

Dinâmica fluvial do Rio Madeira

Amilcar Adamy

INTRODUÇÃO

Nos primeiros meses de 2014, o rio Madeira surpreendia o Estado de Rondônia com uma excepcional elevação do nível das águas, provocando a maior inundação já registrada por esta bacia. Entretanto, este cenário apenas confirmou as previsões de uma grande cheia efetuadas pelos pesquisadores atuantes na região, fundamentados no volume anormal das precipitações pluviométricas observadas nos últimos meses do ano de 2013, incidentes no alto curso dos principais formadores do rio Madeira.

Em decorrência dessa cheia histórica, todos os núcleos urbanos localizados nas margens do rio em território rondoniano, desde Vila Murtinho até a Vila Calama, foram afetados em níveis distintos, com o transbordamento de todas as drenagens e conseqüente invasão do espaço urbano, provocando consideráveis danos socioeconômicos e ambientais, além da inevitável remoção de centenas de moradores. Este transbordamento atingiu o clímax no mês de março quando atingiu a marca histórica de 19,69 m, recuando para níveis seguros apenas nas primeiras semanas do mês de junho (cota de 15,00 m).

Uma das áreas mais atingidas foi a cidade de Porto Velho, disposta a jusante das últimas cachoeiras/corredeiras do rio Madeira, a partir do qual assume um padrão meândrico, com amplas planícies de inundação e terraços baixos, de cotas facilmente inundáveis.

Evidentemente, um fenômeno climatológico dessa magnitude promove expressiva elevação dos valores absolutos de parâmetros hidrológicos tais como a vazão, a velocidade das águas e sua turbulência, energia essa transmitida ao comportamento dinâmico do rio, potencializando o processo erosivo de fundo e das margens, promovendo, em paralelo, a movimentação de milhares de toneladas de sedimentos suspensos e depositados (dunas móveis), processos esses que serão considerados neste artigo.

O Rio Madeira é classificado como um rio de águas brancas tais como os rios Solimões, Purus e Juruá, entre outros, por transportar grande quantidade de material em suspensão, substancialmente elevada

durante a estação chuvosa, quando sua vazão é aumentada exponencialmente, passando 5.000 – 6.000 m³/s(período seco) para 45.000 - 50.000 m³/s (período chuvoso), com uma média anual de 23.000 m³/s. Trata-se de um rio com comportamento tipicamente sazonal, variável conforme a estação climática predominante. Dados hidrológicos da bacia do Madeira são coletados sistematicamente há mais de quarenta anos, correspondendo a um extenso banco de dados, embora sejam insuficientes para uma avaliação mais segura e precisa do seu comportamento hidrológico.

Com o soerguimento lento e gradual da cordilheira andina, os sistemas de drenagem que desaguavam no Oceano Pacífico e no Caribe foram bloqueados, impedidos de atingir suas pretéritas desembocaduras, propiciando a formação de um lago amazônico de grandes proporções, sendo representado nos dias de hoje pela unidade litoestratigráfica Formação Solimões. Em decorrência, houve a lenta inversão do sentido dos cursos d'água da região amazônica, sugerida para o Mioceno Médio (16 milhões de anos atrás). Segundo pesquisadores, o atual sistema amazônico de drenagem foi iniciado no Plioceno (2,5 milhões de anos). Para corroborar esses dados, foram identificados grãos de areia procedentes da região andina com idades estimadas de 10 milhões de anos. Portanto, a bacia do rio Madeira corresponde a uma drenagem antiga, comprovada através do padrão meândrico, principalmente à jusante da cidade de Porto Velho, embora tenha segmentos de formato aproximadamente retilíneos, que foram rejuvenescidos tectonicamente, tal como o trecho Abunã – Porto Velho, onde se localizam diversos travessões rochosos.

A implantação das usinas hidrelétricas de Jirau e Santo Antônio, cujo barramento coincidiu com a incidência da maior inundação do rio Madeira, trouxe consigo questões inquietantes para a popula o relacionadas a uma eventual contribui o das usinas na eleva o do nível das águas do rio. Levantamentos sistemáticos vêm sendo conduzidos por algumas institui es visando coletar subsídios capazes de oferecer uma resposta definitiva.

Em território brasileiro, o contexto estrutural da bacia do rio Madeira é dividido em três domínios (Souza Filho et al., 1999):

- Domínio I: correspondente a Depressão Guaporé, formada pelos rios Guaporé e Mamoré (até a cidade de Guajará-Mirim), apresenta padrão meandrante e feições típicas como lagos e lagoas, com extensa planície aluvial pediplanada e relevos residuais; são canais instáveis e migrantes. Constitui um ambiente deposicional, com predomínio de sedimentos inconsolidados areno-argilosos;
- Domínio II: constitui o Alto Estrutural Guajará-Mirim – Porto Velho, correspondendo aos rios Mamoré (de Guajará-Mirim até sua confluência com o rio Beni) e Madeira (até a cidade de Porto Velho), com traçado retilíneo predominante a levemente sinuoso; exhibe três setores distintos: – até a vila de Abunã quando sofre uma brusca mudança no sentido do canal principal (tectônica), a planície aluvial de Abunã e trecho até a cidade de Porto Velho. Caracteriza-se também pela assimetria dos afluentes devido a um basculamento dos blocos e pelas frequentes cachoeiras e corredeiras. Trata-se de um planalto dissecado, onde a planície aluvial é pouca desenvolvida. Predomínio de um ambiente erosivo, seccionando e retrabalhando rochas cristalinas;
- Domínio III: desenvolve-se ao longo do vale fluvial do rio Madeira, a jusante de Porto Velho até a foz no rio Amazonas, comportando-se novamente como um rio meandrante, com ampla planície aluvial assimétrica; são comuns feições mais antigas como paleocanais ou jovens como meandros abandonados. Extensas áreas planas, com substrato geológico constituído por sedimentos terciários e quaternários indiferenciados. Caracteriza-se pelo caráter deposicional, com baixa declividade.

É importante destacar que rios de traçado retilíneo possuem alta competência de transporte de sedimentos, enquanto que aqueles possuidores de um traçado meandrante favorecem a estocagem de sedimentos.

DINÂMICA FLUVIAL

A sazonalidade climática da região amazônica condiciona um comportamento variável dos rios, responsável por grandes vazões na estação

chuvosa, declinando sensivelmente no período seco. Este contexto imprime uma dinâmica fluvial diferenciada capaz de introduzir alterações profundas no traçado dos rios. No rio objeto deste estudo, ilhas quilométricas desaparecem ao longo do tempo, canais são preenchidos por sedimentos, meandros sofrem rupturas, taludes fluviais recuam por dezenas de metros, novos bancos arenosos e outras mudanças, indicando uma temporalidade sempre presente.

Os rios de água branca, como os rios Madeira, Solimões, Purus, entre outros, são responsáveis por alguns dos maiores sistemas de estocagem e transferência de sedimentos para o oceano. Além disso, são muito instáveis, com remodelamentos constantes do leito submetido a uma dinâmica fluvial intensa, principalmente nos cursos médio e inferior, modificando de forma permanente seu curso, possuindo ao mesmo tempo uma ampla planície de inundação, onde os processos fluviais são mais atuantes, seja pela erosão ou pela deposição de sedimentos dentro do canal, como também pelos efeitos dos transbordamentos periódicos.

As bacias de relevo alto em cinturões orogênicos ativos, como os Andes, têm alta produção de sedimentos, principalmente em suspensão (80%) e carga de fundo bastante reduzida (2 a 15%). A bacia do rio Madeira contribui com 50% do total da carga de sedimentos suspensos transportados pelo rio Amazonas, com valores estimados entre 248 a 600 milhões de toneladas por ano. Entretanto, a carga sedimentar não é totalmente transferida para o oceano, sendo estocada parcialmente nas planícies aluviais.

A erosão fluvial natural representa o processo de retirada de detritos do fundo do rio e das margens, passando a integrar a carga sedimentar, sendo potencializada por ação antrópica. A erodibilidade fluvial dependerá da carga detrítica transportada e, por isso, quanto mais grosseiro e volumoso for o material transportado, maior ação abrasiva confere ao rio. Segundo Labadessa (2011), os processos erosivos nas margens fluviais também estão vinculados à altura e à declividade dos barrancos, a textura e estrutura do solo das margens, o clima e a geometria hidráulica (vazão, velocidade do fluxo, forma do canal e declividade do perfil longitudinal).

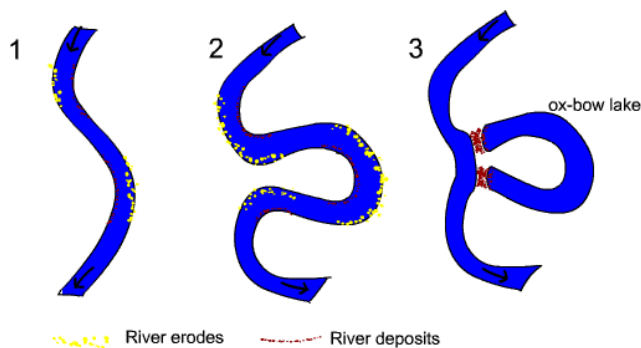
Os principais processos associados à erosão fluvial são representados pela corrosão, corrasão e cavitação. Corrosão é o fenômeno de decomposição química das rochas, enquanto que a corrasão refere-se ao desgaste mecânico, favorecido pela presença de material grosseiro (processo mecânico de desgaste pelo atrito gerado pelo turbilhonamento da água carregada de elementos

sólidos). A cavitação ocorre somente sob condições de alta velocidade da água, estando presente apenas no curso superior dos afluentes do Madeira (Andes).

Por outro lado, o transporte dos sedimentos é efetuado por solução – materiais dissolvidos, suspensão – partículas finas (ex.: ouro aluvionar) e saltação – partículas maiores, na qual a carga de leito corresponde em média a 10% da carga em suspensão.

No Domínio III do rio Madeira observa-se uma tendência ao equilíbrio entre a erosão e a deposição e uma baixa declividade em relação a sua foz, entretanto ainda é possuidor de muita energia, provocando a remoção dos sedimentos inconsolidados das margens côncavas e depositando nas margens convexas, estabelecendo gradualmente um padrão meândrico divagante. Como consequência natural, processos de mobilidade fluvial são responsáveis pela formação de meandros abandonados (avulsão), comuns no médio e baixo Madeira (Figura 2). Um dos exemplos atuais da evolução gradual da avulsão está sendo acompanhado pela CPRM na cidade de Brasileia, fronteira com o território boliviano, onde um meandro do rio Acre sofrerá rompimento em um futuro próximo (Figura 3).

Figura 2: Figura esquemática do processo de avulsão em canal meândrico



Fonte: <http://www.scalloway.org.uk/phyl7.htm>

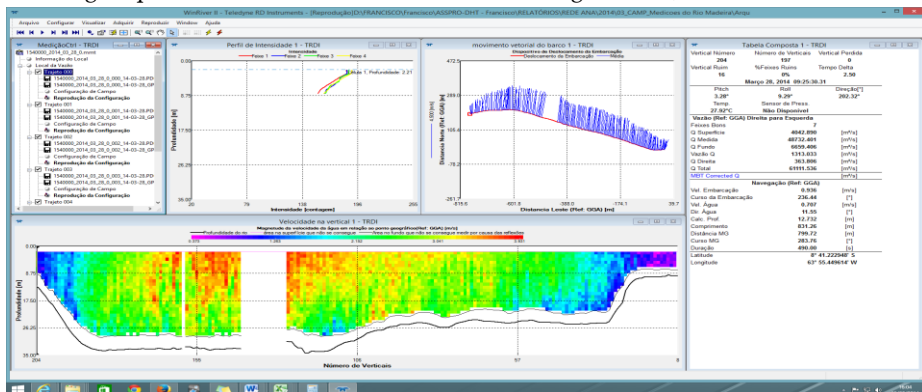
Figura 3: Traçado meândrico do rio Acre em Brasileia, Acre. Observar trecho estrangulado do rio, suscetível a futuro rompimento



Fonte: Autor

A velocidade de fluxo das águas do rio Madeira desempenha um papel importante no processo de erosão e modelado fluvial, estando vinculada diretamente a vazão, ou seja, o volume de água drenado pelo rio, variável sazonalmente, correspondendo às máximas nos meses de fevereiro, março e abril, enquanto que as mínimas ocorrem nos meses de agosto, setembro e outubro. A descarga líquida também é fundamental na remoção de material de fundo e desmonte das margens. Durante a última inundação deste rio, a velocidade máxima registrada foi de 4,5 m/s, baixando após para 0,8 m/s, medidas através de um equipamento denominado “ADCP” (Acoustic Doppler Current Profile), instalado na estação de Porto Velho (Figura 4).

Figura 4: Perfil ADCP efetuado na estação de Porto Velho em 28/3/2015. Descarga líquida de 60.066 m³/s e velocidade das águas de 4,0 m/s



Assim, quanto maior a velocidade das águas corresponderá a uma maior turbulência e erosão, implicando em uma maior capacidade de transporte de sedimentos (Figura 5). Da mesma forma, com menor velocidade, a competência de transporte diminuirá, favorecendo a deposição dos sedimentos.

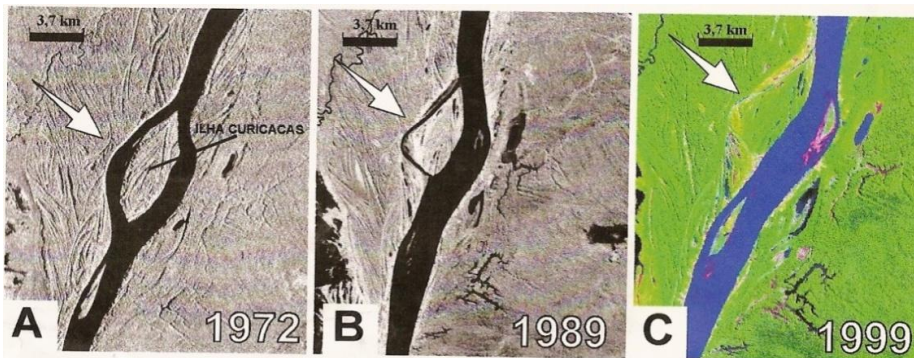
Figura 5: Intensa ação erosiva em margem do rio Madeira, devido ao aumento da velocidade das águas e sua turbulência



Fonte: Autor

Um exemplo formidável da evolução temporal do traçado do rio Madeira pode ser observado na Ilha Curicacas, a jusante de Porto Velho, exibindo uma profunda alteração na morfologia fluvial em um período de 27 anos (Figura 6).

Figura 6: Morfologia fluvial temporal da Ilha Curicacas, baixo rio Madeira



Fonte: Rommel da S. Sousa

TERRAS CAÍDAS

Uma feição natural comumente observada em rios amazônicos é o desbarrancamento das suas margens, conhecido na linguagem popular como “terras caídas”. Consiste em um processo de erosão fluvial acelerada que promove a ruptura, solapamento e o desmanche das margens fluviais por escorregamentos, deslizamentos, desmoronamentos e desabamentos (Labadessa, 2011). Predominam em terrenos recentes (aluviões) compostos por areias e argilas inconsolidadas, de pouca coesão e baixa resistência à ação dos agentes causadores. No vizinho estado do Acre, colinas dissecadas da Formação Solimões, mais antigas e melhor consolidadas (Mioceno ao Plioceno) também são atingidas pelo processo de terras caídas, estendendo-se por dezenas de metros (Figura 7).

Figura 7: Colina dissecada de sedimentos argilossilticos da Formação Solimões. Alto rio Juruá, Acre



Fonte: Autor

As primeiras referências às terras caídas foram descritas por Spix e Martius no rio Amazonas (1819), Bates no rio Solimões (1850) e Euclides da Cunha no rio Purus (1905). Embora seja pouco estudada, sua presença é descrita em quase todos os rios da bacia amazônica de médio a grande porte, portadores de volumes expressivos de material em suspensão (rios de águas brancas). Em sua maioria, nascem nas elevações andinas e pré-andinas, sendo caracterizados pela alta declividade e muita energia, com altas taxas de erosão e capacidade de transporte, bastante reduzidas ao atingirem a depressão amazônica, de baixa declividade.

Os principais agentes causadores dos movimentos gravitacionais de massa que conduzem a formação das terras caídas são representados pela pressão hidrodinâmica e pela pressão hidrostática. Devem ser considerados também os fatores estruturais e neotectônicos, os climáticos (vento e chuva), a composição litológica do material das margens e os taludes pronunciados das barrancas dos rios. A pressão hidrodinâmica está vinculada diretamente a velocidade do fluxo aquoso e a sua descarga, enquanto que a pressão hidrostática associa-se a saturação dos solos/sedimentos por água pluvial nas planícies de inundação e por vezes nos terraços mais baixos, tornando-os pesados e promovendo a instabilidade dos barrancos (Figura 8).

Figura 8: Escorregamento dos taludes fluviais por efeito da pressão hidrostática. Rio Madeira



Fonte: Autor

Em geral, os movimentos gravitacionais de massa se manifestam de forma rápida, durante um ciclo hidrológico, tanto na estação chuvosa como no período seco. Entretanto, a depender da constituição dos solos/sedimentos, este movimento pode apresentar uma evolução lenta, como, por exemplo, nas argilas expansivas do estado do Acre, caracterizando uma feição denominada de “rastejo” (Figura 9), constatada muitas vezes em encostas de colinas dissecadas junto às drenagens.

Figura 9: Encosta de colina dissecada, submetida a processo de rastejo. Médio curso do rio Juruá, Acre



Fonte: Autor

Nas últimas décadas, a crescente ocupação humana ao longo dos rios trouxe consigo problemas ambientais de natureza diversa, em que o desmatamento dos terraços próximos às margens para a implantação de núcleos rurais ou pastagens constitui o fator mais inquietante, devido à potencialização do processo erosivo e o aporte de toneladas de sedimento na carga transportada pelos rios, introduzindo alterações na dinâmica fluvial e o assoreamento dos leitos dos canais (Figura 10). Da mesma forma, o aumento substancial do tráfego fluvial, com a navegação incessante de embarcações de grande a médio porte, provoca uma maior turbulência da água que, ao dar de encontro com as margens constituídas por sedimentos inconsolidados, potencializam a ação erosiva fluvial e aceleram o desenvolvimento das terras caídas (Figura 11).

Figura 10: Terraço desmatado submetido à ação erosiva do rio Solimões. Vila Cuia, 2009



Fonte: Autor

Figura 11: Embarcações. Porto de Cruzeiro do Sul, Rio Juruá



Fonte: Autor

Um interessante exemplo da erosão fluvial foi identificado na desembocadura do rio Jaci-Paraná, afluente pela margem esquerda do rio Madeira, no qual se evidenciou o dismantelamento de um extenso trecho do talude fluvial do rio principal em um curto intervalo temporal, responsável pela geração de uma nova desembocadura para o rio Jaci-Paraná (figuras 12 e 13).

Figura 12: Rio Jaci-Paraná em agosto 2010



Fonte: Imagem Google

Figura 13: Rio Jaci-Paraná em julho 2012



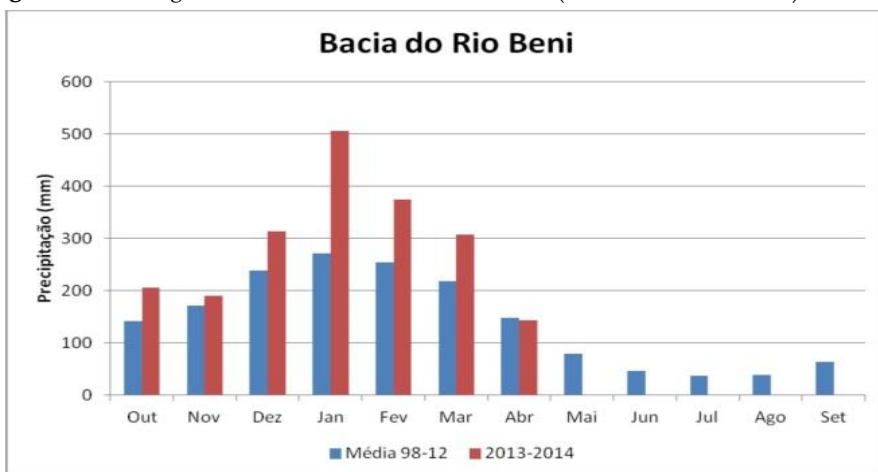
Fonte: Imagem Google. Elaborado pelo Autor

INUNDAÇÃO DO RIO MADEIRA

Em eventos de cheias notáveis em rios de grande porte existe sempre um vínculo direto com o nível de precipitações pluviométricas registrado para a área de influência deste rio, como observado na inundação do rio Madeira no ano hidrológico de 2013/2014.

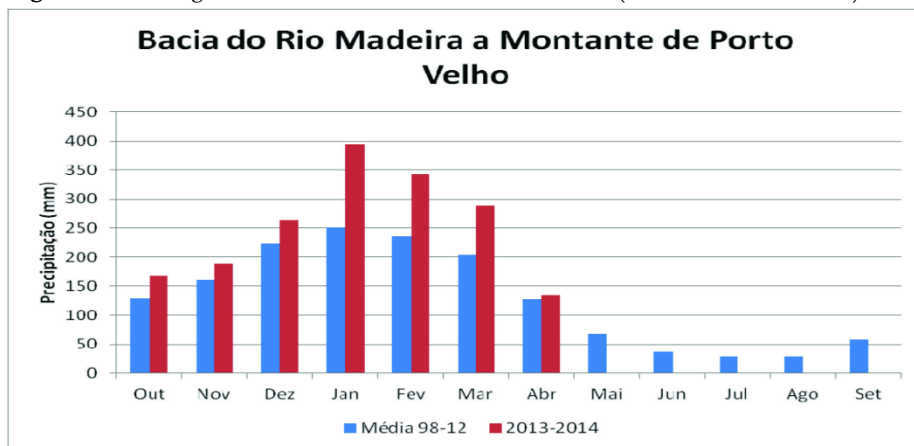
Expressivos volumes de chuvas têm sido registrados na bacia afluenta a Porto Velho nos últimos três anos hidrológicos (2011/2012, 2012/2013 e 2013/2014), como, por exemplo, no rio Beni onde foram caracterizadas precipitações com valores 35% maiores do que a média histórica e 58% a mais no mês de janeiro de 2014 no rio Beni (Figura 14). Analisando os hietogramas dos rios Beni, Mamoré e Madeira (Figura 15), verifica-se que os totais médios mensais na bacia do rio Beni são maiores que os da bacia do rio Mamoré e que os meses de janeiro e fevereiro foram muito mais chuvosos do que a média histórica.

Figura 14: Histograma mensal da bacia do rio Beni (dados até 24/4/2015)



Fonte: Franco T. Buffon

Figura 15: Histograma mensal da bacia do rio Madeira (dados até 24/4/2015)



Fonte: Franco T. Buffon

Outra feição marcante da bacia amazônica associado às condições climáticas é representada pela extrema sazonalidade do nível fluviométrico dos rios entre as estações chuvosa e seca. Por exemplo, o nível fluviométrico do rio Madeira varia entre 11 a 14 metros entre as duas estações, tendo atingido os valores mais altos nos anos de 2014 (19,74 cm), 1997 (17,51cm) e 1984 (17,44 cm).

Este condicionamento sazonal implica em vazões (descarga) extremamente variáveis interanuais e mesmo ao longo de um ano hidrológico, atingindo uma vazão máxima histórica de 58.507,6 m³/s em 30 de março de 2014 e uma vazão mínima histórica de 2.229,4 m³/s registrada em 22 de setembro de 1988, possuindo valores médios de 18.837,3 m³/s (entre 4/1967 e 5/2015).

A inundação histórica do rio Madeira em 2014 serviu de cenário para intensos debates entre a comunidade científica, órgãos de imprensa e a popula o em geral, buscando identificar e caracterizar as prováveis causas dessa cheia (Figura 16).

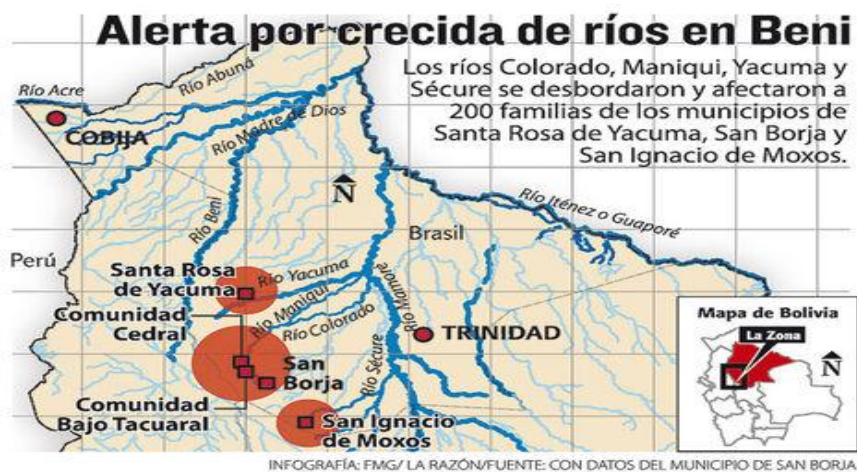
Figura 16: Rodovia BR-364 inundada. Trecho Jaci-Paraná a Mutum-Paraná. Março 2014



Fonte: organizado pelo Autor

Entre as várias hipóteses formuladas, as condi oes climáticas dominantes nos países vizinhos (Peru e Bolívia) assume uma importância maior, dado as precipita oes pluviais excepcionais no período de outubro/2013 a março/2014, que provocaram transbordamento das principais drenagens, afetando 80 municípios e várias localidades, em seis, dos nove departamentos bolivianos, com consideráveis prejuízos materiais, perda de rebanhos bovinos e até mesmo de vidas humanas (figuras 17 e 18). Estimou-se que 80% das  guas que alimentam a inunda o do rio Madeira prov m dos rios Madre de Dios, Beni, Mamoré e Guaporé.

Figura 17: Região afetada pelas inundações na região de Beni. Março 2014.



Fonte: www.la-razon.com/sociedad/lluvias-Beni-evacuan-familias_0_1984601526.html

Figura 18: Cidade de Santíssima Trindade, Beni, Bolívia. Fevereiro de 2014



Fonte: candidoneto.blogspot.com.br/2014/03/por-questoes-politicas-midia-brasileira.html

Informações publicadas pela imprensa boliviana (Folha de São Paulo, edição de 15/2/2014) apontavam que o fenômeno La Niña seria o responsável pela anormalidade das chuvas, com início em novembro de 2013, sendo considerado pelo governo do Departamento de Beni como as piores enchentes da história da região.

Uma segunda possibilidade vinculava-se ao represamento do rio Madeira pelo rio Amazonas (afogamento), provocando a retenção das águas do rio Madeira e a consequente elevação do seu nível fluviométrico. Esta hipótese foi descartada devido ao dissipamento do efeito de remanso pela

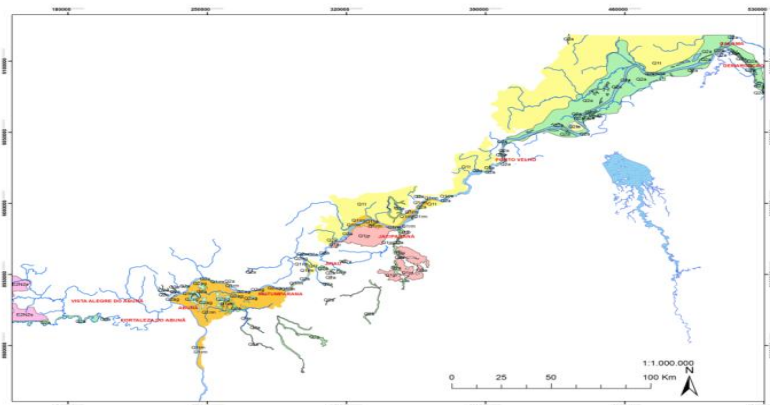
distância (> 900 km) e pela diferença altimétrica (17 m) entre a foz do rio Madeira e a cidade de Porto Velho, apesar da baixa declividade do rio. O represamento estaria mais restrito às proximidades da foz, capaz de influenciar o nível fluviométrico do rio Amazonas à jusante (próximo de Parintins).

O contexto geológico e geomorfológico do trecho do rio Madeira entre as vilas de Abunã e Calama bastante diferenciado, também é uma alternativa a ser considerada, podendo contribuir com a destinação dos elevados índices de precipitação pluvial, conforme a seguir (Figura 19):

- Trecho Abunã a Porto Velho: apresenta um traçado mais retilíneo de canal estável e bem definido de pouca migração lateral, sendo constituído em boa parte do trajeto por rochas sedimentares e ígneas (exposições rochosas), de baixa permeabilidade e de relevo predominantemente ondulado; as planícies de inundação são restritas, incapazes de absorver grandes volumes de água no subsolo; predomínio de processos erosivos;

- Trecho Porto Velho a Calama: notabiliza-se pelo canal sinuoso (meândrico) e instável, com ampla migração lateral; extensas planícies de inundação e abundantes meandros abandonados e lagunas, capazes de absorver grandes volumes de água pluvial e aquela drenada pelo próprio rio; substrato constituído por sedimentos recentes a sub-recentes, inconsolidados; são terrenos aplainados, de baixa declividade, onde predomina a deposição de sedimentos.

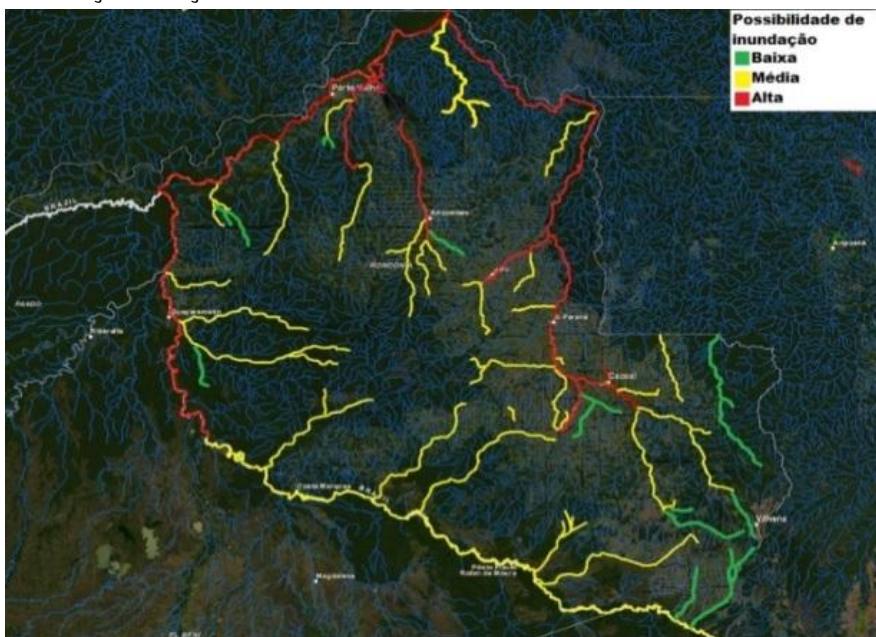
Figura 19: Representação esquemática do contexto geológico ao longo do rio Madeira.



Fonte: Mapa Geológico do estado de Rondônia, 2007

O relevo aplainado presente em longos trechos da bacia do rio Madeira, representado por amplas planícies de inundação e o padrão meândrico associado, favorecem o transbordamento das águas, provocando a inundação dos terrenos próximos à calha dos rios, principalmente nos rios de grande porte como Beni, Mamoré, Madre de Dios, Guaporé e o próprio Madeira (Figura 20).

Figura 20: Rede de drenagem da bacia do rio Madeira em Rondônia, com indicação de inundação. Março de 2014



Fonte: Franco T. Buffon

Finalmente, uma última alternativa, associada ao represamento das águas do rio Madeira pelas barragens dos empreendimentos hidrelétricos de Santo Antônio e Jirau, é bastante controversa, com opiniões divergentes. A nosso ver, dois fatos podem ser destacados no momento atual: a potencialização do processo erosivo natural dos taludes fluviais a jusante da barragem de Santo Antônio por distâncias ainda indefinidas e a necessidade de estudos mais detalhados e por prazos mais longos, que comprovem de maneira definitiva a contribuição das usinas na dinâmica fluvial do rio Madeira. Atualmente, a CPRM (Residência de Porto Velho) desenvolve estudos

batimétricos para avaliar a extensão dos efeitos no leito do rio derivados do represamento das barragens.

Com o intuito de assegurar a proteção da rodovia BR-364 e das áreas urbanas sob a influência dos efeitos do remanso dos reservatórios das UHEs Santo Antônio e Jirau, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (NOS) estabeleceu em 21 de janeiro de 2015 uma proposta de regra operativa para o rebaixamento de Santo Antônio e Jirau para o ano de 2015, que procurará evitar novas inundações da bacia do rio Madeira.

EXEMPLOS DE DINÂMICA FLUVIAL ATIVA EM RONDÔNIA

O desenvolvimento de atividades de campo em diversas áreas de domínio do rio Madeira, demandadas por instituições públicas, trouxe uma contribuição importante ao entendimento e caracterização dos processos associados à dinâmica fluvial e a atuação de agentes erosivos. Serão demonstrados exemplos de áreas submetidas aos rigores da estação chuvosa da Amazônia e dos efeitos sobre o comportamento do rio Madeira.

a) Vila de São Carlos

Núcleo urbano localizado na margem esquerda do rio Madeira, junto à confluência com o rio Jamari (Figura 21). Comunidade tradicional da região, ocupada por antigos extratores de recursos naturais da floresta amazônica (borracha, castanha, etc.), dedicando-se atualmente ao aproveitamento dos recursos pesqueiros e, em particular, do controle da população de crocodilídeos.

Esta vila foi inteiramente submergida durante a inundações do rio Madeira nos primeiros meses de 2014, obrigando a evacuação quase total de seus moradores (Figura 22). Na área urbana, ainda, os taludes fluviais são submetidos à ação erosiva fluvial, gerando desbarrancamentos contínuos e rotineiros (terras caídas), acentuada na estação chuvosa, forçando ao recuo gradativo dos moradores. Constitui uma área suscetível a riscos anuais de inundações e deslizamentos, devendo-se avaliar a possibilidade de uma nova área para a Vila de São Carlos.

Figura 21: Vila de São Carlos, no baixo Madeira.



Fonte: Google Earth. Organizado pelo Autor

Figura 22: Imóvel residencial em São Carlos. Observar nível da água indicado na casa e depósitos de sedimentos depositados durante a inundação



Fonte: Autor

b) Assentamento Joana d'Arc

Projeto de assentamento do INCRA, totalizando uma área aproximada de 60.000 ha dividida em 1.214 parcelas, distribuídas pela margem esquerda do rio Madeira, estendendo-se em direção ao Estado do Amazonas (Figura 23). O acesso é efetuado pelo Ramal do Jatuarana/Travessão, trafegável permanentemente de forma precária, atingindo todas as linhas vicinais.

No período de inundação do ano de 2014, as linhas vicinais mais distantes foram invadidas por drenagens secundárias, afogadas pelo rio Madeira, bloqueando a utilização do acesso viário e impedindo a circulação dos moradores (Figura 24). Em paralelo, houve a elevação do nível freático das águas subterrâneas, alagando áreas produtivas, ocasionando perda da produção agrícola.

A área está assentada sobre planícies aluviais inundáveis e terraços baixos parcialmente inundáveis, constituídas por sedimentos aluviais e coberturas sedimentares indiferenciadas e lateritos.

Figura 23: Linhas de assentamento do Projeto Joana d' Arc.



Fonte: Google Earth. Organizado pelo Autor

Figura 24: Igarapé Ferrugem afogado pelo rio Madeira, inundando acesso viário. LH 19. Julho de 2014



Fonte: Autor

c) Comunidade São Sebastião / Triângulo

Comunidade representada por pequeno grupo de moradores, situada na margem esquerda do rio Madeira, a jusante da barragem da UHE Santo Antônio.

Localidade estudada desde o mês de março/2012, constatando-se um processo erosivo fluvial gradual, promovendo o desmantelamento dos barrancos defronte a vila, que vem afetando vários imóveis comerciais. É interessante destacar que trechos vegetados dos barrancos são mais resistentes à erosão. Constitui um terraço aluvial de composição areno-argilosa, bastante permeável e saturado, com significativa pressão hidrostática.

Na margem direita, defronte a esta comunidade, está situado o bairro Triângulo, que recebe diretamente o fluxo turbulento das águas provenientes da barragem, com forte impacto nos barrancos inconsolidados e altamente suscetíveis a ação erosiva do rio, observando-se o rápido recuo das margens, deixando para trás árvores tombadas dentro do rio (Figura 25).

Figura 25: Terraço aluvial na margem direita do rio Madeira, submetida à erosão fluvial. Observar árvores tombadas



Fonte: Autor

O processo erosivo, apesar de ser natural em uma drenagem de grande porte, é potencializado pela barragem da UHE Santo Antônio, ao despejar volumes elevados de água pelas comportas com alta velocidade em determinadas situações. Este fato é admitido pela titular do empreendimento e na tentativa de amenizar o efeito erosivo, instalou uma barreira rochosa próxima à margem do rio, visando proteger os imóveis existentes na orla fluvial (Figura 26).

Figura 26: Barreira rochosa próxima à margem do rio. Bairro Triângulo



Fonte: Autor

d) Mirante Café Madeira

Sítio tradicional da cidade de Porto Velho, o Mirante Café Madeira ocupa há décadas uma área urbana junto a uma encosta verticalizada de constituição laterítica, com excelente vista para o rio Madeira (Figura 27).

Figura 27: Localização do Mirante Café Madeira junto à margem do rio Madeira. Setembro de 2011



Fonte: CPRM

Gradualmente, esta encosta tem sido submetida nos últimos anos a um processo erosivo predominantemente de origem pluvial, agravado pela escassa vegetação existente, o que favorece a exposição dos sedimentos aos impactos da chuva e ao escoamento rápido do fluxo aquoso. Além disso, uma canalização subterrânea da água pluvial passa por debaixo do imóvel, desaguando na parte superior da encosta, gerando um fluxo d'água intermitente de pequeno porte, alcançando o rio Madeira logo abaixo. Este processo erosivo gradual colocou a estabilidade do imóvel em risco, obrigando a sua interdição pela Defesa Civil Municipal (Figura 28). As causas de instabilidade do local vêm sendo questionadas pelos proprietários do imóvel, inclusive por via judicial, buscando atribuir sua origem à alteração da dinâmica fluvial do rio Madeira promovida pelos empreendimentos hidrelétricos. Uma avaliação preliminar do deslizamento parece indicar uma associação com o efeito gradual da água pluvial impactando na encosta de forte declive,

comprometida ainda mais pelo mergulho das camadas do substrato geológico, que favorece a infiltração da água pluvial para o substrato, saturando o solo e aumentando a pressão hidrostática.

Figura 28: Imóvel comercial em risco de deslizamento. Dezembro de 2013



Fonte: Autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em todos os estudos hidrológicos e geológicos do rio Madeira, efetuados nos últimos anos, têm se comprovado alterações significativas da sua dinâmica fluvial, notadamente à montante em função do represamento das águas, modificando o fluxo e a velocidade das águas, trazendo consigo a deposição de sedimentos em proporções ainda não dimensionadas; à jusante, observa-se a aceleração do processo erosivo em taludes fluviais, tanto nas margens como nas ilhas, por distâncias inconclusivas, embora em localidades mais distantes como São Carlos e Calama, a contribuição do barramento das águas seja bastante questionável. Da mesma forma, o fundo arenoso do rio poderá estar sendo removido logo abaixo das barragens, aprofundando localmente a sua calha.

Evidencia-se claramente a importância de serem desenvolvidos estudos detalhados do comportamento sazonal do rio Madeira, abrangendo vários ciclos hidrológicos, associados com o monitoramento do processo erosivo incidente em sedimentos inconsolidados a pouco consolidados. Da mesma forma, é fundamental identificar e caracterizar a contribuição das UHEs nas modificações introduzidas na dinâmica fluvial da bacia do Madeira.

As Terras Caídas, como sempre, continuarão a se manifestar no ambiente fluvial, independente da participação ou não do homem. É necessário, no entanto, a adoção de medidas restritivas de ocupação que evitem uma maior incidência, tais como a reposição da mata ciliar, evitar a implantação de empreendimentos imobiliários próximos às margens dos rios em terrenos constituídos por sedimentos inconsolidados, evitar o despejo de águas servidas para o rio, desenvolver estudos geológicos/geotécnicos das áreas a serem ocupadas, entre outras.

Na recente inundação, foram importantes as informações relativas a precipitações pluviais na bacia do rio Madeira, principalmente em território boliviano, permitindo estabelecer previsões confiáveis do comportamento em curto prazo do rio Madeira quanto ao nível fluviométrico e vazões, possibilitando implantar medidas preventivas de segurança. Assim, ao alcançar a cota de 16,68 m em Porto Velho, o nível fluviométrico do rio Madeira implicava em um sinal de alerta para os órgãos de defesa civil, embora cotas menores (15,00 a 15,50 m) já possam atingir determinadas áreas da cidade.

A CPRM teve uma participação fundamental no monitoramento da cheia, a partir dos dados das estações hidrológicas de Príncipe da Beira (rio Guaporé), Guajará Mirim (rio Mamoré), Abunã e Porto Velho (rio Madeira). A elaboração de modelos de previsão de cheias, já adotado nos últimos anos e de contínuo aperfeiçoamento, é imprescindível para os órgãos públicos na redução dos riscos derivados das inundações.

No entanto, questionamentos permanecem no imaginário das pessoas e na programação futura de entes públicos. O que o rio Madeira nos reserva para os próximos anos? Novas inundações? Em quanto tempo poderão ocorrer novamente? Qual a real contribuição das UHEs para as cheias? São perguntas ainda sem respostas conclusivas, embora alguns dados probabilísticos possam ser apresentados, como, por exemplo, o tempo de recorrência, ou seja, em quanto tempo poderão se repetir (Tabela 1).

Quadro 1: Tempo de recorrência das cheias do rio Madeira

COTA (m)	TR (Anos)
19,70	170
19,27	100
18,65	50
18,02	25
17,18	10
16,52	5
15,51	2

Fonte: Autor

O clima sazonal da Amazônia implica em cheias anuais, que podem ou não se transformar em eventos episódicos de maior alcance, tais como inundações, de graves consequências para a população atingida. As causas primárias das inundações estão associadas para alguns climatologistas com a manifestação de fenômenos climáticos como El Niño ou La Niña e/ou a presença de zonas de alta pressão.

Para os ribeirinhos, apesar de conviverem anualmente com a inclemência do rio Madeira, inundações trazem consigo tragédias pessoais que o tempo demora a curar.

REFERÊNCIAS

BATES, H. W. **Um naturalista no rio Amazonas**. Belo Horizonte: Ed. Itatiaia; São Paulo: EUSP, 1979. 300 p. Reedição de obra original de 1848.

CUNHA, E. da. **Amazônia: um paraíso perdido**. Manaus: Valer; Governo do Estado do Amazonas; EDUA, 2003. 379 p. (Coleção Poranduba). Reedição de obra original de 1905.

LABADESSA, A. S. “Terras Caídas”, as causas naturais e antrópicas: uma ocorrência na comunidade São Carlos – médio Madeira/RO. **Geingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**. Maringá, v. 3, n. 1, p. 45-61, 2011.

Ricardo Gilson da Costa Silva (org.)

SOUZA FILHO, P.W.M. et al. Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré – Alto Madeira, Rondônia, Brasil. In: **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo: SBG, v. 29, n. 4, p. 469-477, dez. 1999.

SPIX, J.B. Von; MARTIUS, C.F.P. **Viagem pelo Brasil (1817-1820)**. Belo Horizonte: Itatiaia; São Paulo: EDUSP. 1938. 326 p., v. 4.