

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE VOÇOROCAS NA RODOVIA AM-
352, NO AMAZONAS.

Voluntária: Deiziane Marreiros Silva

MANAUS - AM

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE APOIO A PESQUISA
PROGRAMA INSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO FINAL
PIB – H – 0037/2012
ANÁLISE DA OCORRÊNCIA DE VOÇOROCAS NA RODOVIA AM-
352, NO AMAZONAS.

Voluntária: Deiziane Marreiros Silva

Orientador: Dr. Antonio Fábio Sabbá Guimarães Vieira

MANAUS-AM

2013

Resumo

Muitas obras de infraestrutura podem gerar impactos, tanto para o Homem quanto para a natureza. O processo de erosão que ocorre nas estradas do estado do Amazonas no que abrange a região metropolitana de Manaus faz surgir incisões às margens dessas vias, que podem prejudicar o tráfego de veículos e de pessoas. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo analisar a ocorrência de voçorocas na rodovia AM-352, a fim de colher características dessas incisões, tais quais seus impactos e causa das mesmas, além de comparar ao monitoramento realizado em anos anteriores para verificar e analisar dados para verificar se houveram mudanças.

Palavras chave: Voçorocas, monitoramento, estradas, AM 352.

Abstract

Many infrastructure projects may generate impacts, both for humans and for nature. The process of erosion that occurs on the roads of the state of Amazonas in covering the metropolitan region of Manaus raises incisions on the banks of waterways, which can disrupt the traffic of vehicles and people. Thus, this study aims to analyze the occurrence of gullies in the road AM-352, in order to reap these characteristics incisions, which such impacts and causes thereof, and compare the monitoring conducted in previous years to check and analyze data to check whether there have been changes.

Key-words: gullies, monitoring, roads, AM 352.

SUMÁRIO

Lista de figuras.....	4
Lista de quadros.....	5
Lista de gráficos.....	5
1. INTRODUÇÃO.....	6
2. JUSTIFICATIVA.....	7
3. OBJETIVOS.....	9
4. METODOLOGIA.....	10
5. ÁREA DE ESTUDO.....	13
6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	13
6.1 geomorfologia.....	13
6.2 clima.....	14
6.3 Solo.....	14
6.4 geologia.....	15
6.5 Vegetação.....	15
7. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
7.1 Erosão.....	15
7.2 Escoamento superficial.....	17
7.3 Escoamento subsuperficial.....	17
7.4 Voçoroca.....	17
7.5 Compactação do solo.....	19
8. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	20

9. CONCLUSÃO.....	34
10. CRONOGRAMA.....	35
11. REFERÊNCIAS.....	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localização da Rodovia AM 352.....	13
Figura 2 Os tipos de voçoroca.....	18
Figura3 Forma das voçorocas.....	19
Figura 4 Mapa de localização das voçorocas no segundo monitoramento.....	20
Figura 5 Croqui das três primeira voçorocas cadastradas.....	23
Figura 6 Voçoroca de número 1.....	24
Figura 7 Voçoroca 2.....	24
Figura 8 Voçoroca 3.....	25
Figura 9 Croqui que demonstra que a voçoroca 4.....	28
Figura 10 Voçoroca 4 no primeiro monitoramento	28
Figura 11 Após contenção da voçoroca 4.....	29
Figura 12 Voçoroca 5.....	30
Figura 13 Voçoroca 6.....	31
Figura 14 Voçoroca 7.....	31
Figura 15 Voçoroca 7.....	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Classificação das voçorocas pelo tamanho.....	10
Quadro 2 Mensuração do risco que a voçoroca em relação a pista.....	10

Quadro 3 Morfometria das voçorocas.....	19
Quadro 4 Custos estimados.....	31
Quadro 5 Custos estimados.....	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Percentual de voçorocas de acordo com o tipo.....	20
Gráfico 2 Percentual de voçorocas de acordo com a forma.....	20
Gráfico 3 Classificação das voçorocas cadastradas em relação ao tamanho.....	21
Gráfico 4 Velocidade de infiltração da água.....	25
Gráfico 5 Resultado do teste de penetrômetro.....	26

1 –INTRODUÇÃO

Os processos de abertura de estradas incluem obras que acabam impermeabilizando o solo e ocasionando uma mudança no regime de escoamento das águas da chuva com aumento da capacidade erosiva da água (CUNHA *et al*, 1991). Nas estradas da Amazônia, é comum observar o surgimento de incisões erosivas diretamente relacionadas a sistemas de drenagem pluvial, os quais resultam principalmente de falhas na concepção inicial do projeto ou na instalação destes (VIEIRA E ALBUQUERQUE, 2004; VIEIRA *et al*, 2004).

Segundo Campi Junior (2001) *apud* Silveira e Mendonça (2009) as voçorocas podem surgir em ambientes urbanos e rurais, pois em ambos são necessários vias de circulação e dentre elas estão as estradas e rodovias que são implantadas indistintamente em terrenos favoráveis ou não em termos de susceptibilidade à erosão, e a falta de planejamento e de medidas preventivas é generalizada.

A erosão pode causar danos ambientais gerando diversas formas de incisões erosivas. Neste trabalho será abordada a análise da ocorrência de voçorocas especificamente na rodovia AM 352, buscando compreender as causas da erosão, os riscos para o tráfego de veículos, os prejuízos com recuperação de perda de área e trechos de estrada, verificação de impactos ambientais com assoreamento de canais (SILVA *et al.*, 2003 *apud* IKEMATSU *et al.*, 2007) e ameaça as espécies vegetais e animais.

2 –JUSTIFICATIVA

O município de Novo Airão localizado no estado do Amazonas, possui quase quinze mil habitantes (IBGE) faz parte da região metropolitana de Manaus(MARQUES, 2011) onde há uma relação econômica e social intensa, por isso é necessário que as estradas que ligam as cidades pertencentes estejam trafegáveis. Assim, o projeto tem por objetivo principal analisar a ocorrência de voçorocamentos na rodovia AM 352 que liga Manacapuru a Novo Airão.

A presença de voçorocas na rodovia pode causar diversos impactos ambientais em relação aos aspectos físicos como a destruição de espécies vegetais e animais, principalmente devido ao assoreamento dos cursos d'água, geralmente presentes no vale e em relação aos aspectos antrópicos visto que as incisões erosivas podem atingir a estrada e prejudicar o tráfego de veículos.

Quando a erosão ocorre sob a forma linear,

como ravinas e voçorocas, levam à destruição ou à inoperância de diversas atividades antrópicas, como estradas, dutos, pastagens e perda de área agrícola. Portanto, o diagnóstico e a recuperação das áreas degradadas, sejam estas por atividade humana ou eventos naturais, adquire importância frente à conservação ambiental e ao uso sustentável do solo. (CUNHA e GUERRA *apud*CASTRO *et al*, 2010)

Com o monitoramento é possível coletar dados referentes à caracterização das incisões erosivas próximas a essa rodovia e assim determinar o direcionamento em que a incisão está crescendo e assim determinar o risco em relação à rodovia e facilitar as ações corretivas de contenção das voçorocas.

Devido à constatação da ocorrência de voçorocas em outros trabalhos em rodovias do estado do Amazonas, é necessário que essas incisões erosivas sejam cadastradas e constantemente monitoradas para atualização de dados e conhecimento das causas para que posteriormente essas informações sejam disponibilizadas e possíveis medidas de contenção, prevenção e recuperação possam ser realizadas.

Pelo exposto, surgem algumas questões:

- 1) Levando em consideração que a rodovia AM-352 passam sobre inúmeros cursos d'água e apresenta diversos cortes nos interflúvios, qual o papel do seu traçado na deflagração de voçorocamentos?
- 2) Essa rodovia apresentam alguma diferenciação na geologia e no relevo que estariam contribuindo para a ocorrência de voçorocas?
- 3) O surgimento de voçorocas nessas rodovias estaria ligada estritamente ao sistema de drenagem da pista ou da combinação deste com aspectos naturais?
- 4) Quais os principais impactos ambientais decorrentes dos voçorocamentos nestas vias?

Levando em consideração os poucos dados existentes a respeito da relação entre voçorocas e rodovias no Amazonas, o presente projeto visa responder a alguns desses questionamentos, conforme objetivos a seguir.

3 - OBJETIVOS

Geral:

Analisar a ocorrência de voçorocas na rodovia AM-352.

Específicos:

- 1) Cadastrar as voçorocas existentes no trecho estudado;
- 2) Monitorar a expansão das voçorocas em relação a pista;
- 3) Caracterizar a morfometria dessas incisões e o ambiente onde se desenvolvem;
- 4) Estimar os danos, custos e previsão de evolução das voçorocas cadastradas;
- 5) Identificar as principais causas do surgimento dessas incisões na estrada.

4 –METODOLOGIA

Através do monitoramento em campo, será feita a identificação da incisão como voçoroca. Com uma fita métrica serão coletados dados primários da morfometria das voçorocas monitoradas, na qual inclui comprimento, largura e profundidade. A partir destes dados obtém-se o volume erodido e a área média de cada incisão conforme fórmulas abaixo respectivamente:

$$V = C . L . P e A = C . L$$

Onde:

V – volume erodido (m³)

C – comprimento (m)

L – largura (m)

P – profundidade (m)

A – área (m²)

Através do volume erodido é possível fazer uma análise qualitativa do assoreamento e mudança das características físicas no local (VIEIRA, 2008).

A ficha cadastral (anexo I) onde conterà os dados para que se possa caracterizar as incisões erosivas e classificá-las em relação a conceitos predeterminados como forma: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular (VIEIRA, 2008); tipo: tipo I – conectadas a rede de drenagem, tipo II – desconectadas da rede de drenagem e tipo III – integração dos dois tipos anteriormente citados e em relação ao tamanho: muito pequena, pequena, média, grande e muito grande (BIGARELLA e MAZUCHOWSKI (1985) *apud* VIEIRA (2008)) colhidos em campo pela observação e mensuração, além de informações geradas a partir desses dados como área e volume. A classificação por tipo e forma ajuda a estabelecer o estágio de evolução das voçorocas (VIEIRA, 2008).

O tamanho de cada voçoroca é determinado a partir do volume erodido, possibilitando assim a classificação em muito pequena, pequena, média, grande e muito grande (quadro 1).

Quadro 1: Classificação das voçorocas pelo tamanho de acordo com o volume erodido.

Ord.	Volume erodido	Tamanho
01	Até 999 m ³	Muito pequena
02	De 1.000 m ³ até 9.999 m ³	Pequena
03	entre 10.000 e 19.999 m ³	Média
04	entre 20.000 e 40.000 m ³	Grande
05	Mais de 40.000 m ³	Muito grande

Fonte: Vieira e Albuquerque (2004).

Para verificação da direção do crescimento da voçoroca, a disposição de canaletas (se houverem) em relação à voçoroca e a pista, assim como a declividade da encosta ou talude e da via será utilizada uma bússula.

Com a fita métrica obtêm-se os valores da distância da pista para a cabeceira da voçoroca, desta forma, a partir do segundo monitoramento é possível verificar se houve crescimento da incisão e o quanto cresceu, possibilitando o cálculo da média de crescimento em determinado período de tempo, considerando características de erodibilidade e erosividade do solo, vegetação etc (GUERRA, 1994). Caso a voçoroca tenha atingido a pista, mede-se o quanto foi destruído da mesma.

Para aferir o grau de risco da incisão em relação a estradas e ao tráfego de pessoas é necessário que sejam feitos no mínimo dois monitoramentos, dessa forma podendo comparar os dados em relação ao crescimento e a velocidade de aproximação com a estrada.

O grau de risco será dado após o segundo monitoramento conforme quadro (2) a seguir:

Quadro 2: Mensuração do risco que a voçoroca em relação a pista de acordo com a velocidade de crescimento em determinado período de tempo

Nível	Intervalo	Descrição	Meses
1	0 – 3	risco imediato	0 – 6
2	3 – 6	risco a curto prazo	6 – 15

3	6 – 15	risco a médio prazo	15 –36
4	> 15	risco a longo prazo	> 36

Fonte: Tavares e Vieira (2010)

As voçorocas cadastradas serão demonstradas em mapa referente ao trecho da rodovia estudado.

Os custos para recuperação das voçorocas são baseados no preço médio do metro cúbico da areia e da argila, esse valor é multiplicado pelo volume erodido permitindo estimar quanto custa para recuperar uma área erodida, além de outros danos materiais e quão é importante um melhor planejamento de obras de infraestrutura.

As características físicas do solo serão levadas em consideração, principalmente a granulometria que influencia na susceptibilidade à erosão (ARAÚJO *et al* 2010) para isso serão utilizados dados de amostras de solo das voçorocas, assim como levantamento de dados das classes texturais, buscando dessa forma compreender o surgimento das incisões erosivas.

5 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde as margens da rodovia AM 352 que liga as cidades de Manacapuru e Novo Airão (figura 1) com 98 km de extensão.

Novo Airão está localizado na Mesorregião Centro Amazonense e tem como limites os municípios de Presidente Figueiredo, Manaus, Iranduba, Barcelos, Caapiranga e Codajás.

A extensão da rodovia AM 352 começa a partir de 102 km da AM 070 em Manacapuru, com trecho em Iranduba seguindo até o município de Novo Airão, localizado a margem direita do Rio Negro.

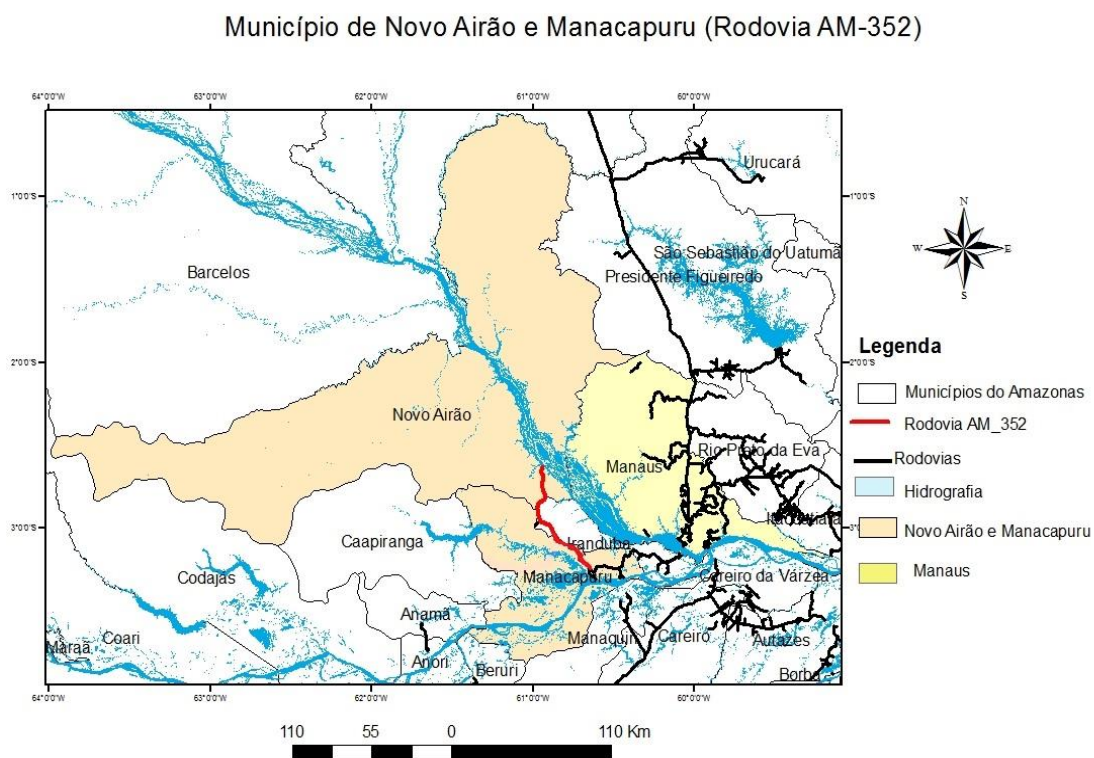


Figura 1: Mapa de localização da Rodovia AM 352. Org. Nádia Rafaela, 2012.

6 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

6.1 - Geomorfologia

Conforme exposto por Souza (2010) a área em estudo está inserida no planalto dissecado Rio Trombetas-Rio Negro, onde o relevo dos planaltos da Região Norteé delimitado por compartimentos planálticos, posicionados em diferentes níveis

altimétricos, e elaborados sobre conjuntos litológicos que se distinguem, segundo a multiplicidade de formas. O relevo apresenta altimetria na sede e próxima a esta em torno dos 52m e é classificado como interflúvios tabulares. Situada no planalto Rio Trombetas – Rio Negro. Das “terras baixas” das depressões amazônicas, a poucos metros de altitude, prossegue pelos compartimentos planálticos posicionados em diferentes níveis altimétricos até ultrapassar os 2000 m de altitude nas serranias do planalto do Amazonas-Orenoco, a norte da Amazônia, essa caracteriza pela exuberância da sua cobertura vegetal com predomínio de árvores de grande porte.

6.2 - Clima

A região Norte e parte da Centro-Oeste aparecem os climas equatoriais úmidos e equatorial subúmido, que são controlados, basicamente, pela oscilação da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) e pela ação dos alíseos e baixas pressões equatoriais (*doldrums*); (ROSS, 2000 *apud* SOUZA 2010).

A precipitação anual da região norte do Brasil está entre 2250 e 2000 mm, no Amazonas o clima é considerado tropical chuvoso com temperaturas médias anuais de 26° C, ficando dessa forma a máxima em torno dos 30,7° C e a mínima perto dos 22,9° C. A umidade relativa do ar fica em torno de 80%, onde os meses de maior incidência de chuvas na região compreendem os meses de janeiro a abril, enquanto que o período mais seco ocorre de junho a setembro (NIMER, 1989 *apud* SOUZA, 2010).

6.3 - Solo

A classe de solo da área são os respectivos dois grupos Latossolo Amarelo que são solos com propriedades físicas favoráveis para a utilização agrícola, neles em geral, as raízes encontram ambiente sem restrição ao seu desenvolvimento. Por se encontrarem, geralmente, em topografia plana e suave ondulada, e por terem boas características físicas. As principais limitações de uso destes solos advêm de suas propriedades químicas, baixa reserva de nutrientes minerais, elevados teores de alumínio trocável e altos percentuais de saturação com alumínio trocável, o material de origem dos solos dessa classe está relacionado a sedimentos areno-argilosos do

Quaternário e Terciário e o Gleissolos que constituem solos minerais pouco desenvolvidos (SOUZA, 1989 *apud* SOUZA 2010).

6.4 - Geologia

No que se refere à geologia, está inserido a formação Alter do Chão, sua província estrutural é a província Amazônica e costeira grande área sedimentar que separa os escudos das Guianas e do Brasil Central. As bacias que constituem a província amazônica teriam se desenvolvido em área crustal de muito antiga consolidação a área de estudo está inserida na Sub-Bacia do Médio Amazonas (BEZERRA, 1989 *apud* SOUZA 2010).

6.4 – Vegetação

Por estar localizada na floresta Amazônica, a vegetação da área de estudo está inserida em floresta ombrófila densa (BOHRER e GONÇALVES, 1991 *apud* VIERA, 2010).

Ao longo da rodovia é possível observar a retirada de uma parte da cobertura vegetal para ocupação antrópica e cultivo

7 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

7.1 - Erosão

Segundo Guerra *et al*(1994) a erosão é um processo de que consiste na remoção e no transporte de partículas do solo, efetuado pelos agentes erosivos, e em seguida ocorre a deposição do material transportado.

O processo ocorre de forma natural, mas o homem pode intensificar e acelerar causando mais danos do que o normal com a implantação de obras de infraestrutura que comprometem a dinâmica dos subsistemas.

A desagregação das partículas do solo pode ocorrer tanto pelo impacto direto das gotas da chuva como pelas águas que escoam na sua superfície, mas nas duas formas há uma grande quantidade de energia cinética que desagrega e arrasta parte do solo. A

energia das gotas da chuva é muito maior do que a energia das águas que escoam, pois é o impacto das gotas que desagregam com maior intensidade as partículas do solo, enquanto que o escoamento transporta mais do que desagrega (LEPSCH, 2011).

Guerra (1994) afirma que o ciclo hidrológico é o ponto de partida do processo erosivo, pois durante um evento chuvoso parte da água chega ao solo, seja diretamente ou após ser interceptada e gotejada pelas folhas. Ao atingir o solo provoca a erosão por salpicamento (*splash*), com isso a água é armazenada em pequenas depressões ou infiltra, o que faz aumentar a umidade do solo. Quando não consegue mais absorver água, o excesso começa a se mover em superfície ou em subsuperfície, podendo provocar erosão através do escoamento das águas.

A taxa de infiltração varia de acordo com as características do solo e durante um evento chuvoso. Em geral, solos de textura mais grosseira, como os arenosos, possuem taxas de infiltração maiores do que os argilosos (GUERRA, 1994).

As crostas diminuem a capacidade de infiltração da água no solo (LEPSCH, 2011) e acelera a formação do escoamento superficial. Essas formações ocorrem devido ao impacto das gotas da chuva na superfície do solo e se caracterizam por serem mais duras do que a superfície situada logo abaixo (GUERRA *et al* (2011)).

Em determinadas áreas há mais erosão do que em outras, isso ocorre devido aos fatores controladores que são: a erosividade da chuva, propriedades do solo, a cobertura vegetal e as características das encostas.

A erosividade está relacionada com a habilidade da chuva em causar a erosão, considerando que a chuva apresenta diferenciações nas gotas e essas podem variar no tempo e no espaço. A perda de solo está muito relacionada a intensidade da chuva, pois tem papel importante nas taxas de infiltração, que diminui quando o solo ao ficar encharcado, o que influencia o escoamento superficial. (GUERRA, 1994).

As propriedades do solo determinam a susceptibilidade à erosão, pois influenciam na erodibilidade, que foi definida por Morgan (*apud* GUERRA *et al*, 1994) como sendo a resistência do solo em ser removido e transportado. Existem muitas propriedades que influenciam nessa resistência entre elas: textura, densidade aparente, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e o PH do solo, mas sempre relacionados a um determinado período de tempo. (GUERRA, 1994).

A cobertura vegetal pode influenciar os processos erosivos de várias maneiras, tanto dos efeitos espaciais ao recobrir o solo e dissipar uma parte da energia das gotas da chuva, apesar de haver tipos de vegetação que podem aumentar a capacidade erosiva da chuva, quanto na formação do húmus, que afeta a estabilidade e o teor de agregados principalmente em áreas de cultivo agrícola (IBGE, 2009), o que diminui a matéria orgânica reduz a resistência dos agregados ao impacto das gotas de chuva, dessa forma são quebrados com maior facilidade formando crostas na superfície, o que dificulta a infiltração, aumenta o escoamento superficial e a perda de solo. (GUERRA, 1994).

7.2 - Escoamento superficial

Para Guerra e Guerra (2011) o escoamento superficial começa a ocorrer quando a capacidade de infiltração do solo acaba atingindo a sua saturação, dessa forma as pequenas depressões começam a encher-se água e a escoar pela superfície. No início o escoamento ocorre de forma bem distribuída, mas à medida que se intensifica e começa a canalizar em sulcos e posteriormente em ravinas. Essas incisões erosivas podem evoluir com o tempo e dependendo das condições da pluviosidade, do solo e da vegetação, se transformar em voçorocas.

7.3 - Escoamento subsuperficial

O escoamento subsuperficial corresponde ao movimento emfluxo da água em subsuperfície e também é um dos fatores que podem contribuir para o surgimento de voçorocas decorrentes da formação de dutos, causado pela dissolução de minerais, deixando o solo vulnerável a colapsos e com isso o surgimento de voçorocas (GUERRA e GUERRA, 2011)

A água está sempre percolando no solo, mas esse fluxo pode encontrar uma descontinuidade com menor permeabilidade e começar a escorrer lateralmente dentro do solo, em subsuperfície. Os solos argilosos podem provocar o surgimento do escoamento superficial, devido a maior impermeabilidade que apresentam, assim como a presença da rocha matriz, em subsuperfície, próximo ao horizonte A também (GUERRA, 1994).

7.4 - Voçoroca

Segundo Vieira (1998) *apud* Vieira (2002) as voçorocas são incisões erosivas que apresentam queda em bloco das camadas do solo, paredes verticais, fundo plano e dimensões superiores a 1,5 m de profundidade, largura e comprimento superiores a 3 m.

Existem diversos tipos de incisões que podem tornar-se uma voçoroca como os sulcos e as ravinas.

Os sulcos são pequenos aprofundamentos causados por caminhos preferenciais da água, fazendo com que a erosão ocorra de montante para jusante (VIEIRA, 1998 *apud* Vieira, 2002). E as ravinas são um aprofundamento dos sulcos, apresentam uma profundidade entre 0,5 m e 1,5 m, a erosão pode ocorrer tanto de forma progressiva (montante para jusante) quanto de forma regressiva (jusante para montante), sendo que a forma mais comum é a primeira.

As voçorocas são classificadas por Oliveira et al (1996) *apud* Vieira (2002) como: tipo I - conectadas, tipo II - desconectadas ou tipo III - integradas (como resultado da integração dos dois tipos (figura 2). Essa classificação está relacionada com a ligação ou não do vale com a voçoroca.

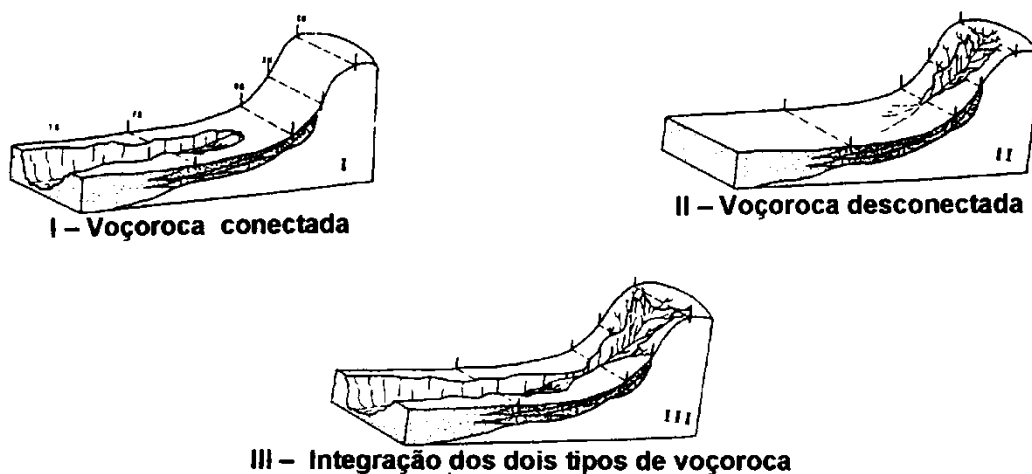


Figura 2: Os tipos de voçoroca de acordo com a classificação de Oliveira (1996).

Em relação a forma há a classificação em retangular, linear, irregular, bifurcada e ramificada (VIEIRA, 2008) conforme figura 3:

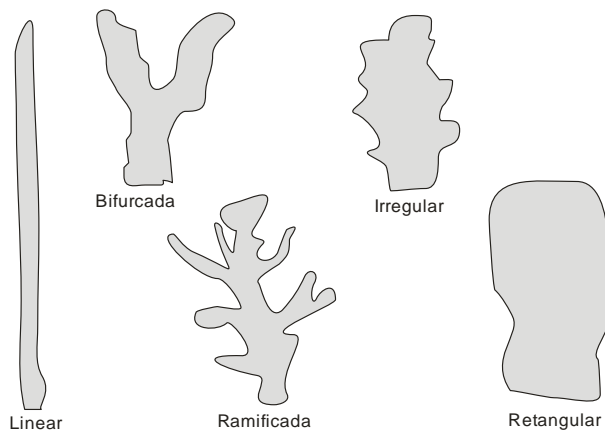


Figura 3: Forma das voçorocas apresentadas por VIEIRA, 2008.

Conforme Vieira, 2008 a forma das voçorocas variam em decorrência das características ambientais do local de ocorrências tais como: “geologia (litologia e estrutura), relevo (forma e declividade), solo, cobertura vegetal e sistema de drenagem superficial ou subsuperficial”. Com o decorrer do tempo sua forma pode mudar de acordo com o seu desenvolvimento, fazendo com que uma seja a forma evoluída da outra.

7.5 - Compactação do solo

Dentre as causas do surgimento de voçorocas está a compactação do solo definido por Araújo *et al*(2010) como resultado do uso de máquinas pesadas em solos instáveis ou do pisoteio de gado ou do selamento e encrostamento causados pelas gotas da chuva, ocasionando a dificuldade de infiltração com isso gerando o escoamento superficial e conseqüentemente a erosão hídrica.

8- RESULTADOS E DISCUSSÕES

No primeiro monitoramento foram cadastradas sete voçorocas ao longo da rodovia AM 352. Enquanto que, na segunda vez foram cadastradas seis voçorocas (figura).

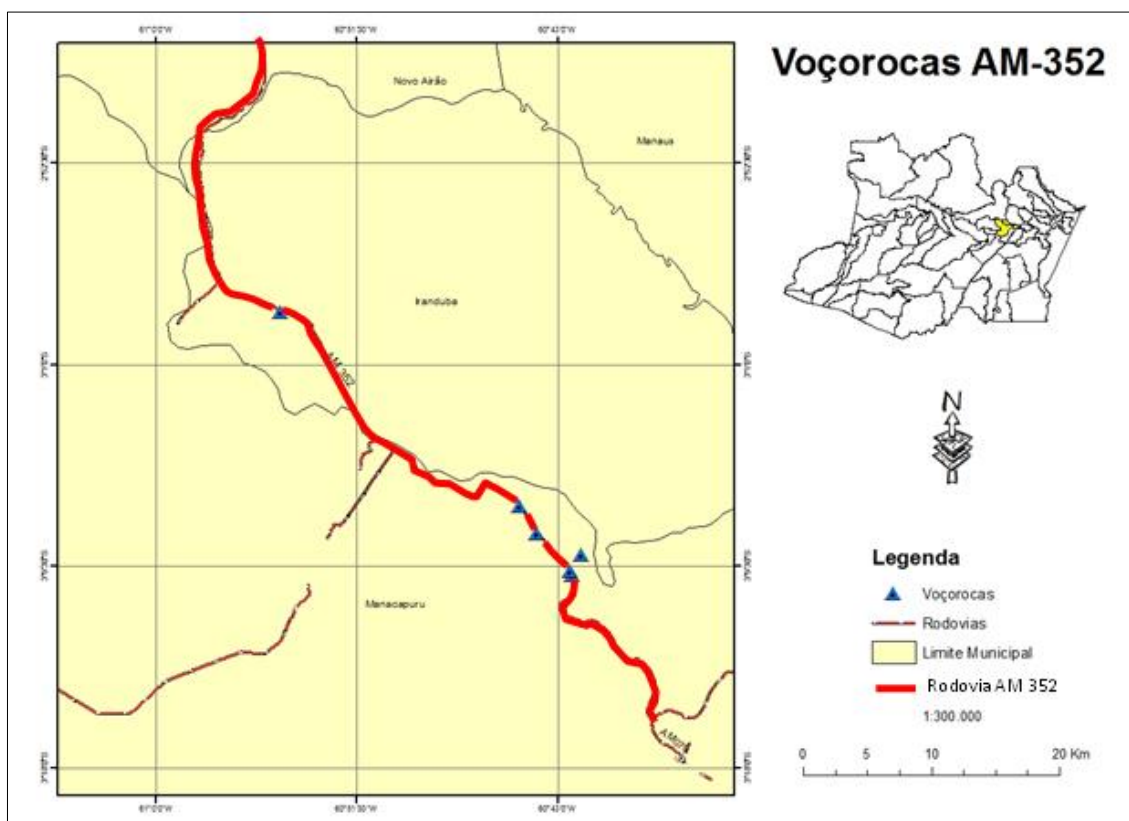


Figura 4: Localização das voçorocas no segundo monitoramento totalizando seis voçorocas. Org. Anne Dirane, julho/2013.

Os dados primários foram coletados em dois monitoramentos realizados em novembro de 2012 e outro em julho de 2013. O quadro ...demonstra a morfometria das voçorocas, sendo que os dados dos anos de 2010 são dados secundários.

Quadro 3: Morfometria das voçorocas.

Voçorocas	Tipo	Forma	Dimensões (m)	jun/10*	set/10*	nov/12	jul/13
1	Conectada	Retangular	Comprimento	50	50	64	65
			Largura	8,1	8,5	12,9	13,2
			Profundidade	3,15	3,3	5,4	5,9
			Distância da	7,8	7,4	6,05	6

			pista				
2	Conectada	Retangular	Comprimento	21	21	21,3	21,5
			Largura	8,5	8,5	8,3	9,4
			Profundidade	6,4	6	5,85	6,4
			Distância da pista	15	15	15,2	14,9
3	Conectada	Irregular	Comprimento	5,7	5,7	9,5	12,68
			Largura	2	2	2,2	2,4
			Profundidade	1,8	1,8	1,87	1,9
			Distância da pista	5,3	7,3	9,5	7,35
4	Conectada	Bifurcada	Comprimento	0	0	49	0
			Largura	0	0	34,3	0
			Profundidade	0	0	11,1	0
			Distância da pista	0	0	-1,6	0
5	Conectada	Retangular	Comprimento	0	0	22	22
			Largura	0	0	13	13,6
			Profundidade	0	0	8,6	8,7
			Distância da pista	0	0	1,9	1,48
6	Conectada	Irregular	Comprimento	91	91	73	114,6 5
			Largura	14	14,8	11	12
			Profundidade	7	6,7	5,8	7,8
			Distância da pista	3,3	2,5	1,2	1,15
7	Desconectada	Irregular	Comprimento	70	79	61	69,3
			Largura	4,2	8,3	6	9,9
			Profundidade	3,15	3,4	4	4,45
			Distância da pista	2,7	2,1	2	1,7

Org. Deiziane, 2013.

*Souza, 2010.

O quadro demonstra que a maioria das voçorocas cadastradas na rodovia AM 352 é do tipo I, pois estarem conectadas ao canal de drenagem, o que corresponde a 86% (gráfico 1). Em relação à forma, observa-se a mesma quantidade de voçorocas retangulares quanto irregulares e um número menor de incisões com a forma bifurcada (gráfico 2).

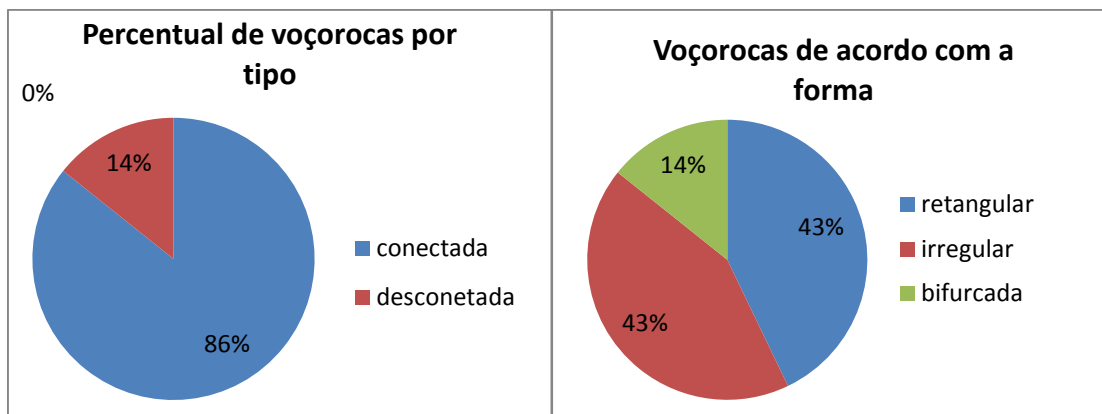


Gráfico 1: Percentual de voçorocas de acordo com o tipo. **Gráfico 2:** Percentual de voçorocas de acordo com a forma. Org. Deiziane, 2013.

O gráfico abaixo nos permite perceber que a maioria das voçorocas são de tamanho pequeno. Essa classificação é feita a partir do volume erodido.

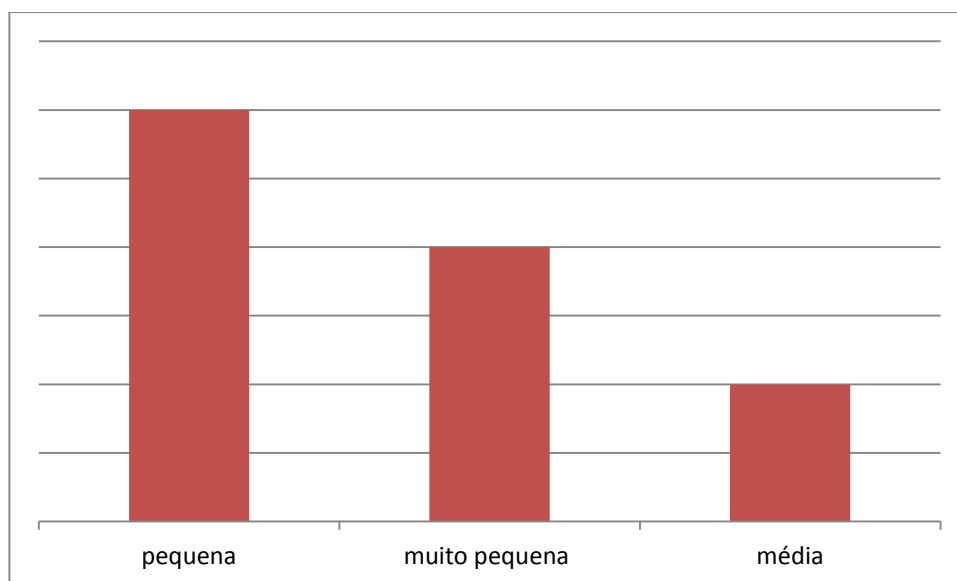


Gráfico 3: Classificação das voçorocas cadastradas em relação ao tamanho. Org. Deiziane, julho, 2013.

A rodovia AM 352 apresenta voçorocas a partir de 17,5 km do início da mesma. Nesse ponto foram verificadas 3 voçorocas. A primeira fica disposta na margem direita no sentido Manaus-Novo Airão, enquanto que as outras duas estão a margem esquerda no mesmo sentido (figura 5).

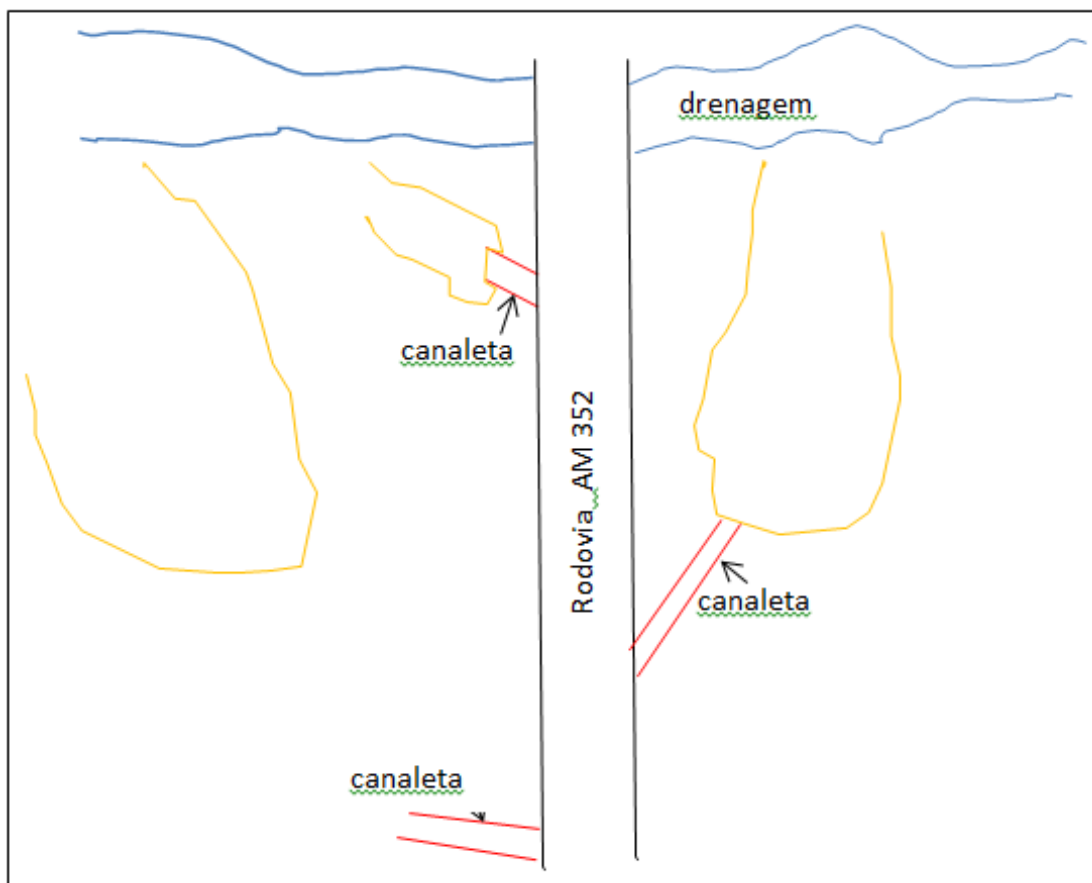


Figura 5: Croqui das três primeira voçorocas cadastradas. Org. Deiziane, julho/2013.

A primeira voçoroca localizada sob as coordenadas $S03^{\circ}09'43,1''$ e $W060^{\circ}42'28,4''$, apresenta crescimento no sentido Norte Sul, enquanto que a orientação da pista é Nor-noroeste Sul-sueste. Foi verificada a presença de canaleta (figura 6) que está disposta na mesma direção da voçoroca causando o aumento da incisão. O solo apresenta características de terraplanagem e compactação. Ao fundo do vale verifica-se que houve o assoreamento do canal com o material erodido. Na ocasião do monitoramento a incisão não havia alcançado a pista, mas se o crescimento persistir poderá haver rompimento dessa via de acesso, pois a voçoroca cresce em direção à pista. Apresentou crescimento desde o primeiro monitoramento como mostrado no quadro 1 de morfometria.



Figura 6: Voçoroca de número 1. A seta branca indica existência de uma canaleta na cabeceira da incisão. Enquanto que as setas azul e vermelho representam, respectivamente, a pista e a voçoroca. Foto: Deiziane, Novembro/2012.

A segunda voçoroca (figura 7) monitorada está localizada na mesma quilometragem da primeira na margem oposta da rodovia, sob as coordenadas $S03^{\circ}09'44,0''$ e $W060^{\circ}42'29,1'$. Apresenta a forma retangular, é do tipo conectada, pois está ligada ao canal de drenagem que pela ação da erosão está sendo assoreado. As orientações da pista e da voçoroca conforme esquema mostra que a incisão apresenta risco à rodovia, pois seu sentido de crescimento ocorre em direção à mesma.



Figura 7: Voçoroca 2. A) primeiro monitoramento e B) segundo monitoramento. As setas em azul e vermelho indicam, respectivamente, a pista e o sentido do crescimento da incisão. A seta em preto indica a canaleta próximo a via. Fotos: Deiziane, (A) Novembro/2012 e (B) julho/2013.

A terceira voçoroca foi localizada no mesmo quilômetro das duas primeiras e ao lado da segunda e corresponde ao ponto $S03^{\circ}09'43,6''$ e $W060^{\circ}42'29,2''$. Foi caracterizada em relação ao tipo como conectada, com forma irregular apresenta canaleta em sua cabeceira e na mesma orientação do crescimento da voçoroca em direção à pista (figura 8). Nessa incisão o solo apresenta características de aterro e se encontra alterado, compactado e com crostas. Apresentou crescimento entre os dois monitoramentos realizados causando a destruição da canaleta.



Figura 8: Voçoroca 3. As setas em azul e vermelho indicam, respectivamente, a pista e o sentido do crescimento da incisão. A) primeiro monitoramento e B) segundo monitoramento. Foto: Deiziane. (A) Novembro/2012 e (B) julho/2013.

Nesse primeiro trecho da rodovia foram realizados teste de infiltrômetro e penetrômetro para verificar a resistência do solo (gráfico 3).

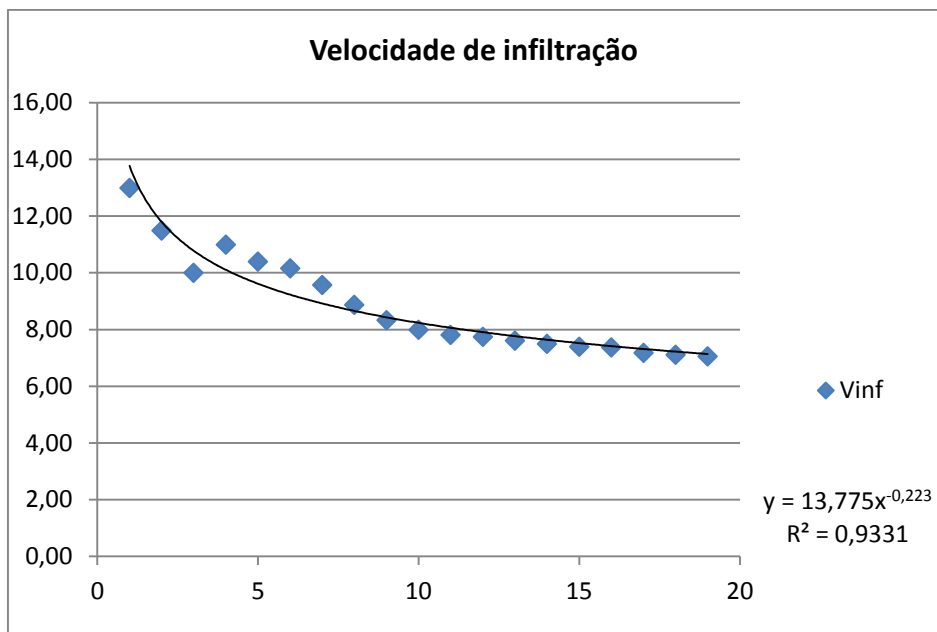


Gráfico 4: Velocidade de infiltração da água para as três primeiras voçorocas monitoradas. Org.: Deiziane/2013.

Observa-se que nos primeiros minutos a infiltração ocorre de forma mais acelerada, diminui e acelera, porém de forma mais lenta após dez minutos. Após os oito minutos a velocidade da infiltração começa a estabilizar.

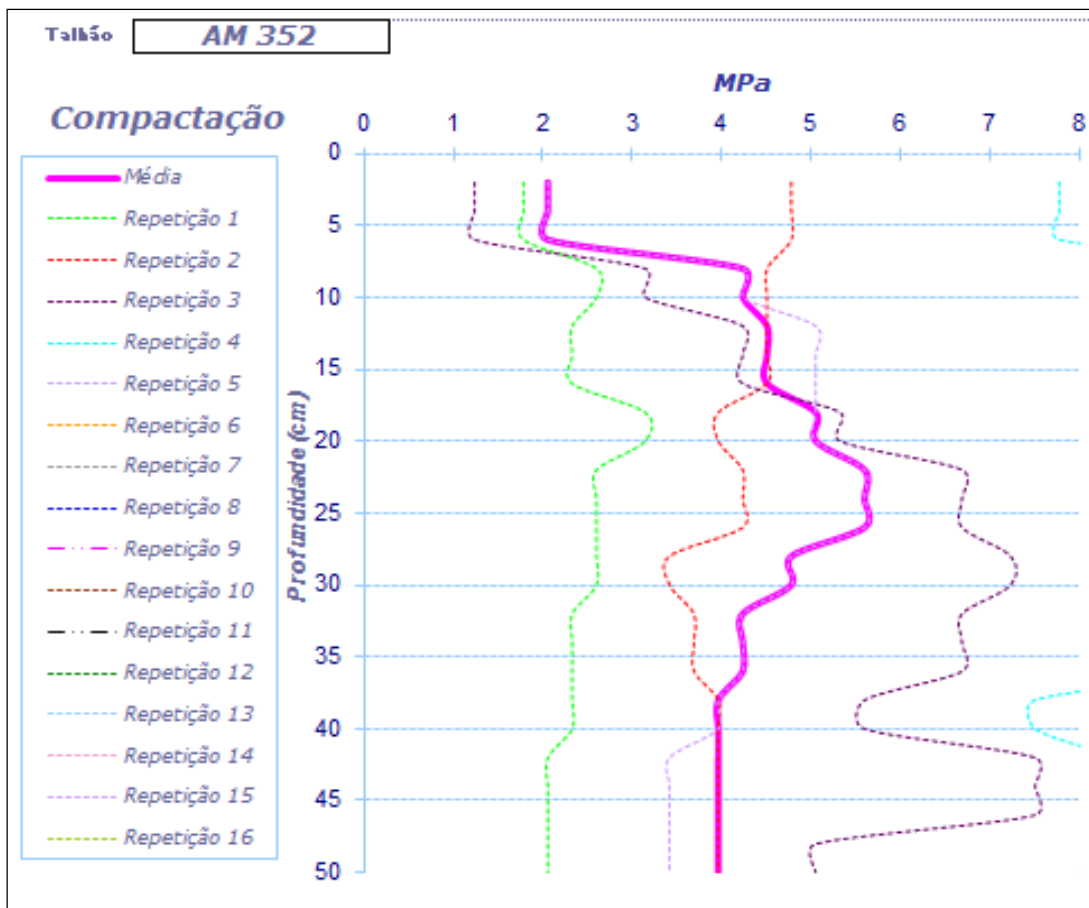


Gráfico 5: Resultado do teste de penetrômetro, no qual é demonstrado a compactação do solo. Org.: Deiziane/2013.

A repetição 1 referente ao lado direito da rodovia onde está localizada a voçoroca 1 e a repetição refere-se ao teste realizado no outro lado da estrada para verificar a resistência do solo das voçorocas 2 e 3.

No solo da voçoroca 1 verifica-se menor resistência nos primeiros seis centímetros do solo. A partir desse ponto a resistência aumenta, mas não de forma considerável, sendo que há uma diminuição da resistência.

O teste para as voçorocas 2 e 3 o solo, inicialmente, apresenta grande resistência, mas com o aumento da profundidade há uma diminuição na resistência do solo.

No primeiro monitoramento a voçoroca 4 (figura 10) sob as coordenadas S03°08'12,9'' e W060°43'49,3'', foi localizada no km 21,3 da rodovia AM 352 com a

forma bifurcada, do tipo conectada ao canal de drenagem. Na data do monitoramento a voçoroca havia alcançado a pista 1,6 m causando transtornos ao tráfego de veículos, sendo que, até a presente data não foi realizado nenhuma medida de contenção. Desenvolveu-se em um talude com declividade de 24° pela presença de tubulação de manilha.

À jusante observou-se a presença de algumas moradias. Observou-se a presença de canaletas próximo a incisão, mas não estavam em contato com a voçoroca (figura 9).

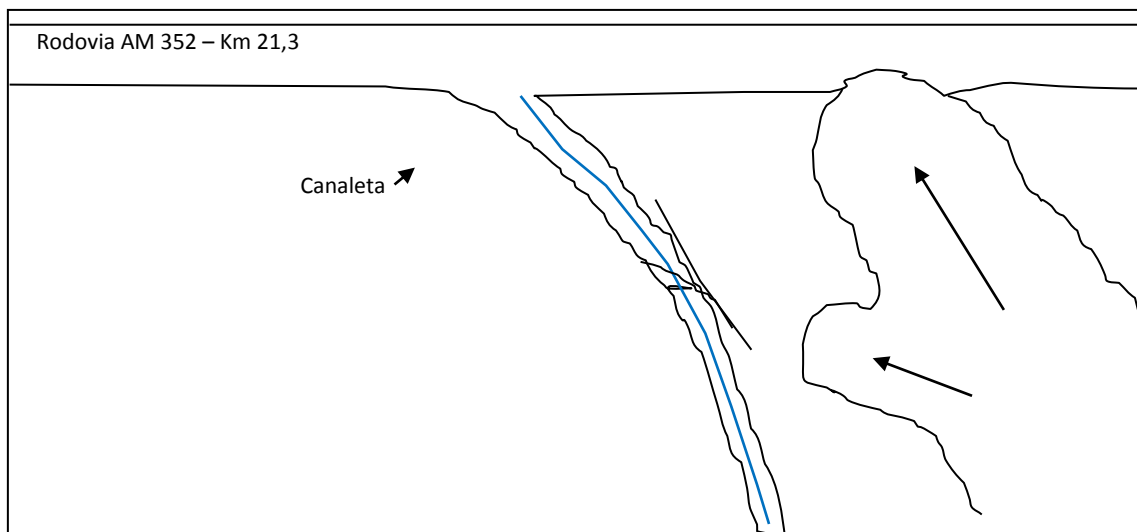


Figura 9: Croqui que demonstra que a voçoroca 4 de forma bifurcada já atingiu a via de acesso e a canaleta não está disposta no mesmo sentido da voçoroca. Org. Deiziane, 2013.



Figura 10: Voçoroca 4 no primeiro monitoramento. As setas em azul e vermelho indicam, respectivamente, a pista e o sentido do crescimento da incisão. Em A o contorno amarelo mostra que a incisão erosiva atingiu a pista, enquanto que em B o contorno em amarelo mostra a forma da incisão como bifurcada. Fotos. Deiziane, novembro/2012.

No segundo monitoramento foi verificado que houve recuperação da voçoroca número 4 (figura 11).



Figura 11: Após contenção da voçoroca 4 no segundo monitoramento. Fotos: Deiziane, julho/2013.

A contenção foi realizada ainda no ano de 2013, mas é possível notar a formação de sulcos no aterro, trazendo a possibilidade da voçoroca persistir em aparecer.

A voçoroca de número 5 (figura 12) foi localizada no Km 21,6 nas coordenadas S03°08'04,2'' e W060°43'55,2'' em uma área terraplanada, a mesma não passou por nenhuma medida de contenção, mas apresenta uma canaleta e solo o que pode intensificar a erosão na incisão. Seu crescimento está ocorrendo em direção à pista (figura 12).



Figura 12: Voçoroca 5. Primeiro monitoramento: Em A seta em amarelo mostra a presença da canaleta. Em B podemos constatar a presença de lixo. Segundo monitoramento: Em C a vegetação se expande e em D o lixo foi soterrado pelos sedimentos provenientes da erosão. Fotos: Deiziane. Novembro/2013.

A voçoroca 6 (figura 13) está localizada no km 24,1e coordenadas $S03^{\circ}06'57,7''$ e $W060^{\circ}44'37,0''$, está conectada ao canal de drenagem, tem a forma irregular e cresce paralelamente a pista (figura 13). Apresenta uma canaleta encoberta pela vegetação, solo Latossolo, alterado em área terraplanada, compactado e com crostas.

O resultado do teste de penetrômetro demonstrou na repetição 3 que o solo é pouco resistente nos primeiros centímetros se tornando muito resistente em sua profundidade até 50 centímetros.

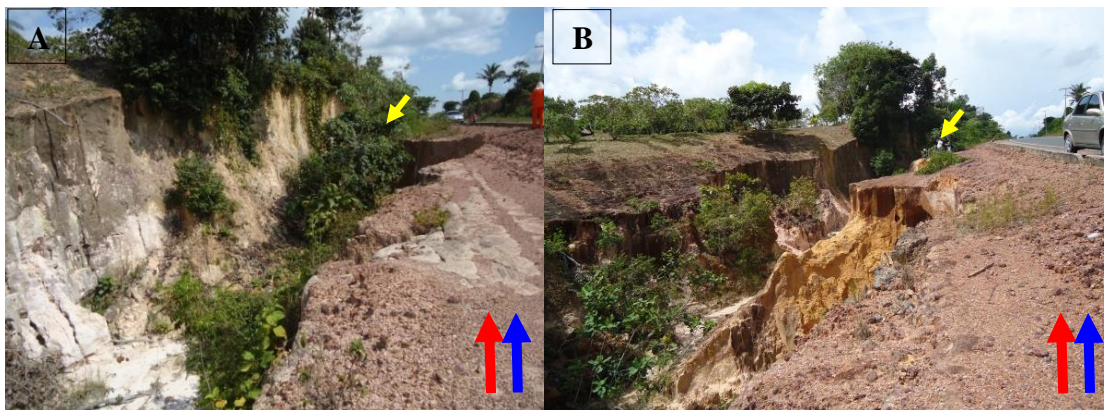


Figura 13: Voçoroca 6. As setas em azul e vermelho indicam, respectivamente, a pista e o sentido do crescimento da incisão. A seta amarela indica a presença de uma canaleta. Foto: Deiziane. Novembro/2012.

A voçoroca 7 (figura 14) foi cadastrada no km 51,5 sob as coordenadas $S02^{\circ}58'47,9''$ e $W060^{\circ}54'43,8''$, apresenta a forma retangular, é do tipo desconectada do vale, se desenvolve em uma encosta e paralelamente a pista (figura 14), ausência de canaletas. Apresenta um solo muito compactado a montante causando o aumento da erosão e assoreamento.

O solo está altamente compactado, pois em resultado do teste do penetrômetro constatou-se que a curva que mede a resistência do solo ultrapassa durante quase toda a profundidade de 50 centímetros.



Figura 14: Voçoroca 7. Primeiro monitoramento. As setas em azul e vermelho indicam, respectivamente, a pista e o sentido do crescimento da incisão. Fotos: Deiziane, novembro/2012.



Figura 15: Voçoroca 7. Segundo monitoramento. Em A as setas em azul e vermelho indicam, respectivamente, a pista e o sentido do crescimento da incisão. Em B o canal assoreado. Fotos: Deiziane, julho/2013.

Como mostrado na figura 15 a erosão causa assoreamento no canal de drenagem localizado logo após a incisão.

O teste de penetrômetro de impacto demonstra que o solo é resistente já desde os primeiros centímetros e intensifica após oito centímetros, mas com maior profundidade essa resistência diminui.

No referido monitoramento foram coletados dados primários de comprimento, largura e profundidade e com eles foram obtidos os valores do volume erodido e da área. De acordo com a metodologia prevista foram estimados os custos de recuperação das áreas erodidas (quadro 4).

Quadro 4: Custos estimados para recuperar as áreas erodidas no primeiro monitoramento.

Voçoroca	Área (m ²)	Volume erodido (m ³)	Valor recuperação da voçoroca (R\$)
1 ^a	825,6	4.458,24	181.116,00
2 ^a	176,79	1.034,22	42.015,19
3 ^a	20,9	39	1.584,38
4 ^a	1.680,7	18.655,77	757.890,66
5 ^a	286	2.459,60	99.921,25

6 ^a	803	4.657,40	189.206,88
7 ^a	366	1.464	59.475,00

Org.: Deiziane, 2013

Quadro 5: Custos estimados para recuperar as áreas erodidas no segundo monitoramento.

Voçoroca	área (m ²)	volume (m ³)	valor recuperação da voçoroca (R\$)
1 ^a	858,00	5.062,20	205.651,88
2 ^a	202,10	1.293,44	52.546,00
3 ^a	30,43	57,82	2.348,97
4 ^a	0	0	0
5 ^a	299,20	2.603,04	105.748,50
6 ^a	1.375,80	10.731,24	435.956,63
7 ^a	686,07	3.053,01	124.028,59

Org.: Deiziane, 2013

Dentre as voçorocas cadastradas apenas uma atingiu a pista (quadro 5). O grau de risco só pode ser estimado a partir do segundo monitoramento e nenhuma receberam medidas de contenção.

Dados secundários demonstram que o percentual de areia é maior nas voçorocas 1, 2 e 6, enquanto que a voçoroca de número 7 apresenta maior percentual de silte (SANTOS, 2010) e é a que está mais distante das outras no quilômetro 51,5.

A terceira e a quinta voçorocas apresentam um risco a médio prazo, enquanto que as demais apresentam risco a longo prazo.

A voçoroca que tinha atingido a pista no primeiro monitoramento já foi recuperada pela IMTRANS através de aterros, pois estava oferecendo risco aos que usuários da via. Além disso, outro trecho da estrada foi recuperado bem próximo a essa anterior e não existia no primeiro monitoramento, o que significa a velocidade com que se forma uma incisão erosiva.

9 - CONCLUSÃO

As voçorocas são incisões erosivas que podem gerar grandes impactos na natureza e trazer grandes prejuízos para o Homem. Dessa forma a atuação humana na sociedade tem gerado grandes transformações com a exploração e ocupação do espaço, as quais podem ser desastrosas. A forma como se implanta projetos de infraestrutura, bem como as estradas, deve ser mais bem projetada pelas autoridades competentes, mesmo que o custo seja maior, em longo prazo esse custo pode evitar tais desastres. Para isso é importante levar em consideração estudos que buscam compreender tais fenômenos para que se possa atuar de forma eficiente.

Aqui observamos um trecho da estrada que apresenta maior tendência a erosão e formação de voçorocas.

As canaletas são intervenções humana para direcionar o fluxo da água, mas acaba intensificando a erosão, pois concentra e direciona. A água que sai da estrada causa incisões pequenas, que começam em forma de sulcos, os quais se desenvolvem no sentido da canaleta, a qual será destruída com a evolução da incisão erosiva.

Todas as voçorocas cadastradas, conectadas ou não, apresentam um canal de drenagem a jusante, prejudicando assim muitas espécies, além de afetar a qualidade da água, pois muitas pessoas que habitam as proximidades utilizam-se dela.

A rodovia AM 352 deve estar em constante monitoramento quanto às voçorocas, pois apresentam um risco a prejudicar o fluxo viário de uma via de acesso importante para conectar os municípios vizinhos da região metropolitana de Manaus.

10 - REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R. e GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. 320p.

CASTRO, U. N.; NEVES, S. R. A.; SILVA, L. F. T. C.; MENDES, S. P. e GUERRA, A. J. T. Mapeamento de feições erosivas e cicatrizes de escorregamento por unidades de relevo na sub-bacia do rio Sana (Macaé-RJ). **In. Rev. Revista de Geografia, 2010**.

CUNHA, M.A. (Coord.); FARAH, F.; CERRI, L.E.S.; GOMES, L.A.; GALVÊZ, M.L.; BITAR, O.Y.; AUGUSTO FILHO, O. e SILVA, W.S. da. **Ocupação de Encostas**. São Paulo: IPT, 1991. 216 p.

GUERRA, A. T. e GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A.J.T. (1994). Processos erosivos nas encostas. **In: GUERRA, A. J.T. & CUNHA, S.B. da. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 187.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IKEMATSU, P.; SILVA, A. M.; PAULA F. P.; NOGUEIRA, D. P.; FELIPE MUNIZ SILVEIRA, F. M.; ALVES, S.H.; BOMBACK, M. **Dimensionamento e estudo dos fatores condicionantes de duas voçorocas localizadas no município de Sorocaba (SP)**.In. Rev. Caminhos de Geografia, 2007.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**.São Paulo: Oficina de textos, 2011.

MARQUES, A. O., KUWAHARA, N. e ANDRADE, J. B. L. (2011) Escoamento de cargas dos APLs de frutas regionais em municípios da região metropolitana de Manaus: caso do modal aquaviário. **In: Rev. de Literatura dos Transportes**. 2011.

SANTOS, T. S. **Monitoramento de voçorocas na rodovia AM-352, trecho Manacapuru-Novo Airão (AM)**. Trabalho de conclusão de curso. Manaus: UFAM, 2010.

SILVEIRA, L. R. e MENDONÇA, R. M. G. **Análise, monitoramento e caracterização da voçoroca Ribeirão da Cachorra em paraíso do Tocantins – TO**. In. Rev. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, 2009.

VIEIRA, A.F.G. **Desenvolvimento e distribuição de voçorocas em Manaus (AM): principais fatores controladores e impactos urbano-ambientais**. Tese (Doutorado). Florianópolis: UFSC/PPGG, 2008. 223p.

VIEIRA, A.F.G.; ALBUQUERQUE, A.R.da C. Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo). **In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia.** (Anais). Santa Maria: UGB/UFSM, 2004. p. 50-65.