

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM
RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO – REPO

AVALIAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO FLUVIAL EM VILA CALAMA, RIO MADEIRA



RELATÓRIO TÉCNICO

Porto Velho
Abril de 2013

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – CPRM**

RESIDÊNCIA DE PORTO VELHO

**Helena da Costa Bezerra
Chefe da Residência**

**Ruy Benedito Calliari Bahia
Coordenador Executivo**

**Francisco de Assis dos Reis Barbosa
Assistente de Produção de Hidrologia e Gestão Territorial**

EQUIPE EXECUTORA

**Amilcar Adamy
Geólogo**

APRESENTAÇÃO

O presente documento reporta-se aos resultados obtidos durante uma visita técnica a Vila Calama, baixo rio Madeira, realizada em 03 de abril de 2013, atendendo solicitação da Defesa Civil do Município de Porto Velho, com o objetivo de caracterizar e avaliar os impactos ambientais decorrentes do processo erosivo de origem fluvial, supostamente associado a uma nova dinâmica fluvial do referido rio em decorrência de ações antrópicas.

A atividade de campo, desenvolvida em conjunto com técnicos da área de hidrologia da Residência de Porto Velho, contou com a participação de representantes da Defesa Civil do Município de Porto Velho.

É importante destacar que se trata de uma primeira avaliação efetuada em um único dia em plena estação das chuvas tropicais, características da região amazônica, não podendo ser conclusiva, necessitando de novas observações técnicas, inclusive no período de estiagem, o que viabilizaria um maior detalhamento das condições intrínsecas da vila, em particular, do perfil sedimentológico dos taludes fluviais expostos ao longo da ocupação urbana. Levando em consideração a limitação temporal da visita ora realizada, buscou-se complementar o presente estudo com as informações obtidas em trabalhos anteriores desenvolvidos em 2008, durante a estação seca.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO

1.	INTRODUÇÃO	6
2.	OBJETIVOS	7
3.	ASPECTOS FISIAGRÁFICOS	7
	3.1. Aspectos Geológicos	7
	3.2. Aspectos Geomorfológicos	11
4.	RELATO DA VISITA	13
5.	CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS	19
6.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	26
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

FIGURAS

- Figura 1. Localização da Área de Estudo
- Figura 2. Mapa Geológico Simplificado do Entorno de Vila Calama
- Figura 3. Entorno de Vila Calama
- Figura 4. Perfil sedimentar de talude fluvial em Calama
- Figura 5. Perfil sedimentar esquemático de talude fluvial em Calama
- Figura 6. Incipiente mosqueamento do solo/sedimento
- Figura 7. Mapa Geomorfológico do Entorno de Vila Calama
- Figura 8. Avanço das águas do Rio Machado
- Figura 9. Frente de tombamento de taludes fluviais do Rio Madeira
- Figura 10. Avanço da frente erosiva fluvial em Calama
- Figura 11. Vista lateral do talude próximo a Igreja Católica
- Figura 12. Sedimentos arenosos estratificados em desagregação
- Figura 13. Plataforma argilosa mais resistente
- Figura 14. Encharcamento de terreno arenoso
- Figura 15. Despejo de águas servidas no talude erodido
- Figura 16. Tombamento gradual do barranco por saturação do solo
- Figura 17. Passarela de madeira unindo os bairros São João e Tancredo Neves
- Figura 18. Fluxo plácido das águas defronte a Vila Calama
- Figura 19. Fluxo turbulento das águas e com troncos no centro do canal fluvial do Rio Madeira
- Figura 20. Terras caídas no Alto Rio Juruá
- Figura 21. Erosão fluvial no Alto Rio Purus
- Figura 22. Estrangulamento do Rio Madeira, a jusante de Vila Calama
- Figura 23. Frente erosiva próxima ao bairro São Francisco
- Figura 24. Alto do Bode. Deslizamento de encosta.
- Figura 25. Restaurante Beira-Rio (set/2008)
- Figura 26. Restaurante Beira-Rio (abr/2013)
- Figura 27. Entorno de Vila Calama em 1966
- Figura 28. Entorno de Vila Calama em 1969
- Figura 29. Vista detalhada do núcleo urbana (Google, jun/2004)
- Figura 30. Entorno de Vila Calama (Google, 2012)
- Figura 31. Vista detalhada de Vila Calama (set/2012)
- Figura 32. Residência inundada. Bairro São Francisco (abr/2013)

1. INTRODUÇÃO

Durante a estação chuvosa da região amazônica, caracterizada pela alta incidência de precipitações pluviométricas, as bacias hidrográficas recebem volumes consideráveis de água, traduzindo-se em vazões elevadas, muito superiores aquelas verificadas na estação seca, provocando aumento da velocidade do fluxo hídrico e uma maior turbulência das águas. Em decorrência desse contexto, a ação erosiva fluvial se processa de forma mais intensa, atingindo os taludes fluviais dos rios, notadamente os de maior porte, originando as conhecidas “terras caídas”.

Nas últimas semanas, agentes da mídia local e até nacional, tanto impressas quanto televisionadas, têm noticiado a ocorrência de significativos impactos ambientais na orla do rio Madeira, a jusante do barramento da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio, representados por desbarrancamentos descontínuos em ambas as margens dos rios, enfatizando as localidades de Calama e São Carlos, pertencentes ao Município de Porto Velho. De acordo com as informações divulgadas, esse processo típico de dinâmica fluvial estaria comprometendo a segurança de numerosas famílias, colocando em risco as habitações e vias públicas próximas às drenagens, algumas das quais tombadas para dentro do rio.

A Vila Calama, sede do distrito homônimo, pertencente ao Município de Porto Velho, situa-se na margem direita do rio Madeira, disposta entre os rios Machado e Maici-Mirim, representando o último núcleo urbano do estado de Rondônia ao longo do referido rio, cuja divisa interestadual com o estado do Amazonas é compartilhada pelo rio Maici-Mirim (Figura 1). Compreende uma população urbana de 600 habitantes, atingindo 6.000 habitantes no distrito; está constituído por outros pequenos aglomerados ribeirinhos, tais como Maici, Papagaio, entre outras. A economia da vila alicerça-se na cultura agrícola de subsistência, comercializando o excedente, extrativismo vegetal e pesca.

O acesso a Vila Calama é estabelecido por via fluvial desde a cidade de Porto Velho, dispendendo-se em torno de 10 horas no trajeto de descida do rio e 15 horas no trajeto inverso. Uma via alternativa é realizada por via rodoviária até a cidade de Humaitá, Amazonas, percorrendo-se 200 km pela rodovia federal pavimentada BR-319 e após, a utilização do rio Madeira até a Vila Calama, em um percurso de 03 horas.

No intuito de coletar subsídios que promovam esclarecimentos à população envolvida, bem como identificar e caracterizar as causas naturais ou não do processo de tombamento das margens e estabelecer um cenário temporal, o Município de Porto Velho, através da Defesa Civil, recorreu ao Serviço Geológico do Brasil – CPRM / Residência de Porto Velho, mobilizando-se uma equipe técnica especializada para visitar a Vila de Calama, definida como objetivo principal.

Essa visita técnica foi realizada em única oportunidade, restrita ao dia 03 de abril de 2013, promovendo-se o deslocamento via rodoviária até a cidade de Humaitá e após via fluvial pelo rio

Madeira. Desta forma, as informações coletadas restringiram-se as condições imperantes no período chuvoso, condicionando a interpretação realizada, sugerindo-se uma nova visita durante a vazante do rio. Registram-se ainda diversas precipitações pluviométricas durante a execução do trabalho, dificultando uma melhor operacionalização das atividades.

O grupo técnico participante da visita esteve constituído pelo geólogo Amilcar Adamy, pelo engenheiro hidrólogo Francisco Assis Barbosa e pelo técnico hidrometrista Sebastião Bezerra, todos vinculados a CPRM. A Defesa Civil, promotora da expedição, foi representada pelo Coronel José C. Pimentel, coordenador do órgão, técnicos Wellington Monteiro e Paulo Afonso.

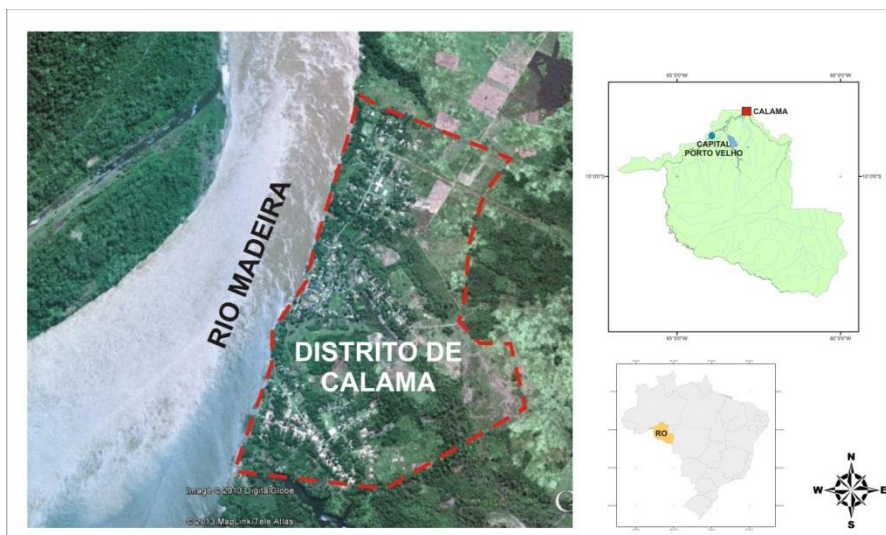


Figura 1. Localização da área de estudo.

2. OBJETIVO

O objetivo fundamental da visita técnica consistiu em percorrer os locais afetados pelo processo de erosão fluvial e uma provável potencialização por ações antrópicas vinculados a implantação do barramento do rio Madeira, coletando informações que auxiliem a identificar e caracterizar os tombamentos dos taludes marginais do rio Madeira ao longo do traçado urbano. Em paralelo, a equipe de hidrometria executou diversos perfis batimétricos, transversais ao curso do rio Madeira, obtendo importantes dados sobre vazão, velocidade das águas e batimetria do leito do rio.

3. ASPECTOS FISIOGRÁFICOS

3.1. Aspectos Geológicos

O contexto geológico do entorno da Vila Calama está associado aos terrenos jovens de idade quaternária, em processo de consolidação, representados por coberturas sedimentares indiferenciadas e depósitos aluvionares (Figura 2). Não são identificados unidades rochosas mais

antigas, presentes apenas nas proximidades do local denominado 2 de Novembro, no baixo curso do rio Machado, onde ocorrem belas exposições de rochas graníticas do evento intrusivo Serra da Providência.

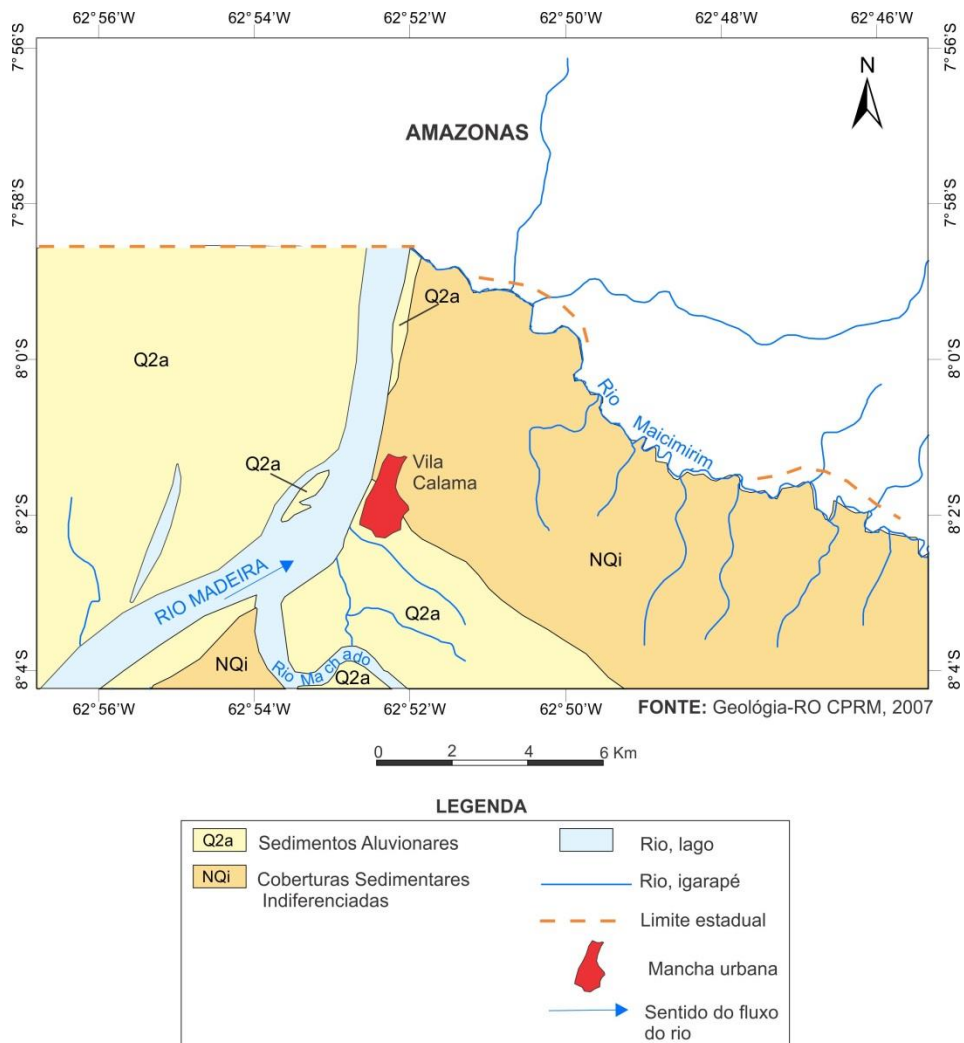


Figura 2. Mapa Geológico Simplificado do Entorno da Vila Calama. Modificado de Quadros & Rizzotto (2007).

Como unidade predominante na região, ocorrem as Coberturas Sedimentares Indiferenciadas (NQi), ocupando vastas áreas entre as bacias dos baixos cursos dos rios Jamari, Machado e Maici-Mirim. Caracterizam-se por vastas superfícies aplainadas, de cotas entre 70 e 100 metros, portanto, acima da cota suscetível de inundações sazonais. A espessura estimada é inferior a 40 metros, estando constituída por uma variedade de materiais que vão desde cascalhos até argilas lateritizadas, observando-se ainda lateritos imaturos dismantelados, áreas argilo-arenosas com fragmentos subangulosos de lateritos, areias mal selecionadas, siltes e argilas impregnadas com óxido e hidróxido de ferro (Quadros & Rizzotto, 2007). Posiciona-se no período compreendido entre o Plioceno e Pleistoceno, cujo ambiente de deposição envolve leques aluviais, canais fluviais, planícies de inundação e lacustres antigas. Em Calama, esta unidade está representada pela área

soerguida disposto na parte norte da vila, de ocupação crescente e livre dos eventos sazonais do rio Madeira.

Os Depósitos Aluvionares holocênicos (Q2a) são constituídos por sedimentos inconsolidados, de natureza variável, ocorrendo de forma interdigitada entre o leito e as margens dos canais fluviais. Os depósitos de canais são compostos por areias grossas a médias e cascalhos, podendo formar extensas barras longitudinais; por outro lado, os sedimentos das planícies de inundação variam desde areias siltoargilosas (diques marginais) a siltes e argilas nas áreas de espraiamento, ambos acumulados nas fases de transbordamento dos rios em períodos de inundações. Feições sedimentares típicas de planícies de inundação tais como leitos abandonados, cordões longitudinais, colmatação, entre outras, são frequentes na região, notadamente na margem esquerda do rio Madeira, podendo ser observada uma ampla área inundável e repleta de lagos represados ou trechos de rio em fase de colmatação (Figura 3). Cabe esclarecer que estes lagos represados marcam as cicatrizes de antigos cursos fluviais de alta energia represados, podendo serem atingidos pelas inundações anuais.



Figura 3. Entorno de Vila Calama, com destaque para área inundável na margem esquerda do rio Madeira, com leitos abandonados e lagos represados.

Fonte: Google, 2009.

Em oportunidade anterior (setembro de 2008), foi possível caracterizar preliminarmente o perfil sedimentar de um talude marginal junto a Vila Calama, constituído predominantemente por sedimentos arenosos, estratificados ou não, inconsolidados e altamente suscetíveis aos processos erosivos fluviais (8-10 m) (figuras 4 e 5), contemplando ainda na base do perfil uma camada argilosa (2 m), mais resistente e que avança rio adentro. Incipiente mosqueamento (desenvolvimento de perfil laterítico) é observado em alguns locais do barranco, refletindo a sazonalidade do nível fluviométrico do rio Madeira (Figura 6).



Figura 4. Perfil sedimentar arenoso de talude fluvial em Calama (setembro de 2008).

Fonte: Adamy, 2010.

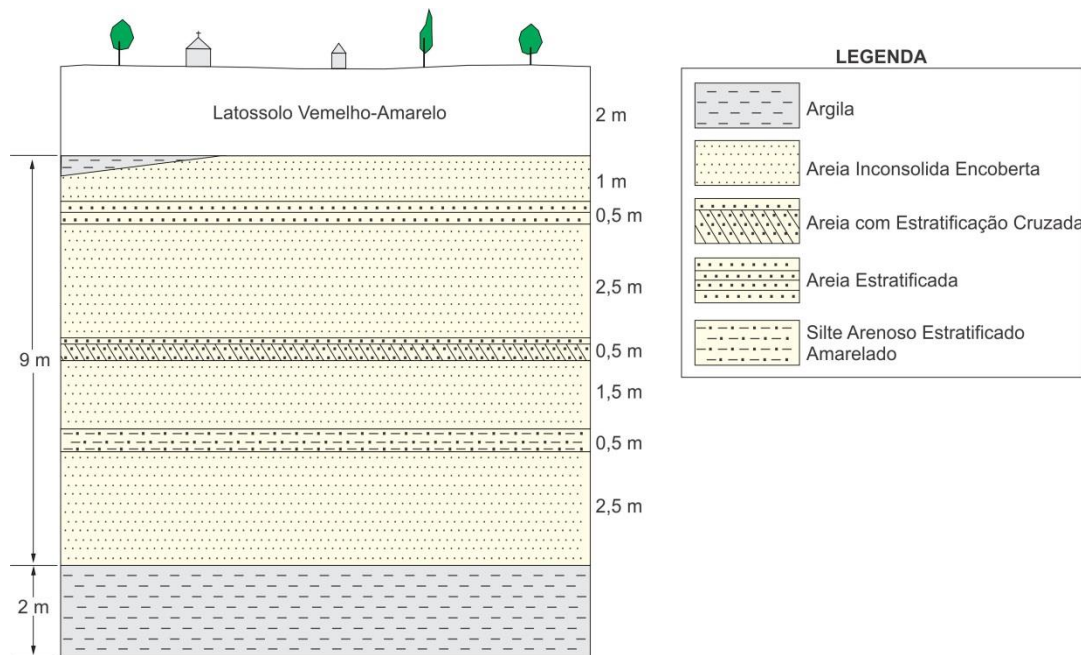


Figura 5. Perfil sedimentar esquemático em talude do rio Madeira.

Local: defronte a Igreja Católica.



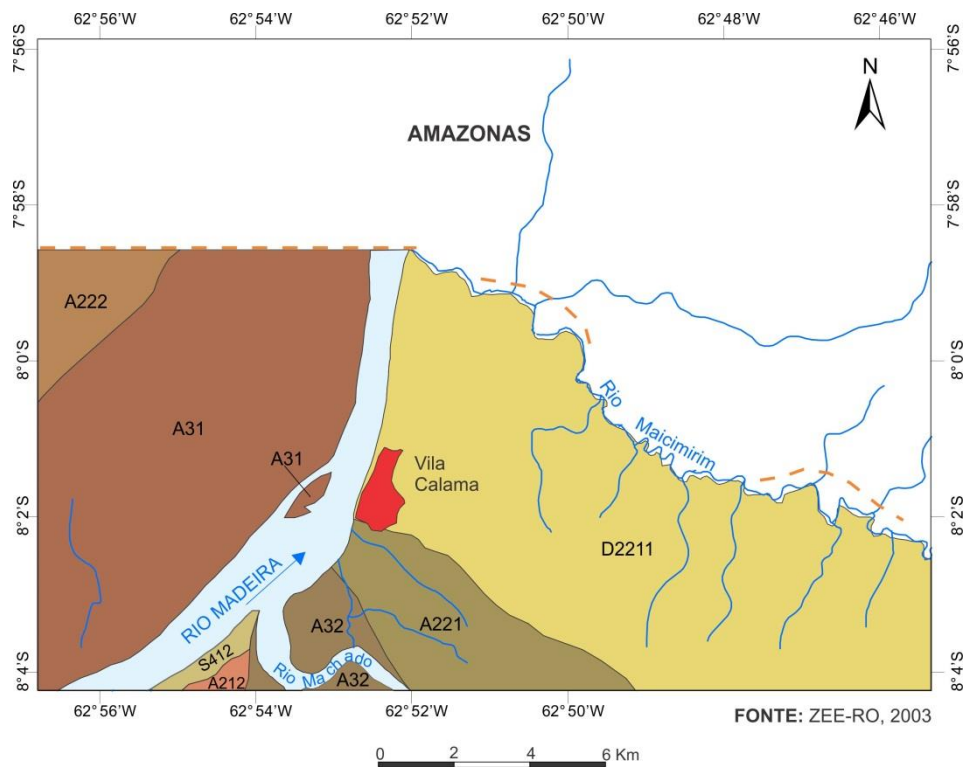
Figura 6. Incipiente mosqueamento do solo/sedimento do barranco.

Os dados coletados não permitiram definir a origem do terreno aplainado onde está localizada a Vila Calama, formado por sedimentos de composição arenosilticoargilosos, podendo representar um antigo terraço, ou então, um dique marginal, livre das inundações periódicas do rio Madeira.

3.2. Aspectos Geomorfológicos

A paisagem morfológica da área de estudo é caracterizado por unidades agradacionais, representadas por planícies fluviais e terraços, onde predominam processos de sedimentação e denudacionais associadas às superfícies de aplanamento e *cuestas* (ZEE, RO), que possuem um forte componente erosivo dominante (Figura 7).

As planícies fluviais representam os terrenos que margeiam as drenagens de maior porte, dividindo-as em áreas marginais aos rios principais (A31), como o rio Madeira e aquelas vinculadas aos rios secundários (A32), tais como o rio Machado, diferindo apenas pela abrangência dos processos deposicionais atuantes, semelhantes em ambas às situações. Estas unidades possuem uma distribuição espacial descontínua, ocorrendo notadamente em drenagens de padrão meandrante. Trechos retilíneos de rios podem estar presentes na região, estando associados a um controle estrutural, mais comum em drenagens de menor porte. A declividade destes terrenos é muito baixa, o que favorece inundações sazonais com transbordamento do canal. Vale ressaltar a baixa declividade do perfil longitudinal do rio Madeira (< 1%), acentuada a jusante de Porto Velho, dotando o rio de uma baixa energia, o que o torna incapaz de drenar em linha reta, favorecendo, então, o padrão meandrante. Outra feição comum a esta unidade morfológica são os meandros ou leitos abandonados e lagoas, muitas vezes em fase de colmatação.



LEGENDA

A31	Planícies Aluviais de rios principais		Rio, lago
A32	Planícies Aluviais de rios secundários		Rio, igarapé
A221	Terraços Baixos com dissecação baixa		Limite estadual
A212	Terraços Altos com dissecação baixa		Mancha urbana
A222	Terraços Baixos com presença de leitos abandonados e pântanos		Sentido do fluxo do rio
D2211	Superfícies de Aplanamento com dissecação baixa e nenhum ou esporádicos inselbergs e tors		
S412	Cuestas com dissecação média a alta		

Figura 7. Mapa Geomorfológico do Entorno de Vila Calama (ZEE,RO).

Uma feição particular identificada na região nesta curta etapa de campo, portanto, ainda em estágio preliminar, vincula-se ao regime hídrico amazônico, de caráter sazonal, e que provoca comportamentos distintos na área de encontro dos rios Madeira e Machado. Na estação chuvosa, o rio Machado aumenta sensivelmente sua vazão, como é comum em todas as drenagens, favorecendo o empurrão das águas do rio Madeira para o centro do rio, onde se observam as maiores velocidades e turbulências das águas. Este comportamento poderá ou não se refletir igualmente durante a estação seca, sendo possível que ocorra uma inversão, com maior participação das águas do rio Madeira, empurrando o rio Machado para a margem direita do rio principal (Figura 8).



Figura 8. Avanço das águas do rio Machado para o centro do rio, “empurrando” o rio Madeira (imagem Google, 2004).

Os Terraços constituem terrenos aplanados, alçados em até 15/20 metros acima das planícies fluviais, livres da inundação sazonal dos rios amazônicos, exceto em cheias históricas. Representam antigas planícies de inundação e canais fluviais semelhantes aos atuais e que foram ativos durante os períodos quentes do Pleistoceno (Quadros e Rizzotto, 2007). Os materiais comumente encontrados variam bastante desde cascalho, areia, argila e até mesmo níveis de turfa. No entorno de Calama, foram identificados três diferentes tipos de terraços:

- terraços baixos com dissecação baixa (A221), dispostos poucos metros acima das planícies de inundação e áreas alagadas atuais;
- terraços baixos com presença de leitos abandonados e pântanos (A222), margeando as planícies fluviais e ainda ligada aos períodos de cheia e vazante dos rios;
- terraços altos com dissecação baixa (A212), que se caracterizam pela incis o de uma rede de drenagem incipiente.

Na porção leste da área de estudo, distribui-se ainda uma unidade denudacional denominada Superfície de Aplanamento com dissecação baixa e nenhum ou esporádicos *inselbergs* e *tors* (D2211), caracterizada por uma antiga superfície de aplanamento regional, situada em cotas entre 70 e 100 metros. A porção elevada da Vila Calama posiciona-se dentro desta unidade.

Finalmente, de distribuição restrita, identificam-se feições morfológicas tipo *cuestas*, de dissecação m dia a alta (S412), localizada próxima   junção dos rios Madeira e Machado.

4. RELATO DA VISITA

Em atendimento a solicitação da Defesa Civil do município de Porto Velho, foi realizada uma visita técnica ao núcleo urbano Vila Calama, localizado na margem direita do rio Madeira, próxima a

foz do rio Machado. Foram inspecionadas diversas frentes de desmoronamento do talude fluvial, dispostas na orla da vila, submetidas aos processos erosivos oriundos da ação das águas do rio Madeira. Deve ser destacado que estas frentes situam-se em terrenos não afetados pelas inundações sazonais do rio Madeira, tecnicamente definido como um dique marginal e que se caracterizam pela presença de taludes praticamente verticalizados e altamente suscetíveis ao desmantelamento por erosão.

Os efeitos de tombamento dos taludes, em forma de deslizamentos rotacionais, tipo concha, têm se tornado progressivo, avançando em direção ao conjunto de residências e comércios, expandindo-se também lateralmente (figuras 9 e 10), provocando danos materiais e criando uma situação de risco e receio para os ocupantes das edificações próximas ao rio.



Figura 9. Frente de tombamento de taludes fluviais do rio Madeira.



Figura 10. Avanço da frente erosiva fluvial em Calama.

O contexto geológico dos sedimentos observados localmente contribui consideravelmente para o processo de instabilidade dos barrancos, estando constituído por material arenoso, inconsolidado e altamente suscetível a ação erosiva das águas, tanto fluviais como pluviais. Embora o perfil sedimentar não tenha sido possível observar na presente visita devido ao nível elevado das águas, trabalhos anteriores efetuados neste local contextualizaram o ambiente sedimentar e a acelerada desagregação dos sedimentos arenosos inconsolidados (ADAMY, 2010) (Figura 11), sejam estratificados ou não (Figura 12).



Figura 11. Vista lateral do talude marginal próximo a Igreja Católica.



Figura 12. Sedimentos arenosos estratificados em desagregação.

Disposta subjacentemente aos sedimentos arenosos foi caracterizada uma camada de constituição argilosa, de espessura estimada de 2 metros, que se notabiliza pela maior resistência à

ação erosiva fluvial, exibindo uma plataforma submersa mais estável, enquanto que os sedimentos arenosos avançam terra adentro (Figura 13).



Figura 13. Plataforma argilosa mais resistente, subjacente aos sedimentos arenosos.

Ao se percorrer o traçado urbano, chama atenção a contínua presença de água no solo, encharcando o terreno e evidenciando claramente a plena saturação do solo, inclusive nas proximidades da margem do rio, favorecendo a instabilidade dos barrancos. Este contexto sugere uma constituição arenosa do subsolo, possuidor de alta permeabilidade (Figura 14).



Figura 14. Encharcamento do terreno arenoso, indicando solo saturado.

No trecho do rio, defronte a Igreja Católica e ao Restaurante Beira-Rio, ocorre à manifestação erosiva mais acentuada e comprometedora, favorecida também pelo maior desnível entre o leito do rio e a superfície do terreno, e que tem progredido em direção à área urbanizada. Nesta área, se observam numerosas tubulações rompidas, de pequenos diâmetros, cuja finalidade associa-se ao

lançamento de águas servidas proveniente das edificações próximas, que contribuem para que o subsolo permanecesse continuamente encharcado (Figura 15). Situação semelhante foi constatada em setembro de 2008, indicando continuidade temporal deste despejo.



Figura 15. Lançamento de águas servidas no talude erodido.

Neste mesmo local, referenciado pelas águas calmas e tranquilas, sem turbulência, observou-se o contínuo tombamento de um trecho do talude de inclinação excessiva, em pequenos blocos, possivelmente devido à saturação do solo pela água pluvial, o que faz aumentar a poro-pressão internamente, tornando-o pesado e como consequência mais instável e suscetível a queda gradual do barranco (Figura 16); entretanto, não foram identificadas rachaduras no terreno nas proximidades do barranco.



Figura 16. Tombamento gradual do barranco por saturação do solo.

Durante a visita, foram observados também os efeitos da inundação do rio Madeira em vários bairros da vila, permitindo um diagnóstico preliminar sobre as condições de ocupação enfrentadas pelos moradores. Embora este aglomerado urbano conviva há longo tempo com a sazonalidade hidrológica da região amazônica, constata-se o fato da área central da vila ser um terreno ilhado na estação chuvosa, decorrente da existência de canais abandonados e reativados periodicamente nas chuvas, dificultando o acesso pleno e a utilização adequado do espaço urbano (Figura 17).



Figura 17. Passarela de madeira, unindo os bairros São João e Tancredo Neves.

Deve ser destacado também o comportamento hídrico das águas dos rios Machado e Madeira observado nesta data e que pode caracterizar a ação erosiva das águas fluviais. O rio Machado, afluente da margem direita do rio Madeira, desemboca à montante da Vila Calama, a uma distância relativamente próxima e, aparentemente, suas águas acompanham a margem direita do rio Madeira até as proximidades da vila, não evidenciando turbulência, e comportando-se como águas de fluxo calmo e plácido (Figura 18). Por outro lado, as águas do rio Madeira fluem de modo turbulento na parte central do canal, carregando consigo um volume considerável de troncos e galhos (Figura 19). Estas observações são corroboradas pelos perfis batimétricos transversais executados por equipe especializada da REPO/CPRM nesta mesma oportunidade, constatando-se velocidades variáveis desde 0,9 m/s próxima a margem direita (1,5 m/s a uma distância de 100 m), 3,0 a 3,5 m/s no centro do canal e 2,1 m/s próxima à margem esquerda, todas no rio Madeira.



Figura 18. Fluxo plácido defronte a Vila Calama (águas do rio Machado)



Figura 19. Fluxo turbulento e com troncos no centro do canal fluvial do rio Madeira.

5. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS

Durante os trabalhos de campo, observando *in loco* a área indicada, comprovou-se o processo erosivo associado à dinâmica fluvial em sedimentos aluvionares inconsolidados dispostos nas margens do rio Madeira, alcançando uma maior ou menor dimensão conforme for à suscetibilidade local. O processo de desmoronamento dos taludes marginais é uma feição comum e contínua em rios da Amazônia, tais como Juruá, Purus, Solimões (figuras 20 e 21), entre outros, e já citado por numerosos pesquisadores em seus artigos científicos, recebendo denominações distintas, das quais merece citação o termo “terras caídas”, de ampla distribuição na calha do rio Madeira. Essa feição marcante foi escolhida para designar um pequeno núcleo ribeirinho, a jusante de Porto Velho, denominado Terra Caída.



Figura 20. Terras Caídas no rio Alto Rio Juruá.



Figura 21. Erosão fluvial no Alto Rio Purus.

Da mesma forma, fatores associados à dinâmica interna da Terra são relatados por pesquisadores, como por exemplo, um condicionamento neotectônico assinalado na calha do rio Amazonas próximo à cidade de Parintins, em março de 2007, onde houve a queda de mais de 500 metros de uma margem desse rio, interpretado como sendo de origem geoestrutural, derivado da intersecção de *trends* estruturais reativados por movimentações recentes da cordilheira andina (IGREJA et al., 2007). Mencionam ainda relatos da população sobre a incidência de eventos semelhantes nos anos 1973, 1994 e 1997. Em estudos anteriores, Souza et al. (1999) relatavam o encaixamento do rio Madeira no megalineamento Madre de Dios – Itacoatiara, derivado das movimentações neotectônicas cenozoicas, principalmente em função da orogênese andina, que se desenvolveu de Porto Velho até a foz do rio Madeira, exibindo extensa planície de inundação, diques marginais (onde está inserida a Vila Calama) e cristas de acreção lateral (barras em pontal, barras de meio de canal, etc.) desenvolvidas durante o processo de migração lateral do canal fluvial.

O contexto geológico caracterizado localmente vincula-se a um pacote de sedimentos arenosos inconsolidados, muito suscetíveis aos processos de desagregação mecânica, conforme pode ser observado no talude próximo a Igreja Católica. A granulometria destes sedimentos varia de fina a grossa, depositados em camadas plano-paralelas ou exibindo uma estratificação cruzada, denotando direção diferenciada nas paleo-correntes, quando assumem uma feição mais cascalhífera; em outros sítios mais afetados pela erosão, não se observam planos de estratificação. Lentes argilosas, de menor espessura, podem ocorrer intercaladas aos sedimentos arenosos. Na base do pacote, aflorantes somente na estação seca, distinguem-se sedimentos argilosos, compactos e mais resistentes à erosão fluvial, constituindo uma plataforma que avança em direção ao rio, em contraste com o pacote arenoso que avança em direção a vila (vide figura 13).

A elevada permeabilidade dos sedimentos arenosos favorece a percolação de fluídos, que em seu trajeto descendente, encontram obstáculos apenas na camada argilosa subjacente impermeável, gerando numerosos pontos de água surgentes.

Na análise do condicionamento estrutural do entorno da Vila Calama para a ocorrência de terras caídas, devem ser avaliados parâmetros naturais e/ou antrópicos, capazes de introduzir modificações no comportamento do meio ambiente e, em particular, do rio Madeira.

Uma feição natural importante diz respeito ao padrão fluvial do rio Madeira, encaixado em um grande lineamento estrutural, assumindo uma feição retilínea superimposta (Souza et al, 1999); são comuns, no entanto, feições morfológicas de rios meandantes, tais como meandros ou leitos abandonados, lagoas, cordões marginais, extensas planícies de inundação, curvas convexas e côncavas, entre outras. Dados desta ordem são importantes, pois deles dependerá a resposta que o rio Madeira oferecerá quanto à incidência e expressão da erosão fluvial e até mesmo pluvial. Sousa & Araújo (2001) já apontavam claramente a importância da dinâmica fluvial na compartimentação

geomorfológica do rio Madeira, configurando migração de canais, remodelação do traçado de ilhas e canais, desenvolvimento do processo de formação de terras caídas, entre outras.

De maneira geral, em uma drenagem meandrante, uma ação erosiva mais vigorosa é esperada em margens côncavas, submetidas ao impacto direto do fluxo da correnteza de um rio; de forma inversa, uma margem convexa, com condições hidrodinâmicas mais estáveis, favorecerá a deposição dos sedimentos arrancados da margem côncava, manifestando-se, preferencialmente, em bancos arenosos (barras em pontal). Por estar situada em uma margem côncava, portanto, erosiva, Vila Calama tem a tendência de estar submetida continuamente a um processo erosivo fluvial, capaz de provocar desmoronamentos dos taludes marginais, que avançam em direção ao centro da área urbana (Bairro São João).

Por outro lado, é evidente a mudança no comportamento hidrológico do rio Madeira, condicionado a um estrangulamento observável em imagens Google (Figura 22), com a largura do rio de 1,65 km próximo ao encontro com as águas do rio Machado, sendo reduzida para 0,65 km defronte a Vila Calama, refletindo-se em um aumento empírico da velocidade das águas. Este fato é de grande importância para a Vila Calama, que sofre com o estreitamento do rio, devido a uma maior turbulência das águas e conseqüentemente maior efeito erosivo fluvial; além disso, pelo aporte das águas do rio Machado, a vazão conjunta será acrescida significativamente.



Figura 22. Estrangulamento do rio Madeira a jusante, desde a foz do rio Machado e Vila Calama.

A execução paralela de perfis batimétricos transversais ao rio Madeira, próximos a Vila Calama, por técnicos da CPRM, comprovou a variação de velocidade das águas, nos seguintes termos:

- 0,9 m/s na margem direita, alcançando 1,5 m/s a 100 m da referida margem;
- 3,0 a 3,5 m/s na parte central do rio, onde se observa um fluxo turbulento;
- 2,1 m/s próximo a margem esquerda.

A maior profundidade é detectada na parte central do rio (área turbulenta), atingindo até 45 m.

Ao se analisar as causas associadas ao tombamento de taludes marginais, deve ser levado em consideração o impacto físico promovido pelas precipitações pluviométricas torrenciais sobre os sedimentos arenosos inconsolidados, os quais embora estejam parcialmente encobertos pela ascensão do nível fluviométrico, também são submetidos a esse processo de desagregação das partículas. Por outro lado, durante as chuvas torrenciais, a velocidade do vento aumenta por breves períodos de tempo, capazes de alterar significativamente a turbulência das águas, gerando ondulações de maior porte que incidem bruscamente contra as margens do rio e favorecendo o desmoronamento de trechos de barrancos, conforme observado à jusante de Porto Velho em fevereiro de 2012.

A expressiva permeabilidade dos sedimentos arenosos subjacentes associada com a incidência de chuvas próprias da estação chuvosa provoca a elevação do nível freático em conjunto com o soerguimento do nível fluviométrico do rio Madeira, provocando a saturação do solo, demonstrada pelo encharcamento do terreno e abundantes alagações no perímetro urbano. Esta saturação, preenchendo os espaços vazios do solo e dos sedimentos, torna-os mais pesados e ao encontrarem situações favoráveis como os barrancos verticalizados do rio, podem promover o gradual tombamento do barranco, contribuindo com o avanço da erosão fluvial. Este contexto é observado nos bairros São João e São Francisco, mais suscetíveis a saturação do solo/sedimentos, conforme foi presenciado pelo executor deste documento (vide figura 16).

Em terrenos frágeis e suscetíveis a erosão, o despejo de águas servidas, como observado no talude fluvial defronte a Igreja Católica (vide figura 15), contribui para aumentar a instabilidade do barranco ao promover a circulação de fluídos em ambiente permeável. Em situações de risco, deve ser evitada a possibilidade de qualquer contribuição antrópica de fluídos, já sobejamente saturado pelas precipitações pluviométricas.

Em 2008, geólogos da CPRM ao desenvolverem o Projeto Geodiversidade de Rondônia (ADAMY, 2010), constataram o processo erosivo gradativo de barrancos dispostos na orla fluvial de Vila Calama, identificando várias frentes de recuo dos taludes marginais (figuras 23 e 24). Durante a presente visita, estas mesmas frentes continuam a ser erodidas, avançando em direção ao centro da vila (figuras 25 e 26).



Figura 23. Frente erosiva próxima ao Bairro São Francisco.



Figura 24. Alto do Bode. Deslizamento de encosta. Contato entre o dique marginal e a superfície de Aplanamento.



Figura 25. Restaurante Beira-Rio, set/2008.



Figura 26. Restaurante Beira-Rio, abr/2013.

A contextualização do ambiente erosivo/deposicional do entorno de Vila Calama, formulado a partir de duas visitas, realizadas em períodos distintos, tornou indispensável o resgate de registros anteriores, desde fotografias aéreas dos anos 60 (BRASIL, 1966) a imagens de satélite Landsat ou imagens disponibilizadas pelo site Google, que pudessem comprovar ou não a importância e a dimensão do processo erosivo deflagrado pelo rio Madeira. A interpretação de fotografias aéreas (n.ºs. 9597 e 9598), em escala 1:70.000, apesar da resolução insatisfatória, revelou uma série de feições interessantes, entre as quais se destacam: a ocupação humana restrita espacialmente, que se estendia para a margem esquerda e em uma ilha vegetada próxima a foz do rio Machado, hoje erodida; o processo erosivo fluvial praticamente desprezível no entorno da Vila Calama, com a cobertura vegetal preservada; o estrangulamento do rio Madeira em local distinto daquele observado nos dias atuais e de contorno mais suave; maior largura do rio defronte a vila e participação pouco expressiva do rio Machado (Figura 27). Alguns anos mais tarde – 1969 se

observam alterações significativas na área, destacando-se um maior estrangulamento do rio, a total erosão da ilha na foz do rio Machado e o avanço da deposição na margem esquerda (Figura 28).

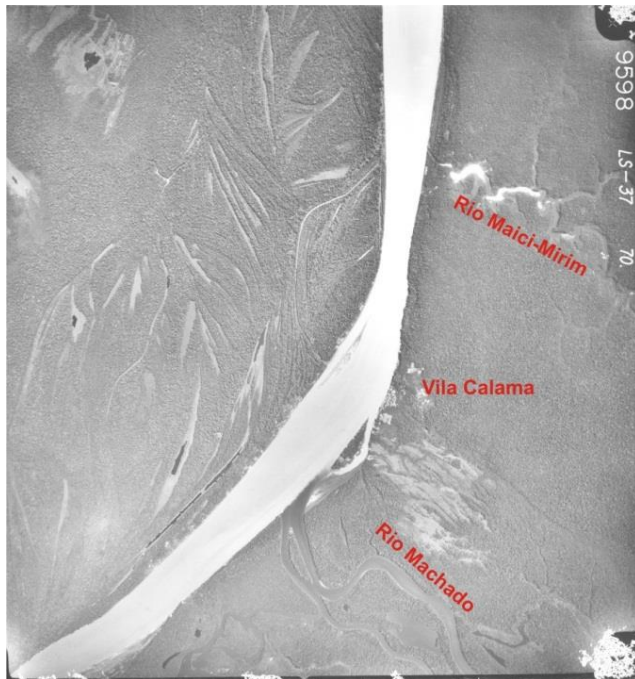


Figura 27. Entorno de Vila Calama em 1966 (fotografia aérea, BRASIL, 1966).



Figura 28. Entorno de Vila Calama em 1969 (Imagem Google de 31.12.1969).

Em 2004, decorridos 35 anos, a Vila Calama assume uma feição próxima à atual, com um traçado urbanizado, ocupação adensada e total remoção da cobertura vegetal primitiva na orla fluvial, o que tem favorecido o surgimento de focos erosivos pontuais e bem definidos, exatamente nos locais de risco dos dias atuais (Figura 29). Evidencia-se também a passagem das águas do rio Machado, lentamente absorvidas pelo rio Madeira. Sequencialmente, a imagem datada de setembro

de 2012 demonstra claramente a forte dinâmica fluvial dos rios Madeira e Machado, onde podem ser representadas áreas distintas de erosão (montante da foz do rio Machado) e deposição (defronte a Vila Calama), bem como é evidenciada a expansão das águas do rio Machado misturadas lentamente com as águas do rio Madeira; distinguem-se ainda nítidos focos erosivos na orla da vila, a largura variável do rio Madeira e o recuo do estrangulamento (Figura 30).



Figura 29. Vista detalhada do núcleo urbano (Google, junho/2004).



Figura 30. Entorno de Vila Calama (Google, 2012).

O processo erosivo fluvial nos taludes do rio Madeira está claramente evidenciado na mesma imagem, mais aproximada (Figura 31), com os focos erosivos avançando gradativamente em direção à área central da Vila Calama (bairro São João).



Figura 31. Visão detalhada de Vila Calama (Google, set/2012).

Por outro lado, o crescimento urbano desta localidade ao longo dos últimos anos, conduziu a ocupação adensada de áreas de risco (Bairro São João) e áreas inundáveis (Bairro São Francisco), gerando demandas de relocação da população atingida na estação das chuvas, dado a impossibilidade de permanência nos locais afetados (Figura 32). Constitui uma situação renovada anualmente, havendo a necessidade de uma solução perene pela administração municipal e local, com um adequado ordenamento do espaço territorial.

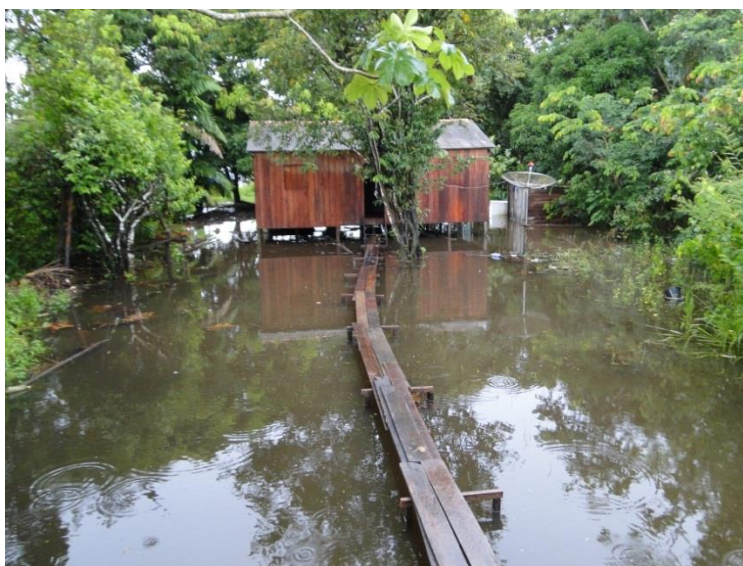


Figura 32. Residência inundada. Bairro São Francisco. Abril/2013.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A breve etapa de campo desenvolvida na Vila Calama comprovou os efeitos perversos do processo erosivo fluvial sobre os taludes marginais do rio Madeira, atuante não só neste núcleo

urbano, como também em todo o seu percurso, seja a montante como a jusante. Constitui uma feição comum em rios da bacia amazônica, particularmente em rios de águas brancas, recebendo a designação popular de “terras caídas”.

Condições semelhantes do processo erosivo fluvial estão registradas na literatura especializada há décadas, observadas em inúmeros rios da bacia amazônica, evidenciando-se também na área de estudo conforme demonstrado pelas imagens Google incorporadas no presente relato. Contribui ainda, para o agravamento do problema, a natureza do perfil litológico identificado localmente, constituídos por sedimentos arenosos inconsolidados, de alta suscetibilidade a desagregação mecânica, representando um risco iminente na estação chuvosa.

As chuvas relacionam-se diretamente com a dinâmica das águas de superfície e subsuperfície e, portanto, influenciam a deflagração dos processos de instabilização de taludes. Os índices pluviométricos críticos para a deflagração dos escorregamentos variam com o regime de infiltração no terreno, a dinâmica das águas superficiais nos taludes e o tipo de instabilização. Os escorregamentos em solo podem ser associados tanto a chuvas concentradas como também do acumulado em dias anteriores. Entende-se, a considerável influência da estação das chuvas na ação erosiva nos taludes do rio Madeira.

Os efeitos erosivos no rio Madeira, constituem um fenômeno natural, comprovado desde os primeiros estudos técnicos na região, não unicamente nos trechos visitados, mas em todo o seu curso onde existirem condições propícias para a atuação das correntes fluviais, tais como o impacto direto das águas em partes côncavas da drenagem e o predomínio de sedimentos aluvionares inconsolidados. Além disso, uma contribuição antrópica é caracterizada quando o homem ocupa suas margens frágeis e promove o desmatamento, removendo a proteção natural e conseqüentemente acelerando o processo erosivo.

As imagens Google, de períodos distintos, incorporadas no presente documento, evidenciam nitidamente os efeitos provocados pela ação erosiva fluvial nos taludes fluviais verticalizados na orla da Vila Calama, possuindo um caráter progressivo e que tendem a evoluir vila adentro, erodindo os sedimentos arenosos inconsolidados e altamente suscetíveis à desagregação física. Por outro lado, a avaliação do processo erosivo atuante no entorno da Vila Calama, realizado pela equipe autora do presente documento, constatou que, embora possua uma origem natural, deve ser considerada uma possível potencialização pelo barramento da UHE Santo Antônio, necessitando de estudos mais detalhados e conclusivos, além de dimensionar eventuais danos causados na estação seca (ação induzida). Deve ser mencionado a distância aproximada de 190 km deste barramento, minimizando eventuais efeitos destrutivos do empreendimento; além disso, a sinuosidade presente em alguns trechos do rio Madeira e a extensa planície de inundação desenvolvida a jusante de Porto Velho, servem como dissipadores da energia contida nas águas superficiais, vinculadas a velocidade e turbulência do fluxo aquoso do referido rio.

Dessa forma, o monitoramento da intensidade dos processos erosivos ao longo do ano é uma medida que se impõe naturalmente, dado a sazonalidade das condições climáticas amazônicas. É lógico se supor que na estação das chuvas, com vazões maiores e maior velocidade das águas, o processo erosivo seja mais atuante e prejudicial, enquanto que na estação seca, deverá ocorrer uma maior estabilidade das condições hidrodinâmicas do rio, minimizando eventuais danos ambientais e sociais. As elevadas velocidades de escoamento das águas e o grande fluxo de madeiras flutuantes e submersas já haviam sido mencionados em levantamentos anteriores da empresa Projetos, Consultorias e Engenharia Ltda. (MOREIRA, 2011).

Além disso, esta mesma empresa, a pedido do consórcio construtor da USE/AS, desenvolveu um monitoramento de locais suscetíveis à incidência da erosão fluvial ao longo do rio Madeira, particularmente no trecho compreendido entre a usina e a cidade de Humaitá.

Em decorrência do crescimento da localidade, do adensamento da ocupação na área central e da sazonalidade climática própria da Amazônia, que trazem consigo atribuições diversas a comunidade envolvida, considerou-se indispensável proceder a uma avaliação do perímetro urbano de Calama, estabelecendo-se, a priori, um zoneamento preliminar das áreas ocupadas, assim caracterizadas:

- áreas de risco de desmoronamento e áreas alagáveis: bairro São João;
- áreas inundáveis: bairro São Francisco;
- áreas de ocupação segura: bairro São José, devendo-se evitar áreas próximas às encostas declivosas; apresentam, no entanto, uma significativa diferença de cota em relação ao nível do rio, dificultando o traslado de pessoas e mercadorias;
- áreas de ocupação recomendável: bairro Tancredo Neves, situadas a uma maior distância do rio principal. Desta forma, os bairros São José e Tancredo Neves, representam, a princípio, alternativas favoráveis para realojar a população afetada, em caráter temporário ou definitivo, necessitando, no entanto, estudos mais detalhados que possam confirmar sua viabilidade.

De posse de estudos mais detalhados e completos, a administração municipal disporá de elementos necessários para a tomada de decisões envolvendo a comunidade residente, inclusive a adoção de técnicas adequadas de engenharia, visando à proteção dos taludes marginais, garantindo sua segurança e evitando o remanejamento dos moradores mais próximos ao rio. A aplicação de tais medidas deverá levar em conta sua viabilidade técnica e financeira (relação custo/benefício).

Uma das soluções costumeiramente adotada em proteção de barrancos fluviais vincula-se ao enrocamento do talude, que poderia ser ancorada na camada argilosa mais resistente, identificada a 8-10 m de profundidade, aflorante na estação seca e que deverá ser passível de caracterização tecnológica visando suportar o enrocamento. Esta alternativa esbarra, no entanto, com a indisponibilidade de rochas nas proximidades, surgindo duas possibilidades: uma, rochas graníticas no rio Machado (Cachoeira 2 de Novembro), que possui baixo calado para embarcações maiores e a

segunda, o aproveitamento de fragmentos de rocha, junto a Usina Santo Antônio, em Porto Velho, a uma distância considerável. Uma segunda alternativa, de caráter experimental, associa-se a redução do impacto das águas superficiais nos taludes, através da implantação de uma linha contínua de proteção (tubulação), reduzindo o fluxo turbulento e a ação erosiva das águas, considerando que a maior velocidade das águas é superficial. De qualquer forma, a consultoria de empresas de geotecnia deverá ser objeto de ações da administração municipal, que tenham uma real experiência das condições amazônicas, principalmente, se o objetivo traçado consistir na preservação da orla de Vila Calama.

Finalmente, é forçoso destacar o curto espaço de tempo disponibilizado para o estudo do processo erosivo identificado em Vila Calama, onde diversas variáveis atuam conjuntamente, desde a dinâmica fluvial, a morfologia do rio Madeira, a contribuição do rio Machado, a natureza dos sedimentos aflorantes, o contexto físico do núcleo urbano, o desmatamento, entre outros, e que demandam um período de tempo maior para um entendimento mais preciso, viabilizando a observação do processo em vários períodos do ano, inclusive na estação seca. Recomenda-se, portanto, a continuidade dos estudos interpretativos envolvendo a Vila Calama e outros sítios afetados pela ação erosiva das drenagens da bacia do rio Madeira, além da caracterização da variação da velocidade e vazão das águas do rio Madeira e a sua contribuição em sua dinâmica fluvial.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMY, A. (Org.). **Geodiversidade do Estado de Rondônia**. Porto Velho: CPRM, 2010. 300p. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade.
- ADAMY, A. **Visita técnica a comunidade de São Sebastião e Rio Madeira**. Porto Velho: CPRM, 2012. 21p. il., color.
- BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Divisão de Fomento da Produção Mineral. Projeto 37 Norte/Centro-Oeste. **Folha Calama SC.20-X-A-I**: fotografia aérea. Rio de Janeiro: LASA, 1966. Escala 1:70.000.
- IGREJA, H. L. S.; PALHA, W. S. M.; CARVALHO, A. de S. **Análise geoestrutural de terras caídas sísmica meio de imagem do satélite Landsat 7: Evento Saracura da Costa da Águia – Município de Parintins**. Simpósio de Geologia da Amazônia, 10, Porto Velho, 2007. Anais do X Simpósio de Geologia da Amazônia. Porto Velho: Sociedade Brasileira de Geologia – Núcleo Norte, 2007, pg. 349.
- MOREIRA, J. (Ed.). **Monitoramento da evolução dos trechos com margens erodidas ou potencialmente instáveis**. Programa de Levantamento e Monitoramento Hidrossedimentológico do Rio Madeira e do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio. 2ª etapa. Porto Velho: Projetos e Consultorias de Engenharia Ltda., 2011.

- QUADROS, M.L. do E. S.; RIZZOTTO, G.J. (Orgs.). **Geologia e recursos minerais do Estado de Rondônia**: texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do Estado de Rondônia. Escala 1:1.000.000. Porto Velho: CPRM, 2007. 1 CD-ROM. Programa Geologia do Brasil-PGB.
- SOUSA, R. da.; ARAUJO, L.N. de. **Análise geoambiental preliminar da hidrovia do Rio Madeira Amazônia, Brasil**. Porto Velho: CPRM, 2001. 16p.
- SOUZA FILHO, P.W.M. et al. **Compartimentação morfoestrutural e neotectônica do sistema fluvial Guaporé-Mamoré-Alto Madeira, Rondônia-Brasil**. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n.4, p. 469-477, dez. 1999.