,48	0,55	0,61	0,00	0,93	0,00	0,95	0,00	0,02	0,00	0,00	-	-	0,00	0,01
	MR5	0,29	0,23	0,00	0,01	0,02	0,07	0,92	0,05	0,00	0,65	0,02	0,00	0,00	0,06	-	-

Tabela 11. Resultados do teste *t-Student* para comparação de duas médias de movimentação de cargas em cenários do período histórico 1970-1990 vs CC e período histórico 1970-1990 vs LUCC nas seguintes estações: Porto Velho; Humaitá; Manicoré e Fazenda Vista Alegre. Para testar as hipóteses, considerou a hipótese nula de que não há diferença entre as médias com intervalo de confiança de 0,95 e nível de significância de 0,05. O critério de decisão avalia os *p-valores* comparados ao nível de significância estabelecido: se *p-valor* < α , rejeita-se a hipótese nula, ou seja há evidências significativas de diferença entre os pares de médias.

1970 - 1990	PORTO VELHO (B-11)				HUMAITÁ (B-16)				MANICORÉ (B-17)				FAZ. VISTA ALEGRE (B-19)			
	DESEMBARQUE		EMBARQUE		DESEMBARQUE		EMBARQUE		DESEMBARQUE		EMBARQUE		DESEMBARQUE		EMBARQUE	
	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC	CC	LUCC
CSR	0,25	0,00	0,65	0,03	0,31	0,00	0,59	0,12	0,58	0,19	0,76	0,43	0,02	0,17	0,01	0,37
CTL	0,00	0,01	0,00	0,03	0,00	0,27	0,00	0,51	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
HD2	0,00	0,26	0,01	0,24	0,02	0,28	0,02	0,89	0,03	0,42	0,03	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
HIG	0,00	0,21	0,00	0,10	0,00	0,75	0,00	0,62	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
IPS	0,38	0,05	0,49	0,21	0,37	0,02	0,22	0,73	0,85	0,25	0,86	0,42	0,04	0,02	0,26	0,25
LOW	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MED	0,00	0,05	0,00	0,04	0,00	0,44	0,00	0,38	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04
MR5	0,79	0,01	0,27	0,46	0,57	0,11	0,44	0,31	0,00	0,34	0,00	0,89	0,00	0,10	0,00	0,18

REFERÊNCIAS

- [1]. Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ. Indicadores do transporte de cargas: Tonelada útil transportada (t) e tonelada quilômetro útil (TKU), 2013. Disponível em: http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/EstatisticaNavInterior/Transporte_de_Cargas_Hidroviarias_Brasileiras_2013TKU.pdf. acessado em 30.03.15>.
- [2]. Agência Nacional de Transportes Aquaviários – ANTAQ. TKU da navegação interior e de cabotagem-2014. Disponível em: http://www.antaq.gov.br/Portal/pdf/EstatisticaNavInterior/Transporte_de_Cargas_Hidroviarias_Brasileiras_2015TKU.pdf. acessado em 14.06.16>.
- [3]. Beven, K. J.; Kirkby, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. Hydrological Sciences Bulletin, 1979. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667909491834>>. Acesso em: 05 de abr. 2016.
- [4]. Case, M. 2006, “*Climate change impacts in the Amazon: review of scientific literature (World Wildlife Fund – WWF)*”. 8th Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. 20-31 March, Curitiba, Brazil.
- [5]. Chapelon, N., Douville, H., Kosuth, P. e Oki, T., 2002, *Off-line simulation of the Amazon water balance: a sensitivity study with implications for GSWP*. Climate Dynamics, v. 19, n. 2, pp. 141-154.
- [6]. Coe M.T., Costa M.H., Botta A. 2002: *Long-term simulations of discharge and floods in the Amazon Basin*. Journal of Geophysical Research-Atmospheres 107 (D20): Art. No. 8044.
- [7]. Coe, M.T., Costa, M.H., Howard, E. 2007: *Simulating the surface waters of the Amazon River Basin: Impacts of new river geomorphic and dynamic flow parameterizations*, in press. Hydrol. Procs.
- [8]. Collinschonn, W.; 2001. *Simulação Hidrológica em Grandes Bacias* . Tese de Doutorado, IPH-UFRGS.
- [9]. Collinschonn, W., Tucci, C. E. M., *Simulação Hidrológica Grandes Bacias. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 6 n. 1 Jan/Mar 2001, 95-118.

[10]. Collischonn, W.; Allasia, D.; Silva, B. C. D.; Tucci, C. E. The MGB-IPH model for large-scale rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, Taylor & Francis, 2007.

[11]. Cunge, J. A. On the subject of a flood propagation computation method (Muskhelishvili method). *Journal of Hydraulic Research*, 1969. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00221686909500264>>. Acesso em: 05 de abr. 2016.

[12]. Falck, A. S. Avaliação da incerteza nas estimativas de precipitação por satélite e sua propagação no modelo hidrológico distribuído MHD-INPE. Tese (Doutorado) — Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015.

[13]. Gash, J.; Lloyd, C.; Lachaud, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 1995. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002216949502697N>>. Acesso em: 05 de abr. 2016.

[14]. Germer S.; Neill, C.; Krusche, A.V.; Elsenbeer, H. *Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: Undisturbed forest to pasture*. *Journal of Hydrology*, v. 380, p. 473-480, 2010.

[15]. Gonçalves, S. G., Tomasella, J.; 2011. Estudos dos Efeitos das Mudanças Globais na Bacia do Rio Madeira. Relatório de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/INPE).

[16]. Herrmann, I. T.; P, Bikker; A. Jorgensen. (2012). Assessing The Greenhouse Gas Emissions From Poultry Fat Biodiesel. *Journal Of Cleaner Production*. Editora Elsevier, n. 24, p. 85-91.

[17]. Iorgulescu, I.; Musy, A. Generalization of topmodel for a power law transmissivity profile. *Hydrological Processes*, John Wiley amp; Sons, Ltd, 1997. ISSN 1099-1085. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(199707\)11:9<1353::AID-HYP585>3.0.CO;2-U](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(199707)11:9<1353::AID-HYP585>3.0.CO;2-U)>. Acesso em: 05 de abr. 2016.

[18]. J. A. Marengo, L. Borma, D. Rodriguez, P. Pinho, W. Soares e L. Alves, "Extremes recentes de secas e inundações na Amazônia: Vulnerabilidades e Adaptação Humana", *American Journal of Climate Change*, Vol. 2 No. 2, 2013, pp. 87-96. doi: 10.4236 / ajcc.2013.22009 .

[19]. J. A. Marengo, C. A. Nobre, J. Tomasella, M. Oyama, G. Sampaio, H. Camargo e L. Alves, "A seca da Amazônia em 2005", *Jornal do Clima*, Vol. 21, No. 3, 2008, pp 495516. doi: 10,1175 / 2007JCLI1600.1

[20]. Jacon, G.; Cudo, K. J. Curva-chave: análise e traçado-hidrologia. In: Curva chave: análise e traçado-hidrologia. Brasília: Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), 1989.

[21]. Jarvis, N. A simple empirical model of root water uptake. *Journal of Hydrology*, 1989. ISSN 0022-1694. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022169489900504>>. Acesso em: 05 de abr. 2016.

[22]. Kuwahara, N., H. M.O. Gomes., S. Dacol., W. V. Machado and Santos, M. P. S. (2006) Seca na Amazônia: Reflexão de Reestruturação do Planejamento de Transportes e Logística Regional. In: XIV Congresso Panamericano de Engenharia de Trânsito e Transporte. Las Palmas de Gran Canaria, Espanha.

[23]. Liang, X.; Lettenmaier, D. P.; Wood, E. F.; Burges, S. J. A simple hydrologically based model of land surface water and energy fluxes for general circulation models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1994. ISSN 2156-2202. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/94JD00483/abstract>>. Acesso em: 05 de abr. 2016

[24]. Lima, L. S.; 2011. Implementação de um Modelo Hidrológico Distribuído na Plataforma de Modelagem Dinâmica EGO. Dissertação de Mestrado, UFMG.

[25]. Meade, R. J. M., Rayol, S. C., Da Conceição, J. R.; 1991. "Backwater of Brazil Effects in the Amazon River Basin". *Environ Geol Water Sci* Vol. 18 N° 2, 105-114.

[26]. Marengo, J. A., L. Borma, D. Rodriguez, P. Pinho, W. Soares and L. Alves, "Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia: Vulnerabilities and Human Adaptation," *American Journal of Climate Change*, Vol. 2 N° 2, 2013, pp. 87-96. doi: 10.4236/ajcc.2013.22009.

[27]. Marinho Filho, G. M., Andrade, R. S., Zukowski Júnior, R., Magalhães Filho, L. N. L.; (2012). Modelos Hidrológicos: Conceitos e Aplicabilidades. *Revista de Ciências Ambientais*. Canoas, v.6, n.2, p. 35 a 47, 2012 / ISSN 1981-8858.

[28]. Mediondo, E. M., Tucci, C. E. M.: 1997. Escalas Hidrológicas I: Conceitos. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Vol. 2 n. 2 Jul/Dez 1997, 21-44

[29]. Molinier, M., Guyot, J.L., Oliveira, E. *et al.*, 1994, “Hidrologia da bacia do rio Amazonas”. *A Água em Revista*, v. 2, n. 3, pp. 31-36.

[30]. Monteith, J. *et al.* Evaporation and environment. In: *Symp. Soc. Exp. Biol.* [S.l.: s.n.], 1965.

[31]. Muniz, L. S.; Filizola Júnior, N. P. Proposta de metodologia de análise dos padrões de cotas fluviométricas da bacia do rio madeira-brasil. *REVISTA GEONORTE*, Edição Especial, V.3, N.4, p. 1242-1254, 2012.

[32]. Muniz, L. S.; Filizola Júnior, N. P. *Noções de hidrogeografia: conhecendo o meu Rio Madeira*. Manaus: Editora do INPA, 2015.

[33]. Naghettini, M.; Pinto, E. J. A., 2007. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte. CPRM, 2007. 552 p.

[34]. Nijssen, B., O'Donnell, G.M.; Hamlet, A.F. and Lettenmaier, D.P. “Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change”. *Climate Change* 50(1-2): 143 – 175. 2001.

[35]. Nobre, Carlos A; Sampaio, G.; Salazar, L.;; *Mudanças climáticas e Amazônia*. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 59, n. 3, 2007. Disponível em: <<http://cienciaecultura.bvs.br/pdf/cic/v59n3/a12v59n3.pdf>>. Acesso em: 11 mar 2015.

[36]. Padovezi, Calos Daher: 2003. *Conceito de Embarcações Adaptadas à Via Aplicado à Navegação Fluvial no Brasil / C. D. Padovezi*. – ed. rev. – São Paulo. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia Naval e Oceanica.

[37]. Paiva, R. C. D.; 2009. *Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica de Grandes Bacias*. Estudo de Caso: Bacia do Rio Solimões. Dissertação de Mestrado, UFRGS.

[38]. PCE & Odebrecht (2005). *Modelagem da Qualidade da Água dos Reservatórios do Complexo Hidrelétrico do Rio Madeira*, maio de 2005. Anexo 2, volume 7/8 do EIA.

[39]. PCE, FURNAS & CNO. 2002. *Inventário Hidrelétrico do Rio Madeira: Trecho Porto Velho – Abunã*. Processo N° 48500.000291/01-31. Relatório Final: MAD-INV-00- 01-RT. Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda. (PCE), FURNAS Centrais Elétricas S.A. & Construtora Noberto Odebrecht S.A. (CNO), Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em:

<http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/Mad/BARRAGENS%20DO%20RIO%20MAD EIRA.htm>.

[40]. Pimentel da Silva, L., Ewen, J.; 2000. Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias Hidrográficas: A Necessidade de Novas Metodologias. Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH.vol. 5 n. 4 Out/Dez-2000, 81-92.

[41]. Ribeiro Neto, A.; 2006. Simulação Hidrológica na Amazônia: Rio Madeira. Tese de Doutorado, COPPE, UFRJ.

[42]. Ribeiro Neto, A.; 2001. Modelagem Hidrodinâmica da Bacia do Rio Amazonas. Dissertação de Mestrado, UnB.

[43]. Ribeiro Neto, A., Silva, R. C. V.S., Collinscholl, W., Tucci, C. E. M., 2008. Simulação na Bacia Amazônica com Dados Limitados: Rio Madeira. Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH.vol. 13 n. 3 Jul/Set-2008, 47-58.

[44]. Ribeiro, A. C. S; A. L. P. Freitas. (2012). Análise de Regressão Múltipla para Identificação de Fatores Relevantes na Qualidade do Transporte Rodoviário Intermunicipal de Passageiros. Cadernos do IME – Série Estatística. V. 3, p. 15. UERJ. Rio de Janeiro.

[45]. Rodriguez, D. A. Impactos dos padrões espaciais da vegetação nas variáveis atmosférica e terrestre do ciclo hidrológico, em bacia de Floresta Amazônica. Tese (Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2011/02.23.18.55/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 05 de abr. 2016.

[46]. Ronchail J., Bourrel L., Cochonneau G., Vauchel P., Phillips L., Castro A., Guyot J.L., de Oliveira E. 2005a. Inundations in the Mamoré basin (South-Western Amazon - Bolivia) and seasurface temperature in the Pacific and Atlantic oceans. Journal of Hydrology, 302, 223-238

[47]. Sant'Anna, J. A.: 1998. Rede Básica de Transporte da Amazônia. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA. Brasília

[48]. Saad, S.I.; DA Rocha, H.R.; Dias, M.A.F.S.; Rosolem, R. Can the Deforestation Breeze Change the Rainfall in Amazonia? A Case Study for the BR-163 Highway Region. Earth Interactions, v. 14, 18, 2010.

- [49]. SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M.H.; SATYAMURTY, P.; SOARES, B.S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, v. 34, L17709, 2007
- [50]. Schweighofer, J., 2014. The impact of extreme weather and climate change on inland waterway transport. Springer. doi: 10.1007/s11069-012-0541-6.
- [51]. Siqueira Júnior, J. L., Tomasella, J., Rodriguez, D. A., 2015. *Impacts of future climatic and land cover changes on the hydrological regime of the Madeira River basin*. Springer. doi: 10.1007/s10584-015-1338-x.
- [52]. Toledo, G. L, I. I. Ovalle (1985). *Estatística Básica (2ª Ed.)*. Atlas. São Paulo.
- [53]. Trancoso R, Carneiro Filho A, Tomasella J, Schietti J, Forsberg BR, Miller RP (2009). *Deforestation and conservation in major watersheds of the Brazilian Amazon. Environmental Conservation*. 36:277–288. doi: 10.1017/S0376892909990373
- [54]. Tucci, C. E. M.; 1998. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- [55]. Vörösmarty, C.J., Moore, B., Grace, A.L. et al, 1989, Continental scale models of water balance and fluvial transport: an application to South America. *Global biogeochemical cycles*, v. 3, n. 3, pp. 241-265.
- [56]. Yilmaz, K. K.; Gupta, H. V.; Wagener T. 2008. A process-based diagnostic approach to model evaluation: application to the NWS distributed hydrologic model, *Water Resources Research*, v. 44, W09417.
- [57]. Wood, A. W., Maurer, E. P., Kumar, A., Lettenmaier, D. (2002). *Long-range experimental hydrologic forecasting for the eastern United States*. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 107, Issue D20, 27.10.2002, pág. ACL 6-1-ACL 6-15.
- [58]. Zhao, R. -J.; Liu, X. The Xinanjiang model. In:_____. [S.l.]: Water Resources Publications, 1995.