

INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS EM CANAIS FLUVIAIS EM ÁREAS URBANIZADAS: REDE DE DRENAGEM DO IGARAPÉ CARANÃ, BOA VISTA - RR

Anthropic interventions in river channels in urbanized areas: drainage network of the Caranã stream, Boa Vista-RR

Intervenciones antrópicas en canales fluviales en áreas urbanizadas: red de drenaje del arroyo Caranã, Boa Vista-RR

Carlos Sanderⁱ

Fábio Luiz Wanklerⁱⁱ

Renato Augusto de Oliveira Evangelistaⁱⁱⁱ

Universidade Federal de Roraima

Manoel Luiz dos Santos^{iv}

Universidade Estadual de Maringá

Oscar Vicente Quinonez Fernandez^v

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Resumo

Este trabalho busca avaliar os efeitos urbanização sobre a rede de drenagem do igarapé Caranã, na cidade de Boa Vista, Roraima. O estudo compreendeu as bacias do igarapé Caranã, que drena a área urbana de Boa Vista, e do igarapé Carrapato, localizado as adjacências desta cidade e que possui características geomorfológicas semelhantes ao primeiro igarapé. O trabalho foi apoiado pela interpretação de imagens orbitais, na identificação e mapeamento das redes de drenagem anterior e posterior à urbanização, apoiados por visitas a campo, assim como no levantamento da descarga de base das duas bacias. Os resultados mostraram que a urbanização de Boa Vista derivou numa leve ampliação na extensão da área drenada (2,7 km) e uma importante redução do espelho de água da bacia do igarapé Caranã, representada pela drenagem de lagos, com a redução destas áreas de 6,77 para 3,03 km². Foi verificado que, o baixo gradiente dos trechos de lagos drenados e o alto volume precipitado durante o alto da estação chuvosa (maio a julho), determinam uma baixa eficiência na drenagem destes ambientes. Foi constatado ainda que a urbanização e a drenagem de ambientes paludais da bacia resultaram na alteração da hidrologia do igarapé Caranã, determinando o aumento da amplitude de descarga anual, apresentando vazões maiores durante a estação chuvosa e descargas menores no alto da estação seca.

Palavras-chave: intervenções antrópicas; rede de drenagem; cidade de Boa Vista.

Abstract

This work aims to evaluate the effects of urbanization on the drainage network of the Caranã stream in the Boa Vista city in Roraima state. The study included the basins of the Caranã stream, which drains the urban area, and Carrapato stream, located adjacent to this city and has geomorphological characteristics similar to the first stream. The work was supported by the interpretation of satellite images, the identification and mapping of drainage networks before and after urbanization, supported by field visits, as well as the basic survey of the discharge of the two basins. The results showed that urbanization was derived from Boa Vista in a slight increase in the extent of drainage area (2.7km) and a significant reduction of the lake basin Caranã stream, represented by the drainage of lakes, with the reduction of these areas 6.77to 3.03km². It was found that the low gradient portions of the lake drained and the high volume of precipitated during the high season (May-July), determine a low efficiency in the drainage of these environments. It was verified that urbanization and drainage lacustrines environments resulted in altering the hydrology of the Caranã stream, which increased the amplitude of annual discharge, with higher flow rates during the wet season and smaller discharges at the top of the dry season.

Keywords: anthropic interventions; drainage network; Boa Vista city.

Resumen

Este estudio trata de determinar los efectos de la urbanización sobre el arroyo Caranã, en la ciudad de Boa Vista, Roraima. El estudio incluyó las cuencas del arroyo Caranã, que desagua la zona urbana de Boa Vista, y arroyo Carrapato, que se encuentra adyacente a la ciudad y tiene características geomorfológicas similares a los del primer. El trabajo fue apoyado por la interpretación de imágenes satelitales, la identificación y mapeo de las redes de drenaje antes y después de la urbanización, apoyadas por las visitas de campo, así como de la encuesta básica de la descarga de las dos cuencas. Los resultados mostraron que la urbanización se deriva de Boa Vista en un ligero incremento en la extensión de la zona de drenaje (2,7km) y una reducción significativa de la cuenca del Caranã, representada por el drenaje de los lagos, con la reducción de estas áreas 6,77 a 3,03km². Se encontró que las porciones bajas del gradiente del lago drenado y el alto volumen de la precipitación durante la temporada alta (mayo-julio), determina una baja eficiencia en el drenaje de estos ambientes. Se verificó que la urbanización y el drenaje de la cuenca entornos paludais dio lugar a la alteración de la hidrología del arroyo Caranã, lo que aumentó la amplitud de la descarga anual, con tasas de flujo más altas durante la estación húmeda y los pequeños vertidos en la parte superior de la estación seca..

Palabras clave: intervenciones antrópicas; red de drenaje; ciudad de Boa Vista.

INTRODUÇÃO

Um curso fluvial pode ser visualizado de diversas formas, considerando aspectos relacionados às suas características singulares como seu tipo de leito, forma do canal e padrão de drenagem. Cada uma dessas características determina uma dinâmica peculiar das águas correntes, associada a uma geometria hidráulica específica, gerada pelos diversos processos de erosão, transporte e deposição dos sedimentos fluviais (CUNHA, 1995). Tais processos estão diretamente relacionados à condição ambiental da área drenada pelo curso fluvial. Desta forma, fatores relacionados ao uso de solo de bacias hidrográficas (escoamento superficial, impermeabilização, fornecimento de sedimentos, entre outros) passam a ter uma importância fundamental na dinâmica das águas correntes e dando a esta unidade uma posição de destaque nos estudos ligados a definição e alteração do comportamento dos canais fluviais.

O estabelecimento do limite do ambiente fluvial não é tarefa fácil, pois depende do aspecto temporal e da estrutura espacial. Estes, por sua vez, se cruzam e também trazem complexidade ao entendimento destas relações. Assim, uma definição correta do comportamento do rio requer além do entendimento dos elementos presentes dentro da bacia, a participação de cada um destes no ciclo hidrológico e sua associação com a ocorrência de eventos extremos. O expressivo crescimento da população urbana tem atrapalhado o entendimento destas relações. O problema se intensifica pela velocidade da ocupação das áreas das bacias e com a preocupação voltada principalmente a consolidação da estruturação urbana (moradias, água, luz, transporte, emprego e saúde), ficando a questão ambiental em

segundo plano.

A problemática envolvendo as mudanças de comportamento do canal fluvial e as mudanças da estrutura da rede de drenagem podem ser entendidas pelas intervenções indiretas e diretas na rede de drenagem. Estudos relativos ao comportamento do canal ligados a variação da densidade de drenagem tem sido desenvolvidos desde a década de 1970, através dos trabalhos de Blyth e Rodda (1973), Day (1978), Abrahams (1984), Montgomery e Dietrich (1988), Drew (1989), Dietrich e Dunne (1993), Gardiner (1995), Gregory (2006) entre outros. No Brasil, importantes trabalhos foram desenvolvidos por Faria (1994, 1996a, 1996b, 1997, 1998) nos estados do Espírito Santo e Rio de Janeiro. No Paraná também foram realizados trabalhos do gênero por Fernandez et. al (1998 e 1999), Sander (2003) e Sander et. al (2005). Outra contribuição importante foi feita por Cunha (2003), discutindo os canais e a questão ambiental.

As intervenções indiretas e diretas aos canais fluviais foram destacadas por Brookes (1996). Este autor classifica as intervenções indiretas como resultantes do uso da terra ou da drenagem de terras (QUADRO 1). Os efeitos mais conhecidos envolvem um aumento do escoamento superficial sobre a área de captação e, em consequência disso, uma ampliação das taxas erosão e da carga sedimentar. No canal, podem determinar o aumento da frequência de inundações, o assoreamento do leito, o comprometimento de ecossistemas, a alteração parâmetros físico-químicos, a contaminação da água e o comprometimento de ecossistemas ligados ao ambiente fluvial.

Ao longo das últimas décadas tem ganhado destaque os estudos sobre a

Tipo de Alteração	
Indireta	Direta
<p>Alterações no uso da terra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desmatamento; • Reflorestamento; • Agrícola (conversão de pastagem para zona cultivável); • Urbanização; • Mineração. <p>Drenagem de terra:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Drenagem agrícola; • Esgoto de água superficial. 	<p>Regulação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Segurar a água (armazenamento com a construção de açudes); • Divagação da água (para a irrigação). <p>Gerenciamento do canal:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Extração de cascalhos; • Retificação; • Controle de inundação; • Proteção contra a erosão de margens; • Dragagem.

QUADRO 1 – Influência humana na alteração de canais.
 Fonte: Adaptado a partir de Brookes (1996).

intervenção direta do homem sobre os cursos fluviais (DREW, 1989; BROOKES, 1996; BRAVARDE PETTS, 1996; STEIGER et al, 1998; GURNELL E DOWNWARD, 1994; MAHESHWARI *et al*, 1995; SANDER, 2003; CUNHA, 2003; GREGORY, 2006). Essa influência tem sido verificada por meio da regulação de rios (construção de represas e açudes), pela alteração do nível de base dos rios (por meio de obras de engenharia) e por medidas de controle de inundação na alteração da densidade de drenagem. A intensificação da atividade humana sobre os cursos fluviais através da intervenção direta ou indireta tem causado impacto ao longo de toda extensão dos cursos fluviais (DREW, 1989; BROOKES, 1996; BRAVARDE PETTS, 1996; STEIGER et al, 1998; GURNELL E DOWNWARD, 1994; MAHESHWARI *et al*, 1995, TUCCI, 2001). Considerando esses aspectos, Brookes (1996) relaciona as principais intervenções (diretas e indiretas) executadas ao longo de sistemas hidrográficos (QUADRO 1).

O processo de utilização do solo tem sido feito de forma acelerada, causando aguda degradação no meio ambiente. Os canais fluviais que drenam da cidade de Boa Vista tem sido palco de inúmeras alterações ambientais ocorridas ao longo das últimas décadas.

Fernandez et al (1998 e 1999) e Sander (2003), estudando canais de baixa ordem no Oeste do Paraná, apresentaram impactos ambientais importantes em canais fluviais decorrentes da intervenções diretas ou indiretas. Esses autores verificaram ainda que as modificações feitas no traçado dos canais concomitantes com o desmatamento ocorrido nas últimas décadas tiveram um papel importante na alteração dos comprimentos dos canais fluviais na sub-bacia.

Assim, este capítulo busca fazer uma avaliação sobre dos impactos decorrentes da urbanização da área da bacia do igarapé Caranã. Foi utilizado como parâmetro para avaliação dos efeitos da urbanização e das intervenções diretas na rede de drenagem do igarapé Caranã a Bacia do igarapé Carrapato, esta localizada em uma área rural próxima. Ambas apresentam características geomorfológicas e hidrológicas parecidas, com um pequeno desnível topográfico no seu perfil longitudinal, especialmente em suas nascentes, ocupadas por importantes sistemas paludais.

A CIDADE DE BOA VISTA E ADJACÊNCIAS

Apesar do processo de ocupação da área que compreende a cidade de Boa Vista ter

começado ao final do Século XVIII (SILVA, 2007), o crescimento urbano tornou-se mais intenso nos últimos cinquenta anos. Na década de 1960 a população desta cidade era de 11,5 mil habitantes (SILVA; SILVA, 2004) e em 2007 atingia aproximadamente 250 mil habitantes (IBGE, 2009). O Crescimento de Boa Vista vem ocorrendo principalmente sobre bacias de pequena ordem, que desembocam diretamente no rio Cauamé (parcelas norte e oeste) e no rio Branco (parcelas leste e sul). Outra questão de suma importância é que Boa Vista está inserida sob o domínio geomorfológico da Depressão Boa Vista, caracterizado na maior parte por vertentes de baixa e média declividades e fundos de vale rasos (IBGE, 2005a), principalmente nos tributários do rio Cauamé sobre a influência da Formação Boa Vista (IBGE, 2005b).

Estas características estabelecem uma maior parcela de área da bacia comprometidos pelos mananciais (áreas de nascentes), representados principalmente pela ocorrência de importantes sistemas paludais (ambientes mal drenados) que apresentam em vários pontos de conexão com bacias vizinhas (nascentes compartilhadas) (SANDER et.al, 2008, e estudos desenvolvidos pelos laboratórios de Hidrosedimentologia e Ciências Atmosféricas do Projeto Hydros, da UFRR). Dadas às características das áreas de fundos de vale (amplas e planas), associado ao clima local, as inundações nestas regiões são freqüentes e apresentam naturalmente forte variação espacial no espelho d'água e afloramento do lençol freático local, tornando inadequado a utilização das áreas próximas ao canal dos igarapés. Na bacia do igarapé Carrapato há ocorrência de áreas mais elevadas na parcela centro-oeste, área sobre o domínio da Formação Apoteri (IBGE, 2005b).

O clima da região é do tipo Aw (classificação de Köppen), sendo do tipo tropical típico de savana, com estação chuvosa concentrada nos meses de verão (boreal) e inverno seco, com estiagem média entre 5-6 meses, com pluviosidade média de 1800 mm anuais. Neste sentido, Evangelista *et. al.* (2008), estudando a distribuição de chuvas no estado de Roraima, verificaram que, na capital, 80 % dos totais anuais de pluviosidade acontecem entre abril e setembro, sendo o período de outubro - março caracterizado por um forte déficit hídrico. Por consequência disso, há uma forte redução dos níveis freáticos e também dos volumes escoados pelos cursos de água na região.

Segundo o IBGE (2005c, 2005d e 2005b), na área em há o predomínio de vegetações do tipo Savana Parque com floresta de galeria nas área de domínio de solos dos tipos latossolo amarelo, argissolos acinzentados e neossolos quartzarênicos, nos domínios de sedimentos inconsolidados arenosos da Formação Boa Vista. Já na parcela centro-oeste da bacia do igarapé Carrapato, há a presença de Savanas Arborizadas com floresta de galeria, onde há a ocorrência de solos dos tipos latossolos vermelhos, nitossolos vermelhos e neossolos litólicos, resultantes do processo de meteorização de lavas de natureza basáltica, andesítica e diabásicos da Formação Apoteri.

A bacia do Caranã drena uma área de 38,72 km², sendo afluente (margem direita) do baixo rio Cauamé. Está bacia situada na porção oeste de Boa Vista e tem pouco mais de 56 % (estimativa no ano de 2006) de sua área urbanizada (FIGURA 01). Acompanhando o processo de urbanização da bacia tem se verificado mudanças na densidade de drenagem, principalmente na alteração do traçado e morfologia dos canais, na drenagem

de lagos e áreas pantanosas. Pela velocidade de alterações verificadas nesta bacia, dada a sua importância espacial frente à estrutura urbana de Boa Vista, o igarapé Caranã tem se destacado na realização de estudos ambientais, tais como monitoramento de sua descarga e de parâmetros físicos, alteração de usos de solo e realização de atividades voltadas à educação ambiental.

A bacia do igarapé Carrapato drena uma área aproximada de 95 km², sendo também afluente (margem esquerda) do baixo rio Cauamé e é eminentemente rural. Pela sua proximidade com Boa Vista emprega funções associadas à produção de alimentos, especialmente no desenvolvimento da pecuária

de corte, horticultura e, nos últimos anos, o desenvolvimento de projetos ligados a fruticultura. Devido o forte déficit hídrico na região na estação secas as duas últimas atividades citadas são desenvolvidas com técnicas de irrigação (SANDER et. al., 2008).

INTERVENÇÕES INDIRETAS AOS CANAIS

Como já destacado, intervenções indiretas são aquelas resultantes do uso da terra/solo ou da drenagem de terras (BROOKES, 1996). Os efeitos mais conhecidos deste processo envolvem um aumento do escoamento superficial sobre a área de captação, e, em consequência disso, uma

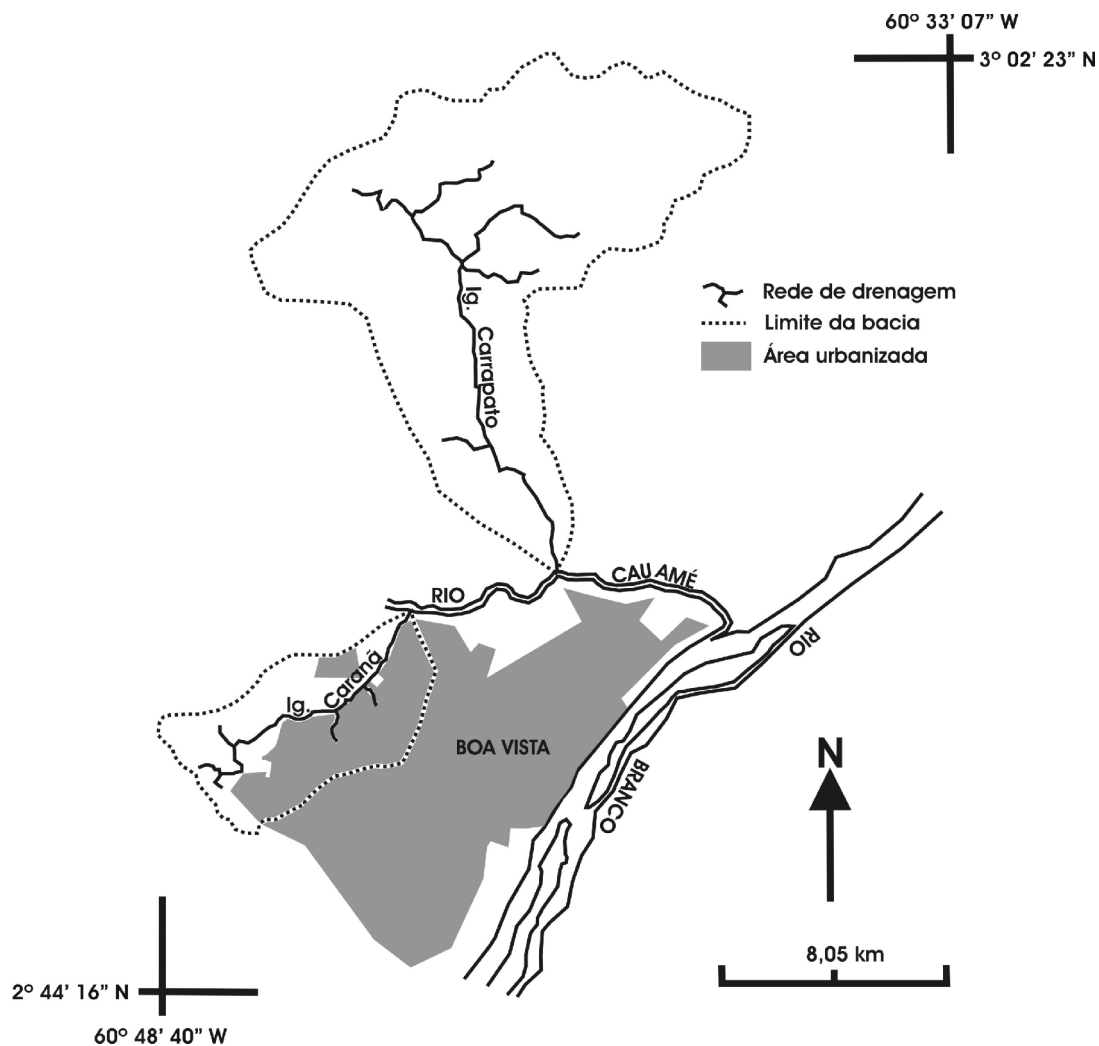


FIGURA 01 - Localização das bacias dos igarapés Caranã e Carrapato. Elaborado pelos autores.

ampliação das taxas erosão e da carga sedimentar. No Brasil, os trabalhos retratam que as mudanças mais comuns têm sido por intermédio do uso do solo, vinculados principalmente ao desflorestamento e ao processo de urbanização. Todavia, poucos são os casos no país em que há a busca do desenvolvimento das atividades humanas com um planejamento vinculado à manutenção das condições de estabilidade dos ambientes envolvidos.

Apesar de muitas atividades humanas numa bacia de drenagem não envolverem diretamente os cursos fluviais, seus efeitos podem ser sentidos e, facilmente visualizados ao longo de todo o curso do canal, ou parte dele, dependendo da dimensão e localização da intervenção. Os tipos de impactos mais conhecidos estão relacionados à ocupação da área da bacia de drenagem - sem a intervenção direta sobre o curso fluvial:

Alterações do regime de descarga do canal – se deve a diminuição de água evapotranspirada pela remoção da vegetação, seguido pelo comprometimento de parte da capacidade de infiltração e o aumento do escoamento superficial. A somatória destes efeitos resulta na ampliação dos volumes totais escoados pelo rio. Contudo, esses volumes escoam de forma irregular, com maiores volumes de água durante a ocorrência de chuvas (aumento do pico e frequência de inundações) e menores descarga nos períodos de vazante (resultado da menor recarga do lençol freático pela perda da capacidade de infiltração do solo);

Aumento dos sedimentos transportados pelo fluxo - oriundos da ampliação do

fornecimento de sedimentos erodidos nas regiões de encostas e áreas de captação. Representam cargas sedimentares a serem transportadas em solução (matéria dissolvida no uso de defensivos e adubação química em áreas agrícolas e de metais pesados em áreas urbanizadas), suspensão (caracterizados por sedimentos de tamanho argila e silte) e saltação/rolamento (materiais mais pesados do tipo areia ou partículas de calibres maiores);

Assoreamento do canal e entulhamento de áreas de nascentes - resultantes do aumento do escoamento superficial e do carreamento de materiais erodidos das áreas de encostas. A acumulação dos sedimentos na calha do canal ou fundo de vales deve-se a redução do gradiente da passagem da encosta para as várzeas, pela falta de competência do curso fluvial em escoar os sedimentos fornecidos a ele ou pela diminuição do fluxo do canal após a ocorrência de eventos pluviométricos;

Erosão da calha do rio e aumento da extensão de trechos de canais - acontece, de forma geral, pelo aumento do fluxo do rio durante a ocorrência dos eventos pluviométricos, oriundos da ampliação das taxas de escoamento superficial. Esse processo é mais grave em canais que apresentam maior gradiente topográfico ou em bacias com forte grau de impermeabilização. A elevação das taxas de escoamento superficial podem resultar ainda no incremento da extensão dos canais por erosão remontante. Esse processo evolui pela formação de caminhos de escoamento de água, evoluindo de sulcos ou ravinas (seguimentos efêmeros) para o estágio de

voçoroca (quando atinge o lençol freático e pode ter fluxo intermitente ou perene);

Varição da extensão do fluxo - também chamado de migração de nascentes, envolve principalmente as alterações no uso do solo nas áreas de cabeceira de drenagem. A perda de permeabilidade das áreas de encostas determina uma maior variação dos níveis freáticos locais. Assim, durante a ocorrência de períodos mais secos há uma redução do nível freático, promovendo a retração da extensão dos fluxos de água na rede de drenagem;

Contaminação da água - na maior parte proveniente da contaminação dos reservatórios subterrâneos no uso de defensivos agrícolas, do vazamento de combustíveis fósseis, da infiltração de chorume de depósitos de lixo ou de cemitérios, ou lançamento de esgoto doméstico e residencial *in natura* junto ao curso do canal. Pode também ser resultante do escoamento superficial, que lava o chão, carregando todo tipo de partículas depositadas sobre o terreno, apresentando cargas mais nocivas em ambientes urbanizados e industrializados.

É necessário lembrar também que nem todo processo de impacto indireto à rede de drenagem é fruto do uso do solo da bacia. O processo de circulação atmosférica também pode contribuir na condição ambiental do canal, deslocando sedimentos ou poluentes de localidades vizinhas e as depositando junto a rede de drenagem. Os casos mais graves acontecem em locais com rotas de ventos que passam por grandes cidades ou importantes complexos industriais.

Os efeitos da ocupação das áreas de

encostas sobre a rede de drenagem acontecem de forma singular em cada bacia. Esses efeitos são resultantes da somatória dos atributos físicos (naturais) e antrópicos em cada bacia. Os atributos físicos envolvem basicamente o padrão de chuvas da região (determinando uma distribuição regular ou irregular das chuvas), a vegetação original (estabelece se os efeitos na circulação de água nas encostas serão maiores ou menores com a sua retirada), as características do solo (que pode favorecer ou dificultar o processo de infiltração de água das chuvas pela sua textura e espessura dos solos), pela forma e declividade das vertentes (que podem favorecer a formação de escoamento superficial) pela geologia (que favorece ou não o armazenamento de grandes volumes de água) e a forma das bacias (quando a predominância de vertentes mais curtas geralmente dificultam a formação de escoamento superficial).

Os atributos antrópicos, por sua vez, vão gerar maiores ou menores efeitos de acordo com a extensão da área afetada (ocupando parte ou toda área da bacia), pelo tipo de atividade realizada (tipo de culturas, urbanização), pelo grau de impermeabilização e compactação dos solos (reflete a porcentagem total de áreas a infiltração é mínima ou inexistente), pela drenagem agrícola ou urbana de águas pluviais (ou esgotos domésticos), associando estes a características físicas da bacia.

A partir da segunda metade do século XX, o Brasil tem vivido um processo intenso de urbanização em grandes centros e de desenvolvimento de novas cidades no meio rural. Os primeiros impactos do desenvolvimento urbano têm envolvido inicialmente a construção de vias de tráfego e

terraplanagem, promovendo o desenvolvimento de fortes processos erosivos e o aumento da carga sedimentar transportado junto aos cursos fluviais. Todavia, a construção de edificações e a pavimentação da área urbanizada, ocasionando a impermeabilização da bacia, têm diminuído progressivamente as taxas de erosão. No entanto, associado à impermeabilização está a ampliação do escoamento superficial e da frequência de inundações, causando a erosão e a ampliação da seção transversal dos canais.

INFLUÊNCIA DIRETA EM CURSOS FLUVIAIS

Essa categoria de ação engloba modificações impostas pelo homem junto à rede de drenagem. Brookes (1996), definiu as

modificações diretas nos canais de rios aquelas que incluem a construção de diques, represas e reservatórios, a canalização e retificação, a dragagem de canais e a irrigação diversificada. Ao longo das últimas décadas também tem se tornado comum à execução de medidas pontuais de córregos localizados em áreas ocupadas por malhas urbanas.

A alteração de canais, resultante do desenvolvimento humano e dos recursos hídricos tem sido incontestavelmente extensivo. Drew (1989) destacou os níveis e pontos de intervenções junto ao ciclo hidrológico e à rede de drenagem. Neste sentido, Brookes (1996) listou os principais impactos diretos do homem sobre os canais fluviais em duas categorias principais, onde um abrange a regulação e outro o

Tipo de controle	Técnicas	Efeitos subsidiários e realimentadores
Regularização da descarga	Reservatórios nas cabeceiras Comportas	Novo ambiente aquático (lago) – ecologia Aumento da sedimentação Migração de peixes interrompida Aumento da evaporação, novo clima local
Armazenagem de água	Reservatórios de acumulação Acumulação em estuários	Igual ao anterior Alteração do ambiente estuarino, sobretudo via sedimentação, destruição das terras úmidas do estuário Alteração da deposição/erosão/correntes costeiras
Aumento do fluxo	Entrada de água subterrânea Transferência interbacia Controle do escoamento da bacia	Abaixamento dos níveis de água subterrânea Mistura de águas quimicamente diferentes Alteração da geomorfologia fluvial
Diminuição do fluxo	Recarga artificial Transferência interbacia Controle do escoamento da bacia	Mistura de águas quimicamente diferentes Elevação dos níveis de água subterrânea Alteração da geomorfologia fluvial
Alteração do canal	Aprofundamento, alargamento Retificação Concretagem Desvios	Alteração das velocidades de escoamento, com erosão e sedimentação Impede a troca de água entre margens e rio, e vice-versa Altera a hidrologia do solo e, assim, o escoamento para o rio

Quadro 02 – Controle de rios: métodos e efeitos.

Fonte: Drew (1989).

gerenciamento dos canais (QUADRO 1).

Brookes (1996) também destaca que as medidas geométricas do canal (representadas pela largura, profundidade e declividade) estão associadas diretamente à condição de estabilidade ambiental de sua área de captação. À medida que são executadas mudanças na circulação da água do sistema fluvial, as medidas geométricas do canal se ajustarão conforme essa nova realidade (CHRISTOFOLETTI, 1981; BROOKES, 1996). As alterações no padrão e na mobilidade do canal têm influenciado significativamente o habitat dos rios, e de suas planícies de inundação (BROOKES, 1996). O quadro 02 apresenta os principais métodos e efeitos no controle de rios destacados por Drew (1989).

Manipulação e controle de rios

O homem, durante milhares de anos tem manipulado e feito uso de medidas de controles nos rios, porém essa manipulação tem crescido paralelo a evolução do conhecimento empírico e a sistematização do conhecimento humano. O uso e o desenvolvimento de muitas práticas de controle dos recursos hídricos tem ocorrido no sentido de suprir as demandas decorrentes do desenvolvimento das sociedades. Dentre as medidas de controle diretas aplicadas a pequenos cursos de água (córregos/igarapés) e rios, as mais conhecidas são:

Estruturas de diques: é uma prática bastante desenvolvida em países da Europa e nos EUA. Conforme Bravard e Petts (1996) a construção de diques tem sido executada a fim de corrigir o traçado de canais assim como para promover a proteção contra danos de erosão ou inundação em áreas cultivadas e em centros urbanos. Em rios de maior porte, a construção de diques também tem seus objetivos voltados

à elevação de baixos níveis de água, possibilitando a navegação durante todo o ano.

Dragagem: é uma técnica bastante utilizada para mineração, a extração de areia, de cascalhos e a exploração de minerais preciosos, como o ouro. A dragagem tem sido utilizada também para a limpeza de canais de rios, lagos e mares, para a desobstrução dos fluxos e a manutenção de trechos para a prática da navegação. A dragagem de canais para fins de navegação consiste em corrigir as irregularidades e aprofundar o leito dos canais e lagos. O impacto gerado devido ao uso de dragas varia conforme a área, os fins do controle executado e características do sistema atingido.

Represas (barragens) e reservatórios: A construção de represas e reservatórios, por sua vez, é uma prática bastante difundida em todos continentes, tendo usos bastante variados e associados principalmente à geração hidroelétrica, irrigação, controle de inundação e lazer. No Brasil, a construção de represas é voltada principalmente à geração de energia. Em regiões como o Nordeste brasileiro, a construção de reservatórios é também vinculada ao armazenamento de água para irrigação de lavouras e subsistência da população durante períodos de seca. Em regiões de maior umidade (geralmente em áreas de cabeceira de drenagem) pequenos reservatórios denominados de “açudes” tem sido construídos voltados à criação de peixes e à dessedentação de rebanhos bovinos, ovinos, etc.

A construção de represas, principalmente os grandes reservatórios de água, tem gerado impactos sérios que Bravard e Petts (1996) classificam em duas categorias: dos impactos ocorridos na área do reservatório; e dos que acontecem nos rios, em

trechos à jusante do represamento. A construção de um reservatório institui um novo nível de base para o rio. Os processos à montante e à jusante da barragem passam a ser distintos (FIGURA 02).

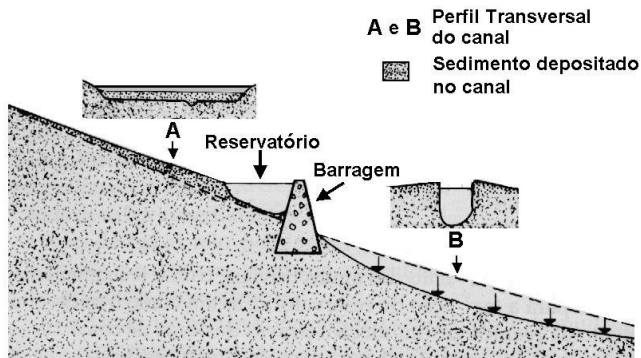


FIGURA 02 - Rompimento do equilíbrio natural do rio em função da construção do reservatório. A montante ocorre a agradação da calha fluvial e a jusante o aprofundamento do canal.

Fonte: Adaptado a partir de Cunha (1995).

A área do reservatório passa a representar um grande depósito de sedimentos erodidos e trazidos de encostas à montante. As altas taxas de deposição têm reduzido grandemente a capacidade de muitas hidroelétricas (DREW, 1989; CUNHA, 1995; BRAVARD; PETTS, 1996). Neste sentido, muitas tentativas de redução da sedimentação de reservatórios têm sido aplicadas mediante a adoção de políticas de conservação de solo, construção de estruturas para retenção de sedimentos e à reconstituição da vegetação ciliar nas áreas drenadas pelos rios em setores à montante. Outros impactos são provenientes das condições de fluxo do reservatório, como a distribuição da temperatura e a profundidade, que favorecem a reprodução e manutenção de determinadas espécies aquáticas e prejudicam a outras.

Em trechos localizados à jusante da barragem o processo é oposto ao da área do reservatório. Quase a totalidade dos sedimentos erodidos nas áreas à montante é

depositado no reservatório. Neste sentido, abaixo da barragem passa a ocorrer um processo intenso de erosão no leito do canal e em algumas vezes nas suas margens. Além disso, com a regulação do fluxo, tende a diminuir a frequência de inundações em setores à jusante. Em muitos casos, a redução da frequência de inundações tem gerado sérios impactos no ecossistema das planícies de inundação, bem como no próprio canal. Outro problema é o fato de as barragens representarem uma barreira física na migração dos peixes durante a piracema.

Canalização, retificação: Estes são os controles mais comuns executados pelo homem junto aos cursos fluviais. A canalização e retificação envolvem a manipulação de uma ou mais variáveis hidrológicas de declividade e rugosidade, largura e profundidade, onde o efeito da realimentação pode ser iniciado na geração de um novo estado de equilíbrio (BROOKES, 1996). Segundo esse autor, a canalização pode induzir à instabilidade não somente nos trechos de canais aperfeiçoados, mas também nos trechos à montante e à jusante do trecho modificado. Na canalização e retificação, há geralmente o aumento da declividade do leito decorrente da diminuição do percurso e, em consequência disso, ocorre um aumento na velocidade do fluxo, ampliando a competência do canal, o transporte de sedimentos ao longo do traçado alterado e a deposição em pontos à jusante da área alterada. O aumento da área da seção transversal, como resultado da incisão e alargamento do canal, resulta na modificação de inundações à jusante (STEIGER et al, 1998).

Conforme Drew (1989), a construção de drenagens traz consideráveis efeitos hidrológicos. O objetivo das drenagens, segundo esse autor, é duplo, servindo tanto

para reduzir os níveis sazonais ou permanentes do nível freático, quanto para a remoção do excesso de água da terra por meio de canais artificiais (canalização do fluxo), mais depressa do que em condições naturais. O impacto imediato gerado pela construção de canais artificiais é o aumento da densidade de drenagem, onde há uma redução da distância que uma gota de chuva leva para chegar até o curso fluvial. Outra consequência é a diminuição do depósito total de água no solo e a modificação dos níveis hidrostáticos, aumentando o coeficiente de escoamento da água do solo para os canais de drenagem. Assim, a água alcança os canais mais depressa e em maior quantidade, diminuindo o volume disponível para distribuição ou armazenamento em outras partes do sistema hidrológico. Drew (1989) ainda demonstra os efeitos da canalização de fluxos numa bacia em uma região cárstica localizada na Irlanda. O impacto mais sério foi a grande perda de água, precipitada para o sistema fluvial devido ao eficiente sistema de drenagem, determinando a escassez de água durante alguns períodos, em consequência do rebaixamento do nível hidrostático.

O fluxo sobre as margens tende a diminuir, afetando o sistema de funcionamento da planície de inundação, tais como o padrão de vegetação. A incisão do canal altera o ciclo hidrológico na planície de inundação. A inundação sobre as margens do canal e o nível de água subterrânea, que está em direta interação com a água do canal, é rebaixado significativamente. À medida que é alterado o ciclo de inundação, o ciclo de nutrientes também sofre modificações. Steiger et al (1998) demonstra que ocorrem decréscimo de nutrientes na planície de inundação, vinculado à diminuição da frequência de

inundações. Esse autor destaca que grande parte de diversos tipos de nutrientes são repostos na zona ripária através de inundações e deposição de sedimentos.

Na canalização, há a modificação da morfologia do leito do canal corrigindo as suas irregularidades (rugosidades). Neste sentido, são destruídas formas denominadas de seqüências de depressão e soleiras (que promovem uma variedade de condições de fluxo satisfatórias a reprodução de organismos que servem de alimento para peixes) (FIGURA 03). As depressões representam também áreas de abrigo, onde os peixes se protegem dos trechos com alta velocidade, essas condições são ausentes em rios canalizados.

Impactos gerados a partir da canalização de cursos fluviais e da degradação da vegetação marginal ao canal são representados na figura 04.

Irrigação: a irrigação, em seu aspecto mais simples, diz respeito à manipulação de recursos hídricos, obtidos geralmente de reservatórios de água ou diretamente do rio (por gravidade ou bombeamento), para o suprimento da demanda de água em sistemas de produção agrícola por meio de canais artificiais. Civilizações antigas, como as do Egito e China, já manipulavam os recursos hídricos através da irrigação. No Egito, durante as cheias do rio Nilo, o fluxo excedente era aproveitado por meio da construção de valas artificiais na produção de alimentos. Drew (1989) descreve o processo de domesticação do rio Nilo, onde destaca a ampla utilização do fluxo deste curso fluvial na irrigação de terrenos áridos. Todavia, esse autor também descreve os impactos gerados pela manipulação do rio Nilo, que vão desde a salinização de terras, a perda de águas por evaporação, até destruição das planícies de

inundação e o comprometimento do fluxo (redução do fluxo) em setores mais à jusante do curso fluvial.

Com o comprometimento e contaminação (por resíduos químicos e orgânicos) de muitos sistemas fluviais, o uso da água tem se tornado limitado para fins de irrigação (TUCCI, 2001).

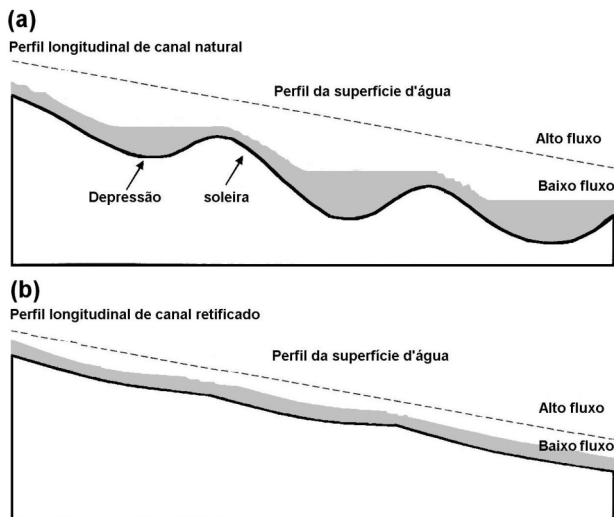


FIGURA 03 – Representação de perfil longitudinal de canais fluviais: (a) a morfologia do leito do córrego em condições naturais (em equilíbrio); (b) morfologia do leito do canal após processo de retificação
Fonte: Adaptado a partir de Leopold (1997).

Controles de inundação em áreas urbanizadas: devido aos problemas gerados pelo crescimento desordenado dos setores urbanos sobre ambientes fluviais, tem sido comum a adoção de medidas de controles em cursos fluviais e em sua planície para amenizar os efeitos gerados pela impermeabilização e formação de escoamento superficial. A alteração dos componentes hidrológicos através da instalação de malhas urbanas tem encurtado o tempo de permanência da água no sistema fluvial e aumentado o pico e a frequência de inundações durante a ocorrência de eventos de chuvas torrenciais. Em decorrência dos prejuízos causados por inundações em áreas urbanizadas, diversas

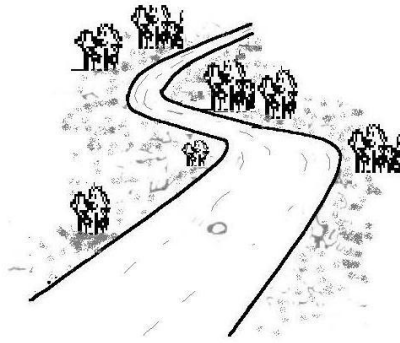
medidas de controles diretas e indiretas para a redução de danos e prejuízos à sociedade civil têm sido utilizadas. Tucci (2001), cita medidas utilizadas para redução dos efeitos da inundação em áreas urbanizadas. Conforme esse autor, as medidas de controle atuando direto sobre a rede de drenagem podem ser de três tipos: que aceleram o escoamento (construção de diques, aumento da capacidade da descarga dos rios e corte de meandros); que retardam o escoamento (reservatórios e bacias de amortecimento); e que desviam canais (são obras como canais e desvios).

Nos EUA, o dispositivo mais usual é o reservatório, que pode ser de retenção ou de detenção. O reservatório de retenção mantém uma lâmina d'água e é utilizado para controlar volumes e qualidade da água. O reservatório de detenção é mantido a seco e utilizado somente para controle de volume. Esses reservatórios são adaptados à paisagem urbana. Ao contrário dos EUA, no Brasil a medida mais comumente utilizada em áreas de ocorrência de inundações é a canalização (já discutida anteriormente).

MUDANÇAS ANTRÓPICAS NA BACIA DO IGARAPÉ CARANÃ

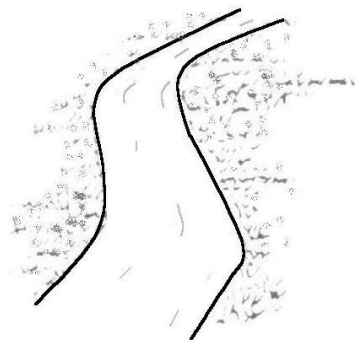
Ao final da década de 1980, a bacia do igarapé Caranã passou a ser incorporada a malha urbana de Boa Vista, seguindo uma tendência de forte crescimento da cidade iniciada em meados da década de 1960, através de intenso fluxo migratório proveniente em sua maioria dos estados do Nordeste e Norte do Brasil (SILVA; SILVA, 2004). O relevo bastante plano, os baixos preços de terrenos e chácaras em áreas periféricas ao centro da cidade (sendo boa parte fruto de invasões) e a longa estação seca da localidade (dificultando a visualização de problemas de áreas

CANAL NATURAL

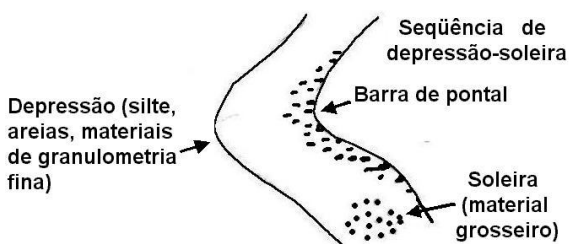


A temperatura da água é satisfatória: boa cobertura para a vida dos peixes; variação mínima na temperatura; entrada abundante de folhagens.

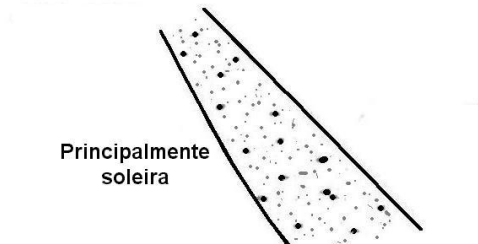
CANAL ARTIFICIAL



Aumento da temperatura da água: nenhuma para a vida de peixes; rápidas flutuações diárias e sazonais na temperatura; redução da entrada de folhagens.



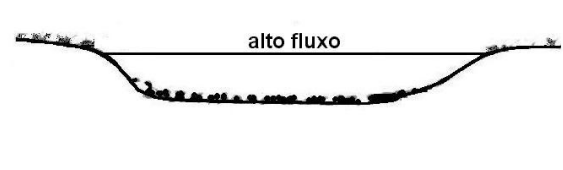
A ordenação de materiais grosseiros promovem ambientes diversificados para muitos organismos do córrego



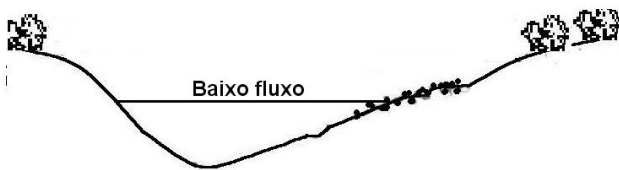
Desordenação de materiais de fundo: redução de habitats; poucos organismos



Velocidade da água diversificada; alta em depressões, baixa em soleiras, áreas de descanso abaixo dos bancos ou atrás de grandes rochas, etc



Pode apresentar altas velocidades de fluxo que alguns tipos de vida aquática podem resistir. Lugares de descanso ausentes ou em pequenas quantidades.



Profundidade da água suficiente para sustentar peixes e outros tipos de vida aquática durante estações secas.



Profundidade da água insuficiente para sustentar a diversidade de peixes e vida aquática durante estações secas. Poucos ou a inexistência de depressões (tudo soleira)

FIGURA 4 – Comparação da morfologia e hidrologia de um córrego natural com um curso d'água canalizado. Fonte: Adaptado a partir de Brookes (1996).

suscetíveis a inundação) tem favorecido o processo de desenvolvimento horizontal da cidade e a ocupação das sub-bacias da região. No ano de 2006, mais da metade da área da bacia do igarapé Caranã já estava ocupada (FIGURA 05).

Conforme o processo de ocupação se desenvolve sobre as bacias, é notável a ocorrência de alterações no regime fluvial. Contudo, o impacto sobre a circulação da água é variável e depende de diversos fatores como: as características naturais da bacia, a

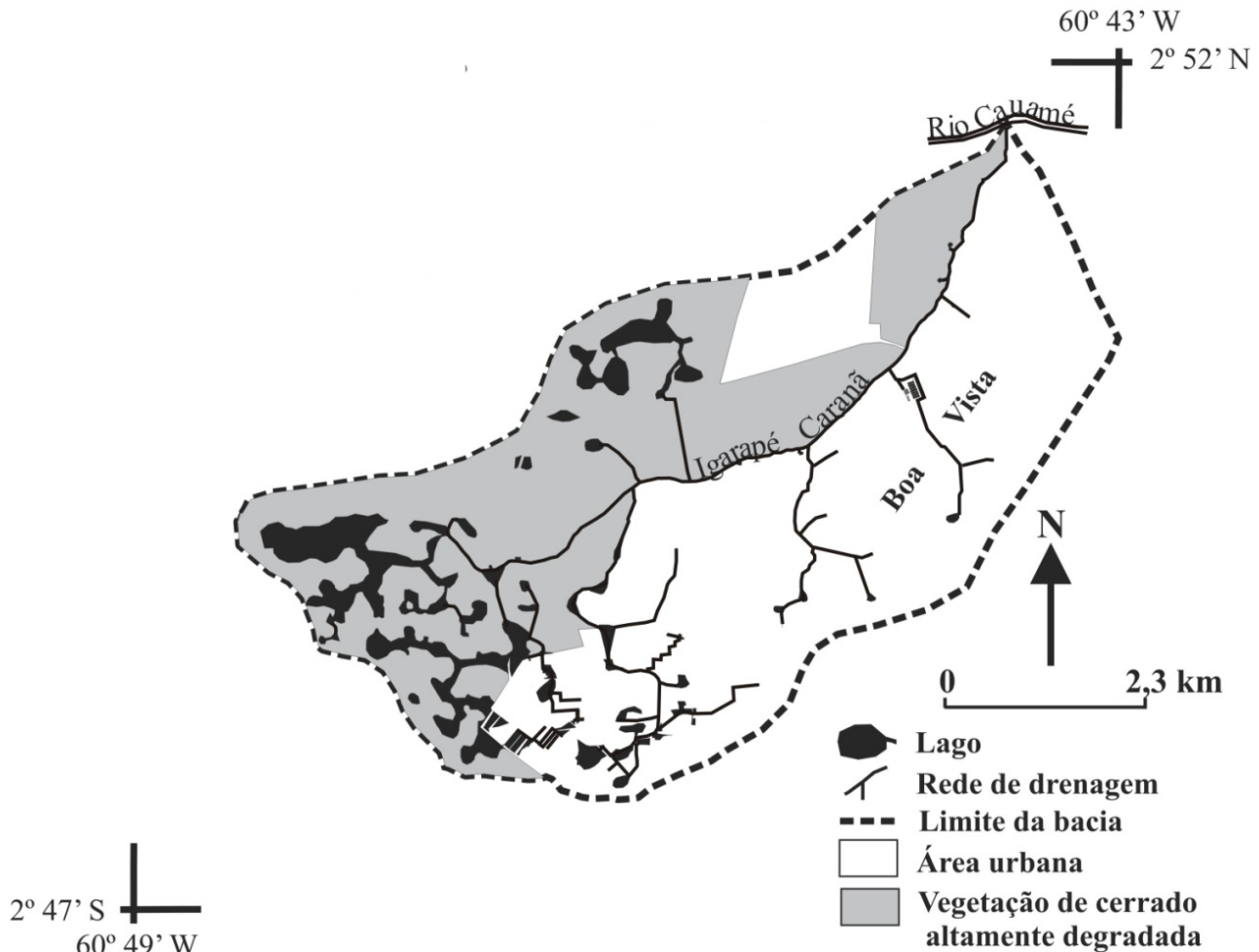


FIGURA 05 - Uso do solo na bacia do igarapé Caranã no ano de 2006.
Elaborado pelos autores.

intensidade de ocupação, o regime pluviométrico, o volume e os tipos de intervenções realizadas na rede de drenagem. Pelo fato de Boa Vista estar localizado numa área de domínio de savanas (vegetação aberta), os impactos da retirada da vegetação natural, sob o ponto de vista de circulação de água, são menores em relação às áreas florestadas, onde o processo de evapotranspiração é mais importante.

Considerando os diversos usos de solo desenvolvidos pelo homem (pastagens, culturas anuais, exposição de solos, florestas comerciais), a urbanização é a que gera os efeitos mais graves sobre a circulação de água na bacia hidrográfica. Além do comprometimento quase que total da transpiração de plantas em algumas áreas, o

deslocamento da água é afetado ainda pelo nível de compactação e pelo processo de impermeabilização dos solos. Assim, a água que deixa de ser transpirada pelas plantas e que não infiltra pela perda de permeabilidade do solo acaba por circular sobre a forma de escoamento superficial. Esse fenômeno é responsável pelo desenvolvimento de processos erosivos, inicialmente sobre a forma de sulcos (pequenas incisões no solo), passando para o estágio de ravinas (podendo atingir vários metros de profundidade) e em algumas situações podendo formar voçorocas (quando a feição erosiva atinge o nível freático), dependendo do também do gradiente das vertentes que determina a velocidade do fluxo sobre as áreas de encostas. Sander (2003), estudando o processo de

urbanização no córrego Iracema (um canal de baixa ordem na região oeste do Paraná), verificou que praticamente 97 % de sua área estava ocupada pela cidade e que 57 % da superfície da bacia estava impermeabilizada. Neste sentido, se considerarmos que cada 1 mm de chuva equivale a 1 litro de água precipitada por m², numa área com 1000 m² haveria uma entrada de 1000 litros na bacia. Assim, se esta bacia tivesse 50% de sua área impermeabilizada, sem considerar eventuais perdas de água (por evaporação, ou armazenamento de parte do fluxo pelo caminho), 500 litros da água precipitada estariam compondo o fluxo de escoamento superficial.

Desta forma, o fluxo total de água disponibilizada ao curso fluvial durante a ocorrência dos eventos pluviométricos está relacionado diretamente ao grau de impermeabilização da bacia, onde as bacias mais impermeabilizadas apresentarão naturalmente maiores volumes escoados em superfície. Os reservatórios subterrâneos, por sua vez, apresentam redução de sua recarga pela diminuição das taxas de infiltração das vertentes. Assim, mesmo que uma bacia tenha a totalidade de sua área ocupada por uma cidade, esta pode apresentar ampliação da intensidade e frequência de cheias à medida que há o aumento da área impermeabilizada. É por este motivo, que as cheias em grandes cidades são maiores e mais frequentes. Neste sentido, o entendimento do grau de impermeabilização, associado às características físicas da bacia (pluviosidade, geomorfologia, pedologia, densidade de drenagem), são necessários para a definição dos impactos da urbanização sobre o escoamento fluvial.

Mesmo que pouco mais de 50 % da bacia

do igarapé Caranã esteja urbanizado, o grau de impermeabilização da bacia ainda não é elevado. Muitas áreas são compostas por terrenos amplos com construções pequenas e sem calçamento externo, com a ocorrência ainda de uma diversidade de chácaras e com a maioria das ruas sem pavimentação. Apesar disso, com o início da estação chuvosa são frequentes os casos de residências com problemas de alagamento. Deve-se destacar que 84 % das precipitações anuais acontecem num período de seis meses (EVANGELISTA et al. 2008).

Pelo fato de estarem localizados numa bacia sedimentar, os igarapés da região apresentam perfis longitudinais de baixo gradiente, apresentando comumente desníveis abaixo de uma dezena de metros das áreas de nascente até sua desembocadura. Muitas bacias da região, assim como a do igarapé Caranã, apresentam complexos sistemas lacustres localizados junto às áreas de cabeceira de drenagem. Partes destes ambientes paludais são representados por lagos que alimentam mais de um igarapé (nascentes compartilhadas). Este fenômeno já foi descrito por Sander et. al. (2008), quando estes autores discutiram a importância de ambientes paludais para a manutenção da descarga do igarapé Carrapato. Trabalhos desenvolvidos pelos laboratórios de Hidrosedimentologia e Ciências Atmosféricas do Projeto Hydros/UFRR, mostraram que o igarapé Caranã apresenta compartilhamento de nascentes com os igarapés Grande, Paca, Waizinho, Auai Grande e Frasco (FIGURA 06).

Como parte dos corpos lacustres localizados na área urbana de Boa Vista apresenta armazenamento intermitente, estes acabam sendo incorporados com rapidez à área urbana por invasões. Parte destas áreas



FIGURA 06 - Crescimento da cidade de Boa Vista sobre a cabeceira de drenagem dos igarapés Caranã (norte-nordeste) e Grande (sudeste), período 02/2005. Elaborado a partir do Google Earth, 2009.

são demarcadas em lotes e chácaras e vendidas de forma irregular para famílias recém chegadas ao Estado, ou do interior para a capital, ou até pessoas de baixo poder aquisitivo já residentes na cidade. Entre as ocupações mais recentes na bacia, destaca-se o bairro Conjunto Cidadão, situado na cabeceira do igarapé Caraná (FIGURA 07). Por serem áreas baixas e planas, com o início da estação úmida, estas são alagadas com facilidade à medida que o fluxo de água ocupa parte de seus antigos leitos, causando danos materiais e a saúde dos munícipes aí residentes.

MUDANÇAS DO PADRÃO DE DRENAGEM DO IGARAPÉ CARANÃ

A manipulação da rede de drenagem é prática bastante antiga. Ela acontecia inicialmente na fixação das sociedades a beira dos cursos fluviais e as intervenções eram voltadas à produção de alimentos. Com o forte

crescimento populacional em todas as partes do planeta nas últimas décadas e a forte evolução do processo de urbanização e a ampliação das atividades agrícolas tem intensificado o processo de intervenção direta nos cursos fluviais.

O crescimento populacional desordenado da cidade de Boa Vista, desproporcional ao controle da máquina pública, tem implicado na ocupação dos ambientes de várzea, lagos e trechos de canais. Este processo tem sido também observado na rede de drenagem da bacia do igarapé Caraná na drenagem de trechos lacustres e pantanosos, além da alteração do traçado dos canais. A figura 08 apresenta a rede de drenagem do igarapé Caraná em 1985, período que antecedeu a ocupação urbana da bacia, e em 2006, quando metade da bacia já estava ocupada pela cidade.

Além afetar o processo de circulação de



FIGURA 07 - Crescimento de bairros irregulares sobre ambientes lacustres, Conjunto Cidadão, Boa Vista Roraima. O tracejado branco representa o perímetro dos lagos já urbanizados ou em vias de ocupação e o tracejado áreas lacustres ainda não ocupadas.

Fonte: Acervo Hydros, março de 2007.

água ao longo das vertentes do igarapé, com o processo de ocupação das margens dos canais é observado profundas modificações na estrutura da rede de drenagem. Sander (2003), estudando o processo de urbanização do córrego Iracema, no oeste do Paraná, verificou que há uma tendência de diminuição de ambientes mal drenados (pântanos e lagos naturais) e aumento da densidade de drenagem. Drew (1989), apresentou os impactos resultantes da drenagem de uma área pantanosa na Irlanda para fins agrícolas. A construção de drenagens naquele lugar resultou na saída mais rápida da água do sistema, determinando o rebaixamento do lençol freático da região, gerando também problemas de forte escassez de água em períodos de seca prolongada.

No igarapé Caranã foram observadas mudanças tanto na densidade de drenagem, assim como volume de superfície líquida da bacia. Observando a tabela 01, foi verificado

um leve aumento da rede de drenagem, com uma ampliação de 2,6 km em sua extensão total. Mesmo que o aumento da densidade de drenagem nesse período tenha sido baixo (pouco maior que 5 %), se comparado com os resultados apresentados por Sander (2003) e Drew (1989), a partir de 2007 a bacia do igarapé Caranã tem sofrido uma forte ampliação da drenagem de trechos de lagos e pantanosos já urbanizados, seguindo o processo de adensamento populacional dos bairros drenados pelo igarapé (FIGURA 09). Apesar de ser considerado o método mais eficiente para a aceleração da saída da água do sistema, a drenagem de ambientes lacustres em Boa Vista tem sido pouco eficiente para fins de urbanização. O baixo gradiente destes trechos torna a saída da água destes locais bastante lenta, apresentando resultados mais significativos somente a médio prazo, afetando o fluxo de base do igarapé durante a estação seca.

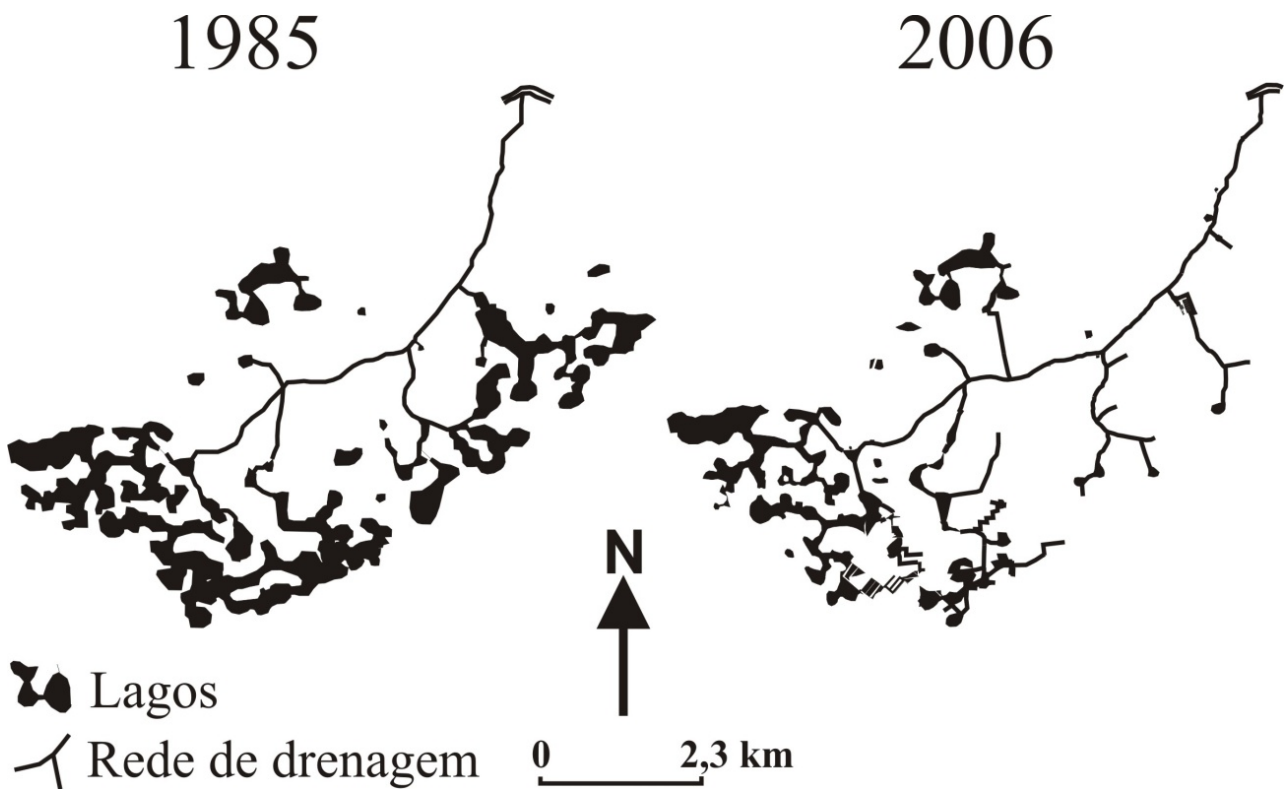


FIGURA 08 - Variação espaço temporal da densidade de drenagem do igarapé Caranã, Boa Vista, RR. No ano de 1985 toda bacia estava fora da malha urbana de Boa Vista. No ano de 2006 a parcela que compreende toda a margem direita da rede de drenagem já estava ocupada pela cidade. Elaborado pelos autores.

Período	Extensão da Rede de Drenagem (km)	Área da Bacia constituída por Lagos (km ²)
1985	51,2	6,77
2006	53,8	3,03

TABELA 01 - Características da rede de drenagem do igarapé Caraná em 1985 e 2006. Elaborado pelos autores.



FIGURA 09 - Construção de casas em trechos pantanosos no bairro Senador Hélio Campos. A drenagem destes trechos tem sido realizada no sentido de viabilizar a ocupação do local. Contudo, este tipo de intervenção apresenta efeitos pouco satisfatórios durante a estação úmida. Fotografado por Carlos Sander, junho de 2008.



FIGURA 10 - Perda de capacidade por assoreamento de afluente da margem direita do igarapé Caraná cruzado pela Av. Ataíde Teive, bairro Operário, Boa Vista Roraima. Vista sentido jusante-montante. Fotografado por Carlos Sander, julho de 2008.

Imóveis localizados dentro das depressões locais (FIGURA 09), devido aos fortes volumes precipitados durante a estação úmida, especialmente nos meses de maio a julho (período que apresenta pluviosidade média em torno de 900 mm), sofrem constantes problemas de alagamentos. O processo de impermeabilização crescente das áreas da bacia tende a ampliar a frequência e os níveis das inundações nestes locais.

Nos últimos anos têm sido comuns as práticas de ampliação da capacidade dos igarapés, retificação e o concretamento de trechos de canais. Se por um lado o aumento da seção transversal do canal aumenta o volume de água transportado pelo curso da água, este tipo de prática tem sido condenado por diversos autores (DREW, 1989; BROOKES, 1996; STEIGER et al, 1998; SANDER, 2003, 2001; CUNHA, 2003). Os efeitos resultantes destes tipos de intervenções são: a aceleração da saída do fluxo de um trecho a montante para outro a jusante, quando em caso de fortes chuvas há uma tendência de redução de cheias a trechos a montante e a jusante o aumento das inundações - esse processo pode ser agravado pelo aumento da extensão de trechos canalizados (ou da densidade de drenagem) e com o aumento do grau de impermeabilização da bacia; redução dos níveis freáticos locais, comprometendo o fluxo de base dos igarapés durante os períodos de estiagens; pode induzir a instabilidade de trechos de canais a montante e a jusante, com uma tendência de ampliação da erosão em trechos a montante, afetando o processo de deposição em trechos a jusante; comprometimento de trechos de canais; impactos em ecossistema aquáticos, relacionados ao fluxo veloz e a profundidade baixa nestes trechos durante os períodos de vazante; o concretamento dos trechos de canais

dificultam ainda o intercâmbio do lençol freático com o canal. (necessitam de intervenções com certa regularidade, devido a deposição de sedimentos ao longo dos trechos retificados, que comprometem a descarga do trecho retificado).

O comprometimento da capacidade dos canais (retificados ou não) por assoreamento em Boa Vista é preocupante. Este acontece devido ao grande volume de solos desprotegidos, expostos a ação das chuvas e do escoamento superficial. Essa exposição acontece principalmente ao longo de ruas e áreas de circulação de pedestres. Mesmo que parte das ruas estejam pavimentadas, as suas adjacências raramente possuem meio fios ou coberturas que contenham sedimentos (grama, calçamento). Estes se tornam referência na geração de sedimentos para os igarapés da cidade, por ser ali o ambiente que o escoamento superficial acontece em maior volume. Com isso, os igarapés urbanos recebem um volume expressivo de sedimentos durante a ocorrência das chuvas, que são depositados junto ao canal progressivamente seguindo a diminuição do fluxo do igarapé proveniente do escoamento superficial. Assim, devido ao baixo gradiente dos igarapés e a redução de sua competência com a diminuição dos fluxos torrenciais, os sedimentos são depositados ao longo do canal. O processo de deposição de sedimentos pode ainda ser favorecido pela construção de níveis de base locais e pela fixação de vegetação no canal e nos depósitos sedimentares (FIGURA 10).

Em alguns igarapés urbanos tem sido verificado, além do aumento da capacidade dos canais e a drenagem ou retificação de trechos de canais (de fluxo corrente ou mal drenados), o processo de concretamento ou submersão do curso fluvial. Na bacia do

igarapé Caranã se tornaram freqüentes estes tipos de intervenções ao longo dos trechos urbanizados. No bairro Santa Tereza, o igarapé Santa Teresa já teve todo seu trecho superior submerso por galerias (FIGURA 11) e, nos últimos dois anos, seu trecho médio também está sendo concretado e submerso (FIGURA 12). Contudo, o forte processo de carreamento e deposição de sedimentos nestes trechos podem reduzir progressivamente a capacidade de escoamento do canal. Isto associado à impermeabilização da bacia e a ocorrência de chuvas excepcionais, faz com que o canal não suporte toda água ofertada pelo escoamento superficial, obrigando-a a escoar fora de seus limites. Mesmo estando ainda em construção, trechos concretados do igarapé Santa Teresa já apresentam importante deposição de sedimentos em seu leito (FIGURA 12).

A construção de trechos de canais concretados, ou mesmo a canalizados, tem dado uma falsa sensação de segurança e acelerado a ocupação nestes locais. É importante considerar que o processo de urbanização crescente na bacia do Caranã, e o conseqüente grau de impermeabilização da

bacia, associado ao baixo gradiente do perfil longitudinal deste curso fluvial e a forte concentração de chuvas, principalmente entre os meses de maio a julho, devem influir na ampliação da freqüência e do nível das cheias nas áreas depressivas desta bacia, afetando de forma importante as populações residentes nestes locais.

Acompanhando o tampamento do igarapé, pode ser observado a ocupação do antigo leito do canal por construções. Outro fator observado, é que com o concretamento e o tampamento do canal, muitas casas passaram a ter seus sistemas de esgoto interligados a galeria, criando um forte odor às margens do igarapé.

O comportamento da descarga do igarapé Caranã

O desequilíbrio de canais afetados pela urbanização seja na forma direta ou indireta, se reflete na descarga do curso fluvial. O padrão de circulação de água em uma bacia é afetado por diversos fatores físicos como a geologia, a geomorfologia, os solos, o clima, a vegetação e o uso do solo. Contudo, são o clima e o uso do solo que vão impor condições básicas de



FIGURA 11 - Final de trecho de galeria que compreende o trecho superior do igarapé Santa Teresa. Ao fundo já é observada a ocupação do antigo leito por domicílios. Fotografado por Carlos Sander, julho de 2008.



FIGURA 12 - Transformação do trecho médio do igarapé Santa Teresa em Galeria. No fundo do canal já pode ser visualizada a deposição de sedimentos. Fotografado por Carlos Sander, julho de 2008.

circulação de água na bacia. A alteração da vegetação, ou do uso do solo, interfere na circulação da água neste sistema. Por exemplo, com a retirada da vegetação natural há uma redução do volume de água que é precipitado e devolvido a atmosfera por transpiração. Considerando que a diminuição de cobertura vegetal prejudica o processo de infiltração de água no pacote pedológico, a água que deixa de infiltrar pela perda de permeabilidade do solo, somada à água que não é mais transpirada (e que não infiltra) recompõe o processo de escoamento superficial nas vertentes. O escoamento superficial pode aumentar ainda mais com o processo de compactação e o grau de impermeabilização da bacia, resultante do aumento da densidade de ocupação do solo. É por este motivo que em grandes aglomerações urbanas é visível e mais constante a ocorrência de inundações, visto serem poucos os lugares onde o solo não foi impermeabilizado.

Mesmo que o grau de impermeabilização da bacia do igarapé Caranã não seja elevado, a redução da superfície de infiltração de água já apresenta consequências na recarga do lençol freático local devido às perdas de fluxo para o escoamento superficial. Tem que ser considerado o possível aumento da evaporação da água superficial, o aumento da circulação da água em superfície.

A exposição de solos sem cobertura vegetal, tem determinado também a evolução nos processos de erosão das vertentes e ampliado a deposição de sedimentos nos canais fluviais, reduzindo progressivamente a capacidade de escoamento de fluxo pelos igarapés.

Dado o decréscimo da recarga do aquífero local e o aumento do escoamento fluvial, passa a existir uma ampliação dos volumes de água que circulam nos canais

durante os eventos pluviométricos, havendo assim uma ampliação da frequência e magnitude das inundações.

Além das alterações no uso do solo, tem sido freqüente na bacia do igarapé Caranã a drenagem de trechos de lagos e pântanos. Este tipo de prática tem efeitos bastante conhecidos e avaliados em diversas áreas do planeta. Mesmo que a drenagem de áreas pantanosas em Boa Vista apresente resultados pouco satisfatórios durante a ocorrência de eventos pluviométricos (devido o baixo gradiente do perfil longitudinal dos igarapés nestes pontos), a médio prazo elas atuam no rebaixamento do nível freático local, implicando na perda de descarga do igarapé Caranã no decorrer da estação seca. Esta problemática pode ser visualizada comparando o comportamento da descarga dos igarapés Caranã e Carrapato (FIGURA 13) com os dados pluviométricos da região (FIGURA 14).

Pode ser observado que as bacias dos igarapés Caranã e Carrapato seguem o padrão de distribuição de chuvas da região, apresentando seus maiores valores de descarga no alto da estação chuvosa (mês de julho) e os valores mais baixos ao final da estação seca (mês de maio). Contudo, se analisado de forma criteriosa as Figuras 13 e 14, verificamos que a descarga de base do igarapé Carrapato acompanha melhor a oscilação dos totais pluviométricos da região. Isto pode ser entendido observando as diferenças no uso do solo das bacias. Quando da ocorrência de eventos pluviométricos há uma reposição inicial dos estoques subterrâneos nas duas bacias. Como a bacia do igarapé Carrapato encontra-se mais próxima a sua condição natural, há uma reposição natural do lençol freático que, caso não haja saturamento de água no solo, este a libera de forma lenta,

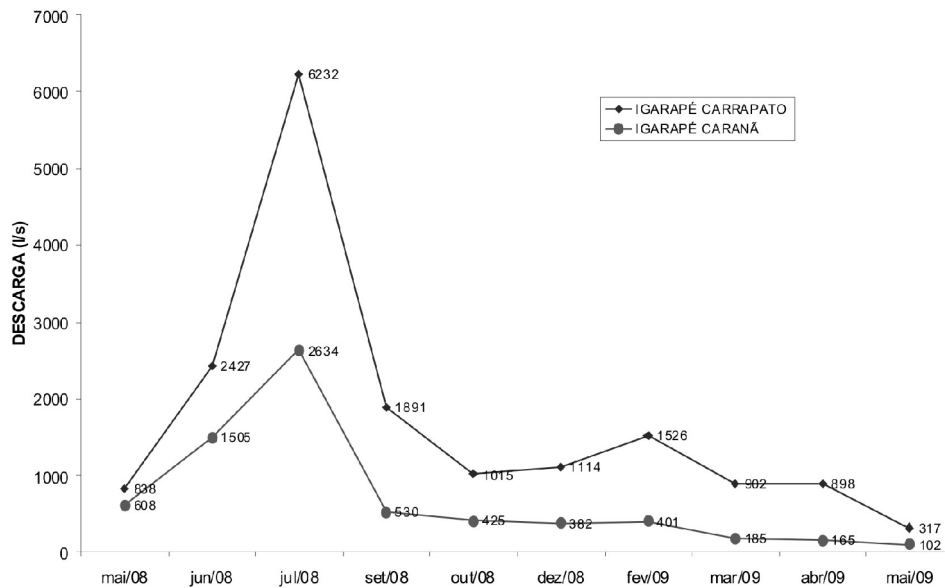


FIGURA 13 - Descarga dos igarapés Caranã e Carrapato, Boa Vista, RR. Elaborado pelos autores.

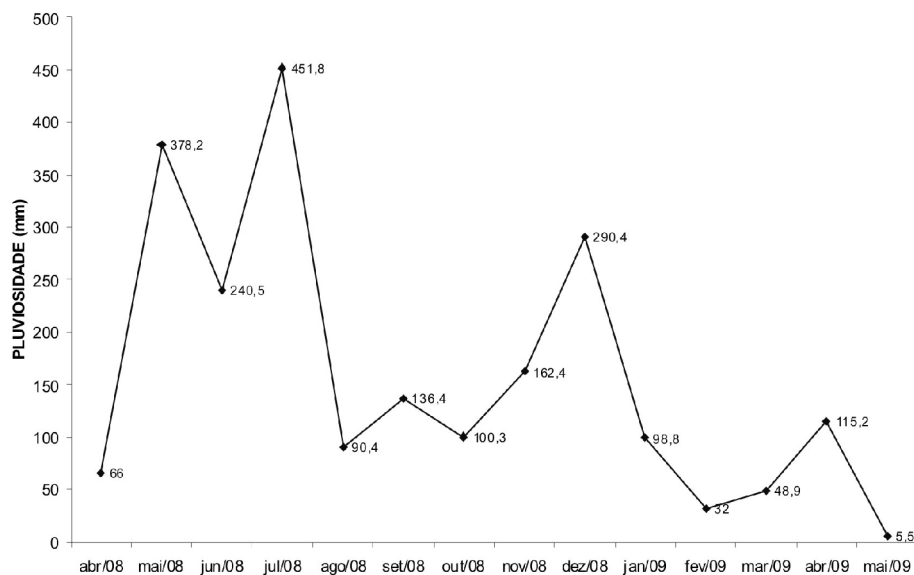


FIGURA 14 - Pluviosidade mensal de Boa Vista de abril de 2008 a maio de 2009. Fonte: INMET.

auxiliando na manutenção da descarga do igarapé por algumas semanas. Este fenômeno pode ser observado no mês de fevereiro, quando as chuvas dos meses de dezembro de 2008 e de janeiro de 2009 resultaram na elevação da descarga de 1.015 L/s (outubro/08) para 1.526 L/s (fevereiro/09). No igarapé Caranã, para o mesmo período, foi observado uma redução da vazão de 425 L/s (outubro/08) para 401 L/s

(fevereiro). Neste igarapé pesam o processo da impermeabilização da bacia e o efeito da drenagem, que retira a água de forma mais rápida do sistema.

Outros indicativos da influência direta e indireta da bacia do Caranã é a amplitude da descarga de base. Enquanto que no igarapé Carrapato a amplitude entre a menor descarga e a maior foi de 19,7 vezes, no igarapé Caranã esta chegou a 25,8 vezes. É importante lembrar

que, a medida que a urbanização for se expandindo e que as áreas drenadas sejam ampliadas, a amplitude entre a descarga máxima e mínima tendem a aumentar, podendo alguns trechos do igarapé perenes virem a se tornar intermitentes. A medida que esse fenômeno cresce, se amplia também o nível e a frequência das cheias, impulsionada pelo aumento do grau de impermeabilização e a redução da vegetação.

O impacto da urbanização da bacia do Caranã pode ser considerado ainda maior do que o observado no comparativo com a bacia do igarapé Carrapato. Isto porque este último alimenta diversos sistemas de cultivos irrigados instalados na sua bacia (SANDER et al, 2008). É por esse motivo que há uma redução significativa da descarga do igarapé ao final da estação seca, como observado na passagem do mês de abril e maio de 2009, quando houve uma redução de 65 % na vazão do Carrapato.

Outro fator a ser considerado, é que na bacia do igarapé Caranã não há sistema de coleta e tratamento de esgoto. Utiliza-se os sistemas de fossas (sépticas e negras) ou lançamento direto nos canais. Sander (2003), apresentou a influência de fossas na alimentação do lençol freático (e do fluxo de base do canal) numa bacia de baixa ordem, localizada na região Oeste do Paraná. Mesmo o impacto para a manutenção do fluxo do igarapé seja positivo, estes tipos de destinos são problemáticos pelo fato de estarem relacionados diretamente a contaminação dos mananciais e na transmissão potencial de doenças às pessoas que utilizem ou tenham contato com este recurso.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho mostra a necessidade de se avaliar os impactos resultantes do uso do solo sobre a rede de drenagem e dos sistemas lacustres, na tentativa de estabelecer limites seguros para proteção destes mananciais e das populações que o habitam.

As áreas paludais, mesmo com sistemas de drenagem, mostram-se impróprias para ocupação urbana. A expansão urbana nestes mananciais representam riscos a manutenção dos sistema fluviais urbanos e a saúde da população em geral.

O estudo comparativo entre a bacia do igarapé Caranã e do Carrapato mostrou que o grau de intervenção antrópica já gerou diferenças significativas no comportamento hidrológico. O aumento do grau de impermeabilização da bacia do igarapé Caranã, mesmo sendo ainda incipiente, podem intensificar a ocorrência e os níveis de cheias, assim como vazões muito baixas nos períodos de estiagem, transformando os segmentos de canais perenes em intermitentes.

NOTAS

ⁱ Geógrafo; Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM); Professor do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Roraima (UFRR).

E-mail: sandergeo@yahoo.com

ⁱⁱ Geólogo; Doutor em Geologia pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS); Professor Adjunto do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR).

E-mail: fwankler@uol.com.br

ⁱⁱⁱ Geólogo; Doutor em Energia Nuclear na

Agricultura pela Universidade de São Paulo (USP); Professor Adjunto do Departamento de Geologia da Universidade Federal de Roraima (UFRR).

E-mail: renato_ufr@yahoo.com.br

^{iv} Geólogo; Doutor em Geociências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS); Professor Associado do Departamento de Geografia da Universidade Estadual de Maringá (UEM).

E-mail: mldsantos@uem.br

^v Geólogo; Doutor em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP); Professor Associado do Colegiado de Geografia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE, Campus Marechal Cândido Rondon).

E-mail: oscarfernandez49@gmail.com

REFERÊNCIAS

ABRAHMS, A. D. *Channel networks: a geomorphological perspective*. *Water Resources Research*, v. 20, n 2, 1984. pp.161-168.

BLYTH, K.; RODDA, J. C. *A stream length study*. *Water Resources Research*, v. 9, n. 5, 1973. pp.1454-1461.

BRAVARD, J. P.; PETTS, G. E. *Human impacts in fluvial hydrosystems*. In: PETTS, G. E.; AMOROS, C. (Eds.). *Fluvial hydrosystems*. London: Chapman e Hall, 1996.

BROOKES, A. *River channel change*. In: PETTS, G.; CALOW, P. (Eds.). *River flows and channel forms*. Blackwell Science Ltd., 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.

CUNHA, S. B. da. *Geomorfologia fluvial*. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Orgs.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e*

conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

CUNHA, S. B. *Canais Fluviais e a Questão Ambiental*. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T.. (Orgs.). *A Questão Ambiental*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil Ltda, 2003. pp. 219-238.

DAY, D. G. *Drainage density change during rainfall*. *Eath surface processes*, 3, 1978. pp. 319-326.

DREW, D. *Processos interativos homem-meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1989.

EVANGELISTA, R. A. O. ; SANDER, C. ; WANKLER, F. L. *Estudo Preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio Branco, estado de Roraima*. In: SILVA, P. R. F.; OLIVEIRA, R. S. (Orgs.). *Roraima 20 anos: as Geografias de um novo Estado*. Boa vista: Editora da Universidade Federal de Roraima, 2008. pp.142-167.

FARIA, A. P. *As conseqüências da erosão em microbacias sobre os canais efêmeros, intermitentes e perenes*. *Cadernos de Geociências*, 11, 1994. pp. 67-83.

FARIA, A. P. *A dinâmica e fragilidade das bacias fluviais de primeira ordem*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1996a.

FARIA, A. P. *Oscilação na extensão da rede de drenagem em fases de desmatamento e reflorestamento*. I Simpósio Nacional de Geomorfologia. *Anais. Sociedade & Natureza*, 15, 1996b. pp.51-55.

FARIA, A. P. *A dinâmica de nascentes e a influência sobre os fluxos nos canais*. *A Água em Revista*. CRPM, 8, 1997. pp.74-80.

FARIA, A. P. *Eficiência hidrológica em sub-bacias*. *Anais... XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1998. pp.415-420.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SPONCHIADO, C.; GAUER, M.; SORATTO, A. A.; BECK, A. C.; SANDER, C.; REBELATTO, G. E. *Levantamento preliminar das características físicas e ambientais de canais de primeira ordem: bacia do córrego curvado, Mal. C. Rondon, PR*. *Anais... Florianópolis: II*

Simpósio Nacional de Geomorfologia, Geosul, 1998. pp.622-625.

FERNANDEZ, O. V. Q.; SPONCHIADO, C.; GAUER, M.; SORATTO, A. A.; BECK, A. C.; SANDER, C.; REBELATTO, G. E. *Estrutura da rede de drenagem numa bacia de primeira ordem na região Oeste do Estado do Paraná. Anais... Belo Horizonte: VIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 1999. pp.165-167.*

GARDINER, V. *Channel networks: progress in the study of spatial and temporal variations of drainage density. Changing River Channels. Wiley e Sons Ltd, 1995. pp.65-85.*

GREGORY, K J. The Human Role in Changing River Channels. *Geomorphology*, 79, 2006. pp.172-191.

GURNELL, A. M.; DOWNWARD, S. R. *Channel planform change of the river dee meanders. Regulated Rivers: Research & Management*, 9, 1994. pp.187-204.

PROJETO HYDROS. *Programa Programa Técnico Científico, Didático, Pedagógico na temática ambiental dos Recursos Hídricos em Boa Vista Relatório Final. Boa Vista, 2009. (CD-ROM).*

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de Geomorfologia do Estado de Roraima. Rio de Janeiro: IBGE, 2005a. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.*

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de Geologia do Estado de Roraima. Rio de Janeiro: IBGE, 2005b. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.*

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de Vegetação do Estado de Roraima. Rio de Janeiro: IBGE, 2005c. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.*

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Mapa de Pedologia do Estado de Roraima. Rio de Janeiro: IBGE, 2005d. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.*

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Contagem da População 2007.*

Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1> > Acesso em 12 de Novembro de 2009.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. *Monitoramento de Estações Convecionais. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/convecionais.php>> Acesso em 30 de Novembro de 2009.*

LEOPOLD, L. B. *Water, river and creeks. California: University Science Books, 1997.*

MAHESHWARI, B. L.; WALKER, K. F.; McMAHON, T. A. *Effects of regulation on the flow regime of the river Murria, Australia. Regulated Rivers: Research & Management*, 10, 1995. pp.15-38.

MONTGOMERY, D.R. and DIETRICH, W.E. *Where do channels begin? Nature - International Weekly Journal of Science*, 336, 6196, 1988. pp.232-234.

SANDER, C. *Variação Espaço-Temporal da Densidade de Drenagem e Mudanças Antrópicas na Cabeceira do Córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon (PR). Dissertação de Mestrado. Maringá: Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, 2003.*

SANDER, C.; FERNANDEZ, O. V. Q. ; SANTOS, M. L. dos. *Variação da extensão do fluxo me canais fluviais de primeira ordem, porção superior da bacia do córrego Guavirá, Marechal Cândido Rondon, Oeste do Paraná. Perspectiva Geográfica, v. 2, 2006. pp.7-19.*

SANDER, C.; WANKLER, F. L.; TONELLO, M. F.; SOUSA, V. P. de. *Levantamento Hidrológico do Igarapé Carrapato, Boa Vista, RR: Dados Preliminares. ACTA Geográfica, vol.2, n.3, 2008. pp.119-129.*

SILVA, P. R. de F. *Dinâmica Territorial Urbana em Roraima - Brasil. Tese de Doutorado. São Paulo: Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana, Universidade de São Paulo, 2007.*

SILVA, S. B. de M. e; SILVA, B. C. N. *A Rede Urbana de Roraima: Primazia e Integração.*

RDE – Revista de Desenvolvimento Econômico, 10,
2004. pp.38 – 46.

STEIGER, J.; JAMES, M.; GAZELLE, F.
*Channelization and consequences on floodplain
system functioning on the Garonne river, SW
France. Regulated Rivers: Research &
Management*, 14, 1998. pp.13-23.

TUCCI, C. E. T. (Org.). *Hidrologia: Ciência e
Aplicação*. Porto Alegre: Editora da UFRG,
2001.
