



Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal

of Applied Science

ISSN: 1980-993X

ambi-agua@agro.unitau.br

Universidade de Taubaté

Brasil

dos Santos Targa, Marcelo; Teixeira Batista, Getulio; Nóbile Diniz, Hélio; Wellausen Dias, Nelson;  
Cardoso de Matos, Fernando

Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil

Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 7, núm. 2, 2012, pp. 120-142

Universidade de Taubaté

Taubaté, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92823633012>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>)

**Marcelo dos Santos Targa<sup>1</sup>; Getulio Teixeira Batista<sup>1</sup>; Hélio Nóbile Diniz<sup>2</sup>**  
**Nelson Wellausen Dias<sup>3</sup>; Fernando Cardoso de Matos<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté - UNITAU  
e-mail: agenormicaeli@yahoo.com.br; mtarga@unitau.br;

e-mail: getulio@agro.unitau.br;

<sup>2</sup>Instituto Geológico do Estado de São Paulo – IG/SMA, São Paulo, SP  
e-mail: heliodiniz1@yahoo.com.br

<sup>3</sup>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, Aracajú, SE  
e-mail: nelson.dias@ibge.gov.br, nwdias@gmail.com

<sup>4</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, IFPA, Belém, PA  
e-mail: matos2001@gmail.com

### RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo estudar o escoamento superficial decorrente da ocupação desordenada na área do Igarapé Tucunduba, em Belém do Pará, no período de 1972 a 2006. Caracterizada por um processo de urbanização iniciado na década de 60 por uma população de baixa renda e com carência de serviços de infraestrutura. A urbanização modifica a superfície do solo interferindo na fase terrestre do ciclo hidrológico, pois em geral reduz a área de infiltração, aumenta o escoamento superficial e o coeficiente de Escoamento. Foi utilizada uma base cartográfica de uso e ocupação do solo da bacia desenvolvida com o apoio de fotografias aéreas ortorretificadas dos anos de 1972, 1977 e 1998 e de uma imagem do satélite SPOT de 2006. A construção de mapas e avaliação dos processos de urbanização foram possibilitadas por meio de ferramentas do software ArcGis™. Para a estimativa da infiltração potencial (S) e da precipitação efetiva (Pe) em função de chuvas máximas de duração igual ao tempo de concentração da bacia, foi utilizado a metodologia Curva Número do *Natural Resources Conservation Service* (NRCS). Foram utilizados os dados pluviométricos calculados a partir da equação de chuva máxima da cidade de Belém, adaptados para Tempos de retorno que variaram de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100 e 200 anos. Os resultados mostraram um aumento da densidade populacional (classes urbanizadas elevada e média) e diminuição da área na classe de baixa densidade populacional (mata de capoeira) na análise temporal dos anos 1972, 1977, 1998 e 2006, e, como consequência, um valor de precipitação efetiva maior, assim como, um valor de coeficiente de escoamento (C) também maior.

**Palavras-chave:** ciências ambientais, uso do solo, sistema de informação geográfica.

**Urbanization and runoff in the Tucunduba hydrographic basin,  
Belém, PA, Brazil**

### ABSTRACT

The present work investigated the runoff resulting from urban sprawl in the area of Tucunduba basin, in Belem, in the period between 1972 and 2006, which is characterized by a

urbanization process started in the 1960s by low income population without adequate infrastructure services. Urbanization modifies the soil surface interfering on the ground phase of the hydrological cycle, inasmuch as it reduces the area of infiltration, increases runoff, and the runoff coefficient. A geographic database with land use and land cover map layers extracted from orthophotos acquired in 1972, 1977, and 1998 and a SPOT satellite image acquired in 2006 were used. Digital maps and analysis of the urbanization processes were supported by tools available in ArcGIS™ software package. To estimate the infiltration potential (S) and effective rainfall (Pe), as a function of rainfall duration equal to the maximum time of concentration of the water in the basin, Curve Number methodology proposed by the Natural Resources Conservation Service (NRCS) was applied. Rainfall estimates were calculated using the maximum rain equation for the city of Belém, with return times specified at 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, and 200 years. The results showed an increase in areas of high and medium population density (urban) and reduced area of low population density (secondary forest growth) for the years of 1972, 1977, 1998, and 2006, that generated a higher effective precipitation value and, therefore, a higher effective runoff coefficient value (C).

**Keywords:** environmental sciences, land use, geographic information system.

## 1 INTRODUÇÃO

A necessidade de o homem ocupar novos espaços, seja para moradia ou para realização de atividades econômicas, tem-se tornado cada vez maior e esse fato tem provocado a ocupação, não planejada, principalmente de áreas marginais aos cursos d'água e, com isso, gerado impactos negativos e criado ambientes hostis à vida humana.

Em várias áreas urbanas do Brasil, em especial, os cursos d'água, em geral, são transformados em canais retificados onde se despeja tanto a água pluvial, quanto os efluentes domésticos não tratados. Nessa situação, se enquadra a bacia do Igarapé Tucunduba, em Belém, PA, que apresenta um cenário de ocupação com considerável degradação ambiental. Nas margens do igarapé Tucunduba, por exemplo, existe o comércio de madeiras, telhas, tijolos, carvão, açaí, além do lançamento dos efluentes do comércio e das residências diretamente no corpo hídrico, os quais alteram a qualidade da água.

Em condições naturais, os igarapés, nome regional para rios de pequena ordem, são componentes importantes da floresta (Lima e Gascon 1999), pois sustentam uma fauna diversa que depende principalmente do material orgânico proveniente das florestas adjacentes.

Por outro lado, no processo de escoamento de água proveniente de precipitações máximas, ocorre a interação entre fatores como o uso e cobertura do solo, a declividade e a forma da bacia hidrográfica. Nesse contexto, a maior alteração da superfície de uma bacia resulta da urbanização que causa a impermeabilização do solo, diminui a infiltração e aumenta o escoamento superficial ocasionando cheias e inundações.

Além dos aspectos já mencionados, a cidade de Belém possui um sistema de drenagem ineficiente para escoar toda a água pluvial quando das ocorrências de chuvas intensas rápidas, ou ainda de chuvas contínuas, quando combinadas com a maré alta. Isso devido ao fato da cidade de Belém ser circundada pelos Rios Guamá e Guajará e devido às águas subterrâneas e aos igarapés sofrerem forte influência das marés (Tavares, 1998 ).

O objetivo desse trabalho foi estimar a precipitação efetiva e os coeficientes de escoamento, em função das mudanças no uso e ocupação do solo no período de 1972 a 2006,

na bacia hidrográfica do igarapé Tucunduba, em Belém, PA por meio das técnicas de Curva Número e de geoprocessamento.

### **1.1. Bacia Hidrográfica e Urbanização**

A bacia hidrográfica é definida como o conjunto de terras limitadas por divisores de águas contendo uma rede de drenagem que drena a água para um único ponto denominado exutório. O sistema de drenagem da bacia é composto de nascentes dos cursos de água, principais e secundários, denominados afluentes e subafluentes (Targa, 2008).

O tempo de viagem da água da chuva que cai na região mais remota da bacia até o exutório é chamado de Tempo de concentração da bacia (Tc). O uso do solo pode alterar as características naturais, modificando as quantidades de água que infiltram, que escoam e que evaporam, alterando o tempo de viagem da água e o comportamento hidrológico de uma bacia. Algumas das mais agressivas formas de modificação do uso e ocupação de uma bacia hidrográfica consistem no desmatamento e na urbanização.

De modo geral, a cobertura vegetal interfere nos mecanismos de transporte de águas superficiais e subterrâneo, reduz a erosão e aumenta o potencial de infiltração, sendo fundamental para a recarga dos aquíferos (Lima, 2008).

Segundo Tucci (2008), o crescimento urbano ocorrido nas últimas décadas transformou o Brasil num país essencialmente urbano (83% de população urbana). O município de Belém (PA), por exemplo, cresceu com taxas médias de aproximadamente 3,6% ao ano entre 1980 e 2000 (Faure, 2002).

A Região Norte, com o maior potencial hídrico do país, em geral possui baixa densidade populacional (Rebouças, 2002), por outro lado, segundo Castro (2003), a cidade de Belém consistiu na experiência de maior aglomeração urbana em toda a região amazônica. Na região conhecida como Grande Belém tem sido registradas as taxas mais altas de ocupação humana na Amazônia, nos últimos 20 anos.

Para Tucci (1997), os principais impactos provocados pela urbanização nas redes de drenagem são o aumento do escoamento superficial, redução da evapotranspiração, redução do escoamento subterrâneo, rebaixamento do lençol freático, aumento da produção de material sólido proveniente de limpeza de ruas e da armazenagem inadequada do lixo pela população resultando na deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: limpeza urbana e sua frequência, intensidade da precipitação e sua distribuição no tempo e no espaço, bem como da época do ano e do tipo de uso da área urbana (Tucci, 2002).

### **1.2. Geoprocessamento e uso do solo**

Sistemas de informação geográfica (SIG) constituem um poderoso conjunto de ferramentas que possibilita colecionar, armazenar, recuperar, transformar e exibir dados espaciais referenciados ao mundo real (Burrough, 1986). Esta tecnologia permitiu otimizar, de forma mais eficiente e ampla, as técnicas tradicionais que dependem da integração de dados cartográficos e tabulares, estabelecendo, não apenas correlações espaciais, mas também relações de causa e efeito e identificação de variações ao longo do tempo (Towshend, 1992). Uma das principais vantagens de um SIG direcionado para análise do espaço urbano é a possibilidade de integrar dados de diferentes fontes e formatos e, assim, gerar novas informações pelo cruzamento destes dados (Pereira e Silva, 2001). No Brasil, o uso do geoprocessamento no estudo de bacias hidrográficas é bastante difundido e diversificado. Machado et al. (2003) aplicaram um sistema de modelagem hidrológica para a geração de cenários alternativos de uso do solo para simular a produção de sedimentos em uma microbacia. Nascimento et al. (2005) analisaram os conflitos entre uso do solo com as áreas

de preservação permanente (APP) identificadas automaticamente em uma bacia hidrográfica pelo cruzamento de informações espaciais. Santos et al. (2007) integraram informações sobre o meio físico, qualidade da água e dados socioeconômicos para melhor compreender a organização social e o manejo do uso da terra das propriedades rurais de uma bacia hidrográfica.

A aplicação da técnica de geoprocessamento possibilita a determinação acurada da variação do uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica no tempo e no espaço e assim permite maior precisão no cálculo do escoamento superficial na forma de precipitação efetiva.

O método Curva Número, considerado o método mais utilizado para a estimativa do escoamento superficial em bacias hidrográficas, pode fornecer melhor resultado quando se faz uso das técnicas de geoprocessamento. Aguiar et al. (2007), por exemplo, utilizaram o método Curva Número (CN) e aplicaram técnicas de geoprocessamento para melhor definir as condições de infiltrabilidade pelas diferentes classes de uso da bacia do ribeirão Itaim no Vale do Paraíba Paulista. Machado et al. (2003) utilizaram o modelo SWAT para simular o escoamento superficial na bacia hidrográfica do ribeirão dos Marins, afluente do rio Piracicaba, e utilizaram o CN para calibração do modelo. As classes mais impermeáveis apresentam CN mais elevados e, portanto, indicam menor potencial de infiltração e maior escoamento superficial da água.

O NRCS (1997) distingue no método Curva Número os grupos hidrológicos de solos (A, B, C e D) os quais apresentam as seguintes características:

**Grupo A** – Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração (arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8 %).

**Grupo B** – Solos menos permeáveis que o anterior, arenosos menos profundos que os do Grupo A e com permeabilidade superior a média (teor de argila ainda inferior a 15 %).

**Grupo C** – Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo considerável porcentagem de argila e pouco profundo (barrentos com teor total de argila de 20 a 30 % mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m).

**Grupo D** – Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração e alta capacidade de escoamento (argilosos 30 – 40 % de argila e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade).

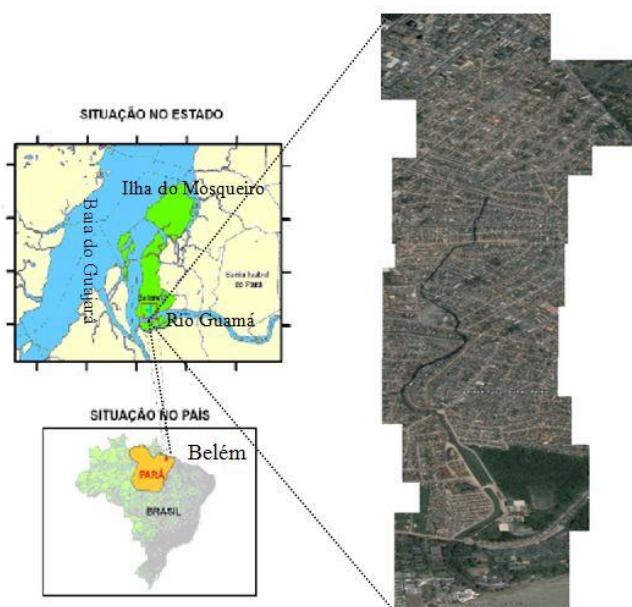
Na medida em que uma bacia vai sendo urbanizada, também vai ocorrendo o aumento do escoamento superficial. Como resultado do aumento da impermeabilização, uma maior parcela da precipitação se transforma em escoamento na bacia e com isso aumenta o valor do coeficiente de escoamento superficial (C). Dessa forma, o coeficiente C é de grande importância na avaliação da capacidade de sistemas de drenagens.

Estudos de análise temporal da expansão urbana no entorno do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil no período de 1972 a 2006, por meio de técnicas de geoprocessamento e visitas em campo, demonstraram que a área de vegetação nativa diminuiu e a urbanização aumentou no período (Matos et al., 2011).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Caracterização física da área de estudo

O igarapé Tucunduba (Figura 1) tem sua nascente localizada nas coordenadas 1° 26' 10,38" S e 48° 27' 15,84" O, na Travessa Angustura, 3579, no bairro do Marco e seu exutório na margem direita do Rio Guamá nas coordenadas 1° 28' 35,95" S e 48° 27' 13,11" O. Sua bacia possui aproximadamente 1.055 ha, dos quais 575 ha são áreas de “baixadas” que correspondem a 21% das áreas de várzea da área urbana de Belém (Belém, 2001).



**Figura 1.** Localização da área de estudo, (Igarapé Tucunduba)

**Fonte:** Matos et al. (2011) .

### 2.1.1. Topografia

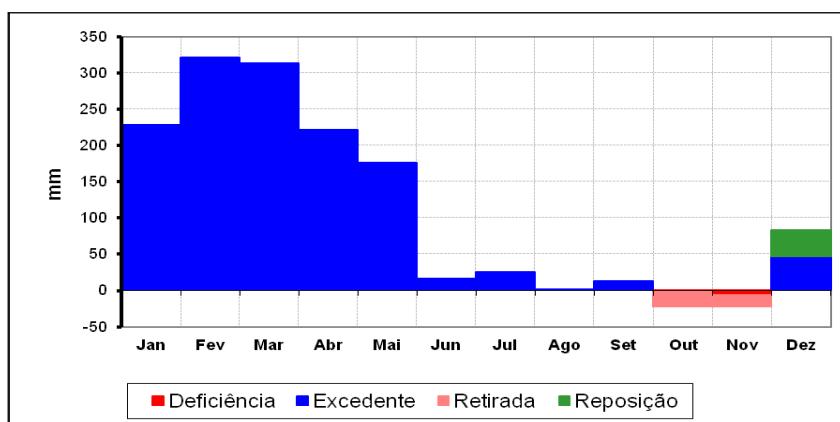
A área de estudo é uma bacia urbanizada que drena para o rio Guamá e este para a baía do Guajará. Esta baía está localizada numa região estuarina, ou seja, um ambiente fluvial com importante influência marinha, com oscilação típica de mesomaré com alcance médio de 3m. Os terrenos continentais adjascentes à baía, onde se situa a área de estudo, se dividem em duas unidades fisiográficas, Terra Firme e Várzeas (Pará, 2002). Nas Várzeas, as marés são o principal agente transportador de sedimentos e material orgânico em suspensão (Pinheiro, 1987). A porção de Terra Firme que ocorre na área de estudo não possui grande amplitude topográfica em função de sua proximidade à área do estuário.

Portanto, a bacia do Tucunduba possui baixa declividade com elevação variando de 0 a 3 metros na parte baixa da bacia e de 15 a 18 m na área de maior elevação (Cacela Filho et al., 2007). Essa baixa variação de altitude proporciona pequeno gradiente entre as áreas de nascente e o exutório e faz com que os escoamentos ocorram mais lentamente.

### 2.1.2. Clima

Pela classificação de Köppen, o clima de Belém é quente e úmido. A temperatura média varia entre 22 e 25°C. A umidade relativa do ar chega a 91% nos meses mais chuvosos. Sem estações climáticas definidas, possui dois períodos sazonais: chuvoso (dezembro a maio) e menos chuvoso (julho a novembro). A precipitação média anual varia entre 2.500 a 3.000 mm, logo Belém é uma das cidades mais chuvosas do Brasil (Nascimento, 1995). A estação chuvosa de dezembro a maio é regionalmente chamada de Inverno e é quando ocorrem as chuvas mais intensas. A estação menos chuvosa é regionalmente chamada de Verão.

O balanço hídrico médio mensal no período de 1972 a 1990, pelo método de Thornthwaite-Mather, foi elaborado por Rolim et al. (1998) adotando uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm e utilizando o programa “BHnorm” (Figura 2), demonstraram que o município de Belém apresenta excedente hídrico no solo em praticamente todos os meses do ano.



**Figura 2.** Balanço hídrico mensal do município de Belém, PA, no período de 1972 a 1990.

**Fonte:** Rolim et al. (1998).

Conforme Villela e Matos (1975), para utilização prática dos dados de chuva em sistemas de drenagem superficial faz-se necessário o conhecimento da intensidade, duração e frequência das chuvas. Uma das formas de relacionar essas características da chuva se dá por meio das chamadas equações de chuvas, dentre as quais, a mais amplamente utilizada é a expressa na Equação 1.

$$I = \frac{KTr^a}{(t + b)^c} \quad [1]$$

em que:

$I$  = Intensidade de precipitação média máxima (mm/h)

$Tr$  = Período de retorno (anos)

$t$  = tempo de duração da precipitação em (min)

$K, a, b, c$  = Parâmetros de ajuste da equação

Vários autores têm se preocupado com a definição de equações de chuvas intensas para os diversos estados do Brasil, o que significa que em curto espaço de tempo poderá se ter estruturas hidráulicas e planos de macro drenagem dimensionados em bases técnicas. Os principais autores são: Martinez Junior e Magni (1999), Genovez e Zuffo (2000), para o Estado de São Paulo, Oliveira et al. (2005) para o Estado de Goiás e Distrito Federal, Pinto (1995) para o Estado de Minas Gerais, Santos et al. (2009) para o Estado de Mato Grosso do Sul, Scaramussa et al. (2010) para o Estado do Pará, Pfastetter (1982) e Pruski et al. (2002) para o Brasil.

Com a finalidade de se calcular o escoamento máximo no exutório da bacia, adotou-se neste trabalho o tempo de duração da precipitação máxima igual ao Tempo de concentração ( $T_c$ ), o qual é definido como o tempo necessário para que a água que caiu no ponto mais distante chegue até o exutório da bacia. Sua estimativa foi baseada na velocidade média do escoamento superficial que é a função do espaço a ser percorrido e da diferença de nível entre o ponto mais afastado na bacia e o ponto de controle considerado (exutório da bacia), sendo calculado pela equação de Kirpich (1940) (Equação 2).

$$T_c = 57 * \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad [2]$$

em que:

$T_c$  = Tempo de Concentração (min)

$S$  = Declividade equivalente (m/Km)

$L$  = Comprimento do Talvegue (Km)

$H$  = Diferença de nível entre o ponto mais afastado e o ponto de controle considerado (m)

Considerando as características da bacia do Igarapé Tucunduba de 3,6 Km e uma diferença de nível de 18m entre o ponto mais afastado e o ponto de controle considerado (exutório da bacia), chega-se ao valor de Tempo de Concentração de 82 minutos.

Parâmetros da equação de chuvas intensas foram obtidos de estudos preliminares das relações I-D-F (Intensidade–Duração–Frequência) para a cidade de Belém, no estado do Pará (Scaramussa et al., 2010). Com base na Equação 1, é possível estabelecer Equação 3 de Intensidade de precipitação máxima para a cidade de Belém.

$$I = \frac{1256,6Tr^{0,0944}}{(t + 8,13)^{0,767}} \quad [3]$$

A parcela da precipitação que causa o escoamento superficial é denominada precipitação efetiva ( $P_e$ ) a qual é calculada pelo método Curva Número (CN) utilizando-se as Equações 4 e 5. O coeficiente de escoamento ( $C$ ) indica a proporção da chuva de projeto que descarrega rapidamente no sistema de drenagem da bacia e que contribui para a descarga de pico. Seu valor é diretamente dependente das características de infiltração do solo e das características de detenção e retenção da bacia (Targa, 2011). Dessa forma, o coeficiente de escoamento “ $C$ ” é o adimensional que reflete a relação entre a precipitação efetiva e a precipitação total e pode ser calculado pela Equação 6.

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} \quad [4]$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [5]$$

$$C = \frac{(P - 0,2S)^2}{(P + 0,8S)} * \frac{1}{P} \quad [6]$$

em que:

$P_e$ : escoamento superficial ou precipitação efetiva (mm)

$P$ : precipitação máxima em dado período de retorno (mm)

$S$ : Infiltração potencial (mm)

$CN$ : Número da Curva, adimensional

$C$ : coeficiente de escoamento, adimensional

O valor adimensional do  $CN$  deve ser definido por meio de tabelas, contudo em situações onde existe variação do uso e cobertura, o estabelecimento de um valor de  $CN$  ponderado (Targa, 2011) para a bacia pode melhorar a estimativa do volume de escoamento, o que pode ser obtido pela Equação 7.

$$CN_{pond} = \frac{\sum (CN_c (A_c))}{A_t} \quad [7]$$

em que:

$CN_{pond}$  = Valor do Número da Curva ponderado, adimensional

$CN_c$  = Valor do número da curva de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia, adimensional

$A_c$  = Área de cada classe de uso e cobertura do solo da bacia em  $km^2$

$A_t$  = Área total da bacia em  $km^2$

### 2.1.3. Uso e Ocupação

Para a análise da evolução da ocupação urbana e da redução das áreas florestadas do igarapé do Tucunduba em Belém, PA, foram utilizadas imagens aerofotogramétricas dos anos de 1972 e 1977 (em preto e branco) e de 1998 (coloridas) na escala 1:2.000 e corrigidas cartograficamente para projeção ortogonal. Para o ano de 2006 foi utilizada uma imagem georreferenciada do satélite SPOT com resolução espacial de 5 metros, o que permite gerar informações na escala 1:5.000. Todas essas imagens foram armazenadas em um banco de dados geográfico (BDG) utilizando o programa ArcGIS, versão 9.0. Por meio da interpretação visual das imagens foram geradas informações sobre uso e ocupação do solo na bacia (Matos et al., 2011). No mesmo BDG foram empregadas técnicas de cruzamento de planos de informação geográfica disponíveis no programa ArcGIS para diagnosticar o avanço da urbanização na área do Igarapé do Tucunduba.

O uso e ocupação da área da bacia Tucunduba foram classificados segundo o grau de ocupação em alta, média e baixa conforme proposta de Ferreira (1995), da seguinte forma:

I - Classe Baixa Ocupação – adotada em situações de ocorrência de áreas em que há presença de árvores nas ruas, gramados nas áreas de passagem, casas com jardim e quintal, os recuos entre as edificações são mais amplos e estas não se unem umas às outras, permitindo uma maior ventilação e há uma menor concentração de pessoas.

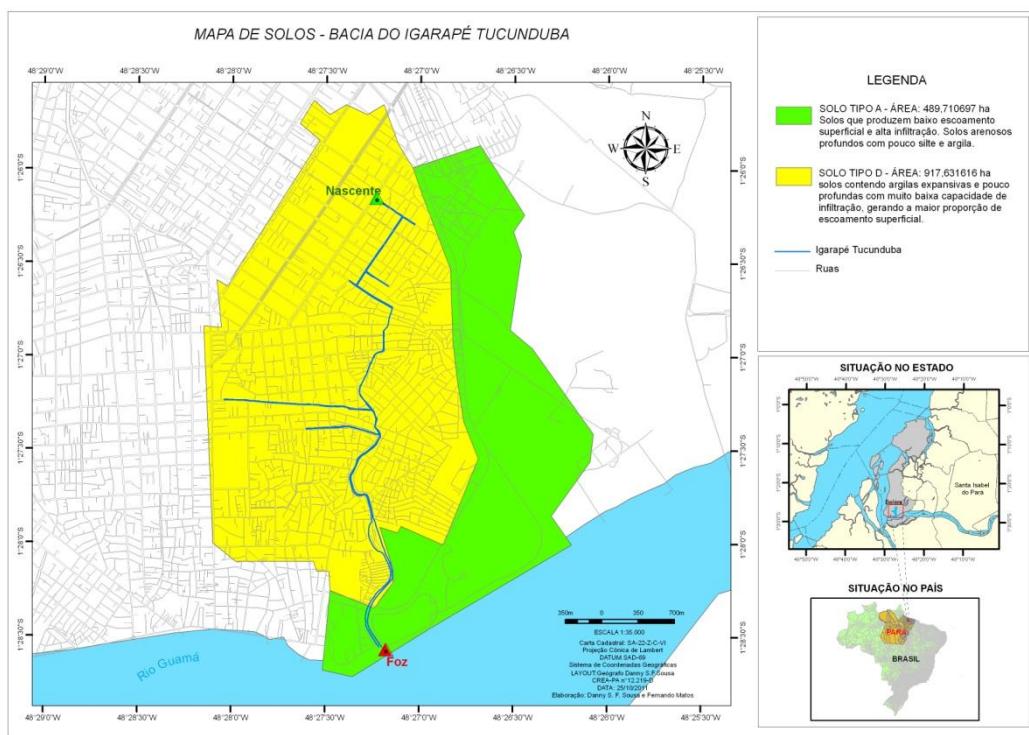
II – Classe Média Ocupação – adotada quando a urbanização não é tão adensada, mas já se observa uma aproximação entre as moradias e uma diminuição das áreas verdes.

III – Classe Alta Ocupação – adotada quando se observa que as construções ficam encostadas umas as outras e praticamente não se tem área verde, as calçadas são estreitas, as ruas asfaltadas e existem estivas dando acesso à margem do igarapé. Além de uma maior concentração de pessoas na classe alta ocupação, em geral há pouca ventilação e o consequente aumento de temperatura.

Segundo Santos (1997), as vegetações de capoeira e de várzea apresentam características semelhantes e representam uma vegetação não muito exuberante, devido às condições físico-químicas do solo, enquanto que a floresta de igapó é encontrada em níveis topográficos mais baixos e, portanto, em regiões alagadas, como a do Igarapé Tucunduba.

Os solos da várzea do Igarapé apresentam drenagem fraca e são argilosos e úmidos. Porém, ficam encharcados somente no inverno e apresentam pH neutro na sua parte superior, sendo estas várzeas do tipo “várzea de maré”, pois se enriquecem continuamente com os depósitos deixados pelas marés (Moreira, 1966).

De acordo com a classificação de solo do NRCS (USDA, 1997), os solos da bacia Tucunduba são classificados nos Tipos A e D (Figura 3) sendo o tipo D o de maior grau, pois corresponde aos solos que contêm argilas expansivas, com muito baixa capacidade de infiltração e geralmente associados com escoamento superficial alto (Cacela Filho et al., 2007), além de ocuparem uma área maior na bacia.



**Figura 3.** Bacia do Igarapé Tucunduba, com destaque para os solos em amarelo o tipo D e em verde tipo A.

**Fonte:** Adaptado de Cacela Filho et al. (2007).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Evolução da ocupação urbana sobre a área do Igarapé Tucunduba

Até a metade do século XX, o bairro do Guamá, em Belém do Pará, um dos bairros em que está localizado o igarapé do Tucunduba, era pouco habitado, mas já apresentava problemas de infraestrutura, com a maioria de suas casas de madeira e palha com imensos quintais, que mais pareciam sítios. As áreas de mata ofereciam muita caça e frutas para os poucos moradores (Ramos, 2002).

O processo de urbanização mais intenso no Brasil teve início a partir de 1940, como resultado da modernização econômica e do grande desenvolvimento industrial devido a injeção de capital estrangeiro no país. Contudo, a Amazônia só foi integrada ao restante do Brasil a partir de 1950 com a criação, pelo governo federal, do Programa de Integração Nacional (PIN), que pretendia ligar a Amazônia ao restante do país. A construção, da rodovia Belém-Brasília, repercutiu de forma intensa e transformadora na capital do estado do Pará, por meio da migração e da entrada de produtos industrializados de outras regiões (Matos et al., 2011).

Na medida em que uma cidade se urbaniza, segundo Tucci (1997), em geral ocorre:

I – Aumento das vazões máximas devido ao aumento da capacidade de escoamento através do sistema de drenagem (condutos e canais) e da superfície impermeável;

II – Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção da superfície e a produção de resíduos sólidos;

III – A deterioração da qualidade das águas superficiais, principalmente no início das chuvas que lavam as superfícies impermeáveis e carreiam material sólido.

Segundo Ferreira (1995), na cidade de Belém no estado do Pará, a construção de um grande dique na década de 1940, de 6 Km de extensão, para a contenção das águas do rio Guamá e ensecamento das várzeas adjacentes, pelo Serviço Especial de Saúde Pública (SESP), propiciou uma valorização maior das áreas da referida orla e, principalmente, depois da construção, sobre o dique, na atual avenida Bernardo Sayão.

As áreas de várzea do igarapé Tucunduba ficaram à margem da expansão da malha urbana de Belém até o início da década de 1960, sendo urbanizada somente na década de 1970, ocasião em que houve grandes transformações no contexto político, econômico e social de Belém, devido à intensa ocupação das planícies pela população que migrava para a capital ou que se deslocava de setores mais valorizados da cidade. No processo de ocupação do Tucunduba, logo após o desmatamento da área, ocorreu a colocação das estivas de madeira para a construção de palafitas (Figura 4). Uma vez instalada, a população utilizou laterita ou piçarra, lixo e outros detritos, como caroços de açaí e serragem para constituir aterro para acesso às palafitas. Na sequência, o lixo ou a laterita depositados nas ruas foram aproveitados também para aterrinar a frente das palafitas, provocando represamento ou estagnação de água sob as casas. As ruas aterradas, no lugar das estivas de madeira, propiciaram a retificação de canais de drenagem, a instalação de ruas laterais, e a substituição gradativa das palafitas de madeira por casas de alvenaria (Ferreira, 1995).



**Figura 4.** Área de ocupação do Igarapé com estivas de madeira

A análise auxiliada por técnicas de geoprocessamento permitiu avaliar a evolução do processo de urbanização da bacia Tucunduba na cidade de Belém nos anos de 1972, 1977, 1998 e 2006 (Matos et al., 2011). Em 1972, a maior parte da área era ocupada pela Classe Baixa Ocupação com mais de 4,3 km<sup>2</sup>, contudo, já se observava também uma área de mais de 1,8 km<sup>2</sup> na Classe Média Ocupação.

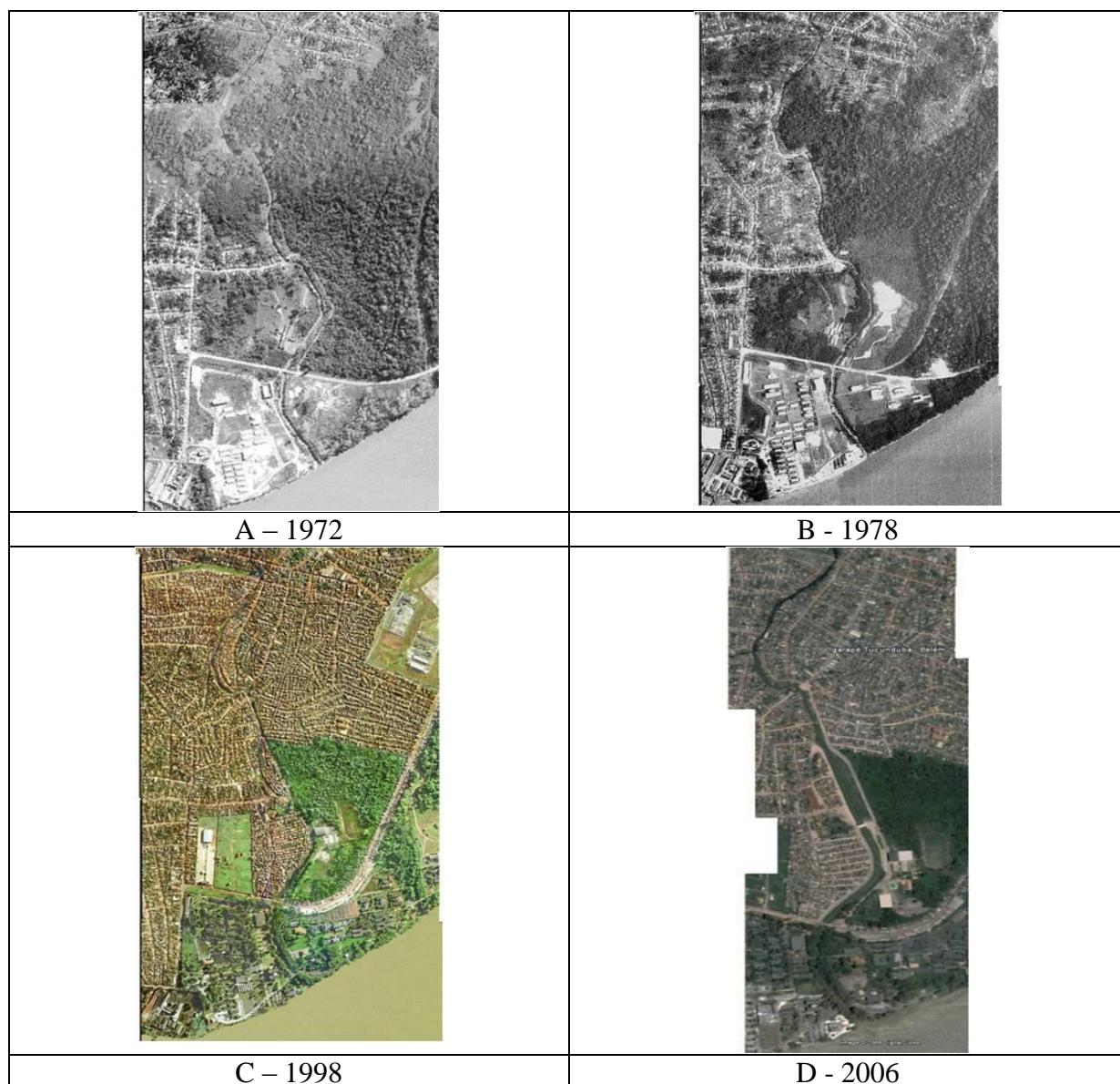
Já em 1977, a área que representa a Alta ocupação aumentou em quase 2 km<sup>2</sup> em relação a 1972, em detrimento das áreas de Média e Baixa ocupação.

Em 1998, passados 26 anos em relação a 1972, com uma área de mais de 7,5 km<sup>2</sup>, a Alta ocupação predominava e existia apenas uma área de 0,2 km<sup>2</sup> de Média Ocupação. A área definida como Baixa Ocupação, que predominava em 1972, reduziu de 4,3 km<sup>2</sup> para 1,1 km<sup>2</sup>. Contudo, a Classe Alta Ocupação, no período de 1998 a 2006, manteve-se praticamente igual. Isso pode ser atribuído à intervenção do poder público que a partir de 2000 implantou um

plano de macrodrenagem no igarapé. Observa-se também que nesse período a classe Média Ocupação era menor que no ano de 1972, porém maior que em 1977 e 1998.

Na Figura 5 apresentam-se imagens representativas da evolução da urbanização no período de 1972 a 2006 na bacia do igarapé Tucunduba, em Belém, PA. Ressalta-se no ano de 2006 a melhor definição do canal principal devido à implantação do plano de macrodrenagem iniciado em 2000.

A evolução do processo de urbanização ocasionou o adensamento populacional e a consequente redução de 755% na área de vegetação nativa do igarapé, no período de 1972 para 2006 (Matos et al., 2011).



**Figura 5.** Imagens representativas da evolução da urbanização no período de 1972 a 2006 na bacia do igarapé Tucunduba, em Belém, PA.

Considerando os dados de Cacela Filho et al. (2007) e segundo a classificação de solo (USDA, 1997) com relação à capacidade de infiltração dos solos, a bacia é composta por solos do tipo A e D. Aproximadamente 35% da área do Tucunduba possui solo do Tipo A e 65% solo tipo D. Verificam-se nas Tabelas 1 e 2 a evolução da ocupação das áreas referentes aos solos A e D.

**Tabela 1.** Evolução da ocupação nas áreas de solo Tipo A no igarapé Tucunduba.

Ocupação	Área (Km <sup>2</sup> )			
	1972	1977	1998	2006
<b>Alta</b>	1,43	2,54	4,45	4,49
<b>Média</b>	1,01	0,37	0,23	0,24
<b>Baixa</b>	2,45	1,98	0,22	0,16

**Tabela 2.** Evolução da ocupação nas áreas de solo Tipo D no igarapé Tucunduba.

Ocupação	Área (Km <sup>2</sup> )			
	1972	1977	1998	2006
<b>Alta</b>	2,68	4,77	8,33	8,42
<b>Média</b>	1,90	0,70	0,43	0,45
<b>Baixa</b>	4,60	3,72	0,41	0,30

A Tabela 3 ilustra o percentual de modificação na urbanização na bacia. Pode-se observar que a Classe Alta Ocupação, em 1977, apresentou crescimento aproximadamente 78% superior a 1972 e em 1998, cerca de 75% superior a 1977. A Classe Média Ocupação perdeu pouco mais que 63% de área em entre 1972 e 1977 e cerca de 37,5% no período de 1977 a 1998. A Classe de Baixa Ocupação cerca de 19% de área entre 1972 a 1977, quase 89% entre 1977 e 1998 e ainda, pouco mais de 26% entre 1998 e 2006.

**Tabela 3.** Evolução da ocupação para áreas de solos Tipo D+A em valores absolutos e percentuais na bacia do igarapé Tucunduba.

	Área (Km <sup>2</sup> )	(%)	Área (Km <sup>2</sup> )	(%)	Área (Km <sup>2</sup> )	(%)	Área (Km <sup>2</sup> )	(%)
Ocupação	1972		1977		1998		2006	
Alta	4,11	100	7,31	77,83	12,78	74,83	12,91	1,06
Média	2,91	100	1,07	63,37	0,67	-37,52	0,70	4,50
Baixa	7,05	100	5,70	19,21	0,63	-88,96	0,46	-26,39

De acordo com a condição hidrológica dos solos descritas pelo NRCS (1997) pode-se definir os valores Curva Número (CN) para as classes Alta, Média e Baixa ocupação em função do tipo de solo de acordo com o preconizado para as condições de solos do Brasil (Setzer e Porto, 1979). O solo do tipo A apresenta elevada capacidade de infiltração enquanto o solo tipo D apresenta baixa capacidade de infiltração. Dessa forma, para o solo tipo A definiram-se os valores de CN como 98, 61 e 45, respectivamente para as classes Alta, Média

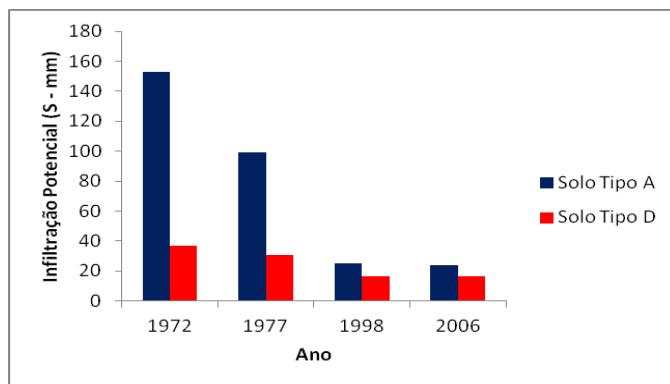
e Baixa ocupação. Para o solo Tipo D definiram-se os valores de CN como 98, 95 e 92, respectivamente.

Em função da porcentagem de área de cada tipo de solo na bacia e dos valores CN definidos pode-se calcular por meio da equação 7 (Targa, 2011) os valores CN ponderados (Tabela 4) para a área total (solos tipo A + D) e para as parcelas da bacia com solo Tipo A e solo tipo D e calcular com base na Equação 5 (USDA, 1997) a Infiltração potencial (S) para o solo Tipo A e solo tipo D (Figura 6).

**Tabela 4.** Evolução dos valores de CN ponderado e Infiltração Potencial (S) para o igarapé Tucunduba, em função do tipo de solo.

Ano	Tipo de Solo		
	A + D	A	D
	CN <sub>pond</sub>	CN <sub>pond</sub>	CN <sub>pond</sub>
1972	77,04	63,88	90,20
1977	83,04	73,85	92,24
1998	95,56	94,02	97,09
2006	95,90	94,57	97,23

Conforme se pode observar (Figura 6) o solo do Tipo A apresenta maior capacidade de infiltração potencial (S), contudo, na bacia esse valor diminui à medida que esse tipo de solo vai sendo impermeabilizado pelo processo de urbanização. O solo do Tipo D apresenta, já desde o início, uma menor capacidade de infiltração potencial (S), mas que também se reduz com o processo de urbanização.



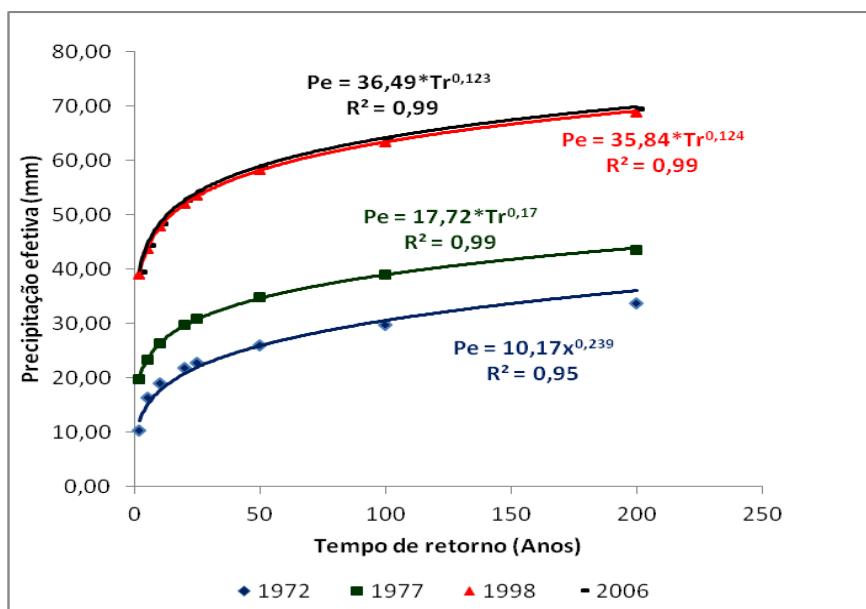
**Figura 6.** Variação da infiltração potencial (S) em função do Tipo de solo e do processo de impermeabilização devido à urbanização.

Na Tabela 5 são mostrados os valores de precipitação efetiva (Pe) com base na precipitação máxima de Belém com duração (td) igual ao Tempo de concentração (Tc) e Tempos de retorno (Tr) variando de 2 a 200 anos.

**Tabela 5.** Evolução da precipitação efetiva (Pe) para o Igarapé Tucunduba, em função do Tempo de retorno (Tr) e da precipitação máxima (P).

Tr (anos)	P (mm)	Precipitação efetiva - Pe (mm)			
		1972	1977	1998	2006
2	58,06	10,20	19,73	38,88	39,56
5	63,31	16,41	23,35	43,75	44,46
10	67,59	18,96	26,41	47,75	48,48
20	72,16	21,80	29,78	52,06	52,81
25	73,70	22,77	30,93	53,51	54,27
50	78,68	26,03	34,73	58,25	59,02
100	84,00	29,64	38,88	63,33	64,11
200	89,68	33,61	43,42	68,78	69,58

Os resultados obtidos na Tabela 5 para a bacia do igarapé Tucunduba (solo do Tipo A+D) são expressos graficamente na Figura 7 em que fica notória a variação da precipitação efetiva em função da modificação da superfície pela urbanização. Os valores da Tabela 5 (Pe e Tr) foram ajustados a um modelo do tipo potencial. Nesse ajuste foram obtidas as equações para cada período, e os valores de  $R^2$  que variaram de 0,95 para o ano de 1972 a 0,99 para os demais.



**Figura 7.** Aumento da precipitação efetiva (Pe) para o igarapé Tucunduba (Solo A+D), em função do Tempo de retorno (Tr) para a precipitação máxima (P) no período de 1972 a 2006.

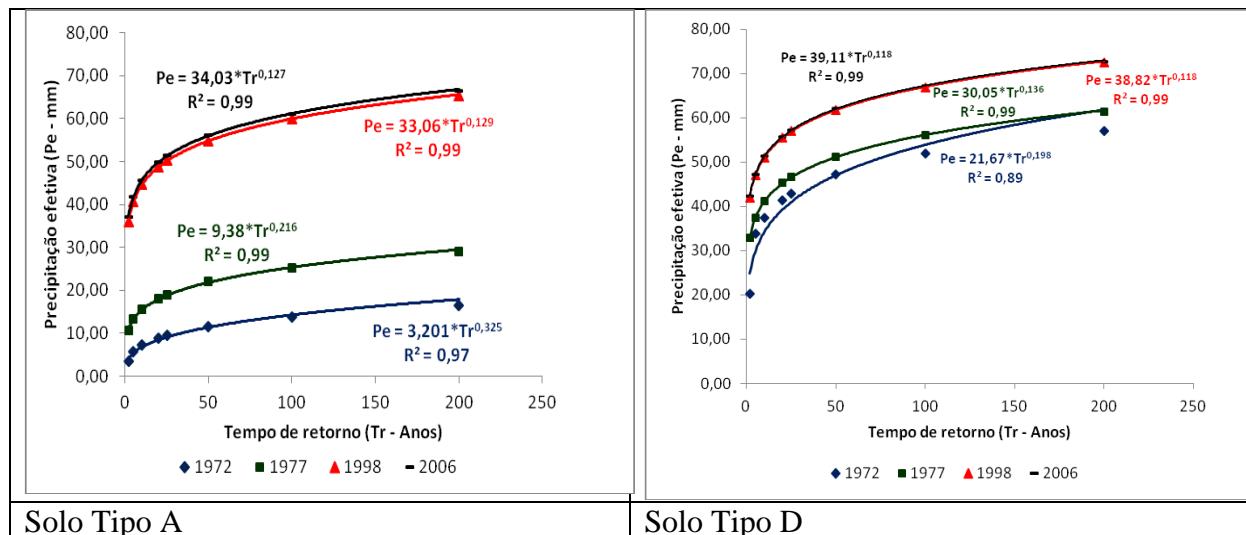
Em geral em cálculos de vazão máxima e escoamento em áreas urbanizadas, adota-se pelo menos 50 anos como o Tempo de retorno para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana (São Paulo, 1994).

Graficamente se visualiza na Figura 7 que Para o período que vai de 1972 para 1977 houve um acréscimo significativo no escoamento superficial que percentualmente pode-se inferir que esses aumentos foram da ordem de 33% para 50 anos de Tempo de retorno. Contudo, para o período de 1972 para 1998 houve, também, um acréscimo significativo no

escoamento superficial, e que percentualmente infere-se aumentos de cerca de 67% para 50 anos de Tempo de retorno.

Entre os anos de 1998 e 2006, praticamente não há diferença no escoamento superficial, pois a variação da precipitação efetiva é menor que 2%. Contudo, de 1972 para 2006 (34 anos), o acréscimo na área urbanizada foi da ordem de 215% que foi suficiente para provocar aumentos no escoamento superficial é da ordem de 127% para chuvas com 50 anos de Tempo de retorno.

Na Figura 8 são mostrados os acréscimos na precipitação efetiva (Pe) para as porções do solo tipo A e D na bacia do igarapé Tucunduba, em função do Tempo de retorno (Tr) para a precipitação máxima (P) no período de 1972 a 2006.



**Figura 8.** Aumento da precipitação efetiva (Pe) para as porções do solo tipo A e D no igarapé Tucunduba, em função do Tempo de retorno (Tr) para a precipitação máxima (P) no período de 1972 a 2006.

Os resultados obtidos de Pe e Tr para os solos do Tipo A e Tipo D foram ajustados a um modelo do tipo potencial. Nesse ajuste foram obtidas as equações para cada período, e os valores de R<sup>2</sup> que para solos Tipo A variaram de 0,97 para o ano de 1972 a 0,99 para os demais, enquanto para o solo Tipo D variaram de 0,89 para o ano de 1972 a 0,99 para os demais.

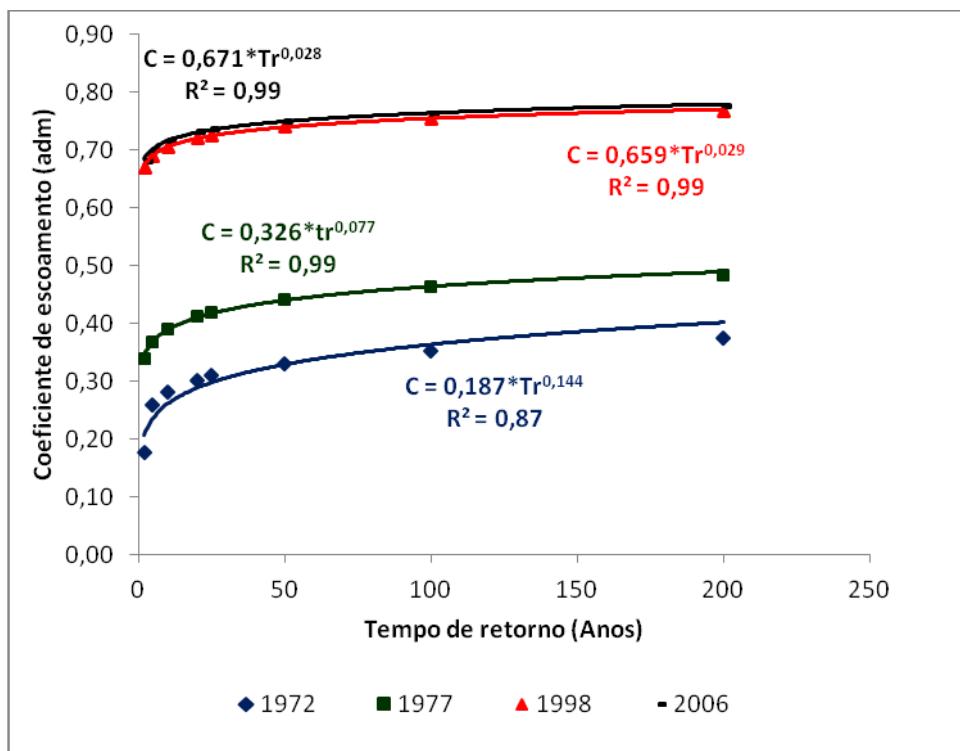
Na Figura 8, analisando somente as parcelas da bacia do igarapé Tucunduba com solo do Tipo A, observa-se que a partir do momento que a bacia sofreu urbanização entre 1972 e 1977, foi suficiente para promover decréscimo de 160mm para 100mm (Figura 6) na infiltração potencial (S) e com isso elevar no escoamento superficial para chuvas com Tempo de retorno de 50 anos na ordem de 90%. Entre 1977 e 1998 a infiltração potencial cai de 100mm para 25mm fazendo o escoamento superficial aumentar em quase 150%. Contudo, entre 1998 e 2006, o acréscimo em urbanização é pequeno e provoca aumento no escoamento superficial pouco superior a 2%, mas, nesse período mesmo o solo Tipo A tendo maior capacidade de infiltrar água, o escoamento superficial dessa área praticamente se iguala ao escoamento que ocorre na parcela de solo do Tipo D isso se deve a impermeabilização de quase toda área A. Considerando o período todo de 1972 a 2006 (34 anos) o acréscimo no escoamento superficial para chuvas de 50 anos de Tempo de retorno é de quase 385%.

Considerando a relação entre a precipitação efetiva (Pe) e a precipitação máxima (P) expressa na Equação 4, pode-se observar para a bacia do Igarapé Tucunduba (Figura 9) que o coeficiente de escoamento (C) varia com a magnitude da precipitação (P) para cada Tempo de

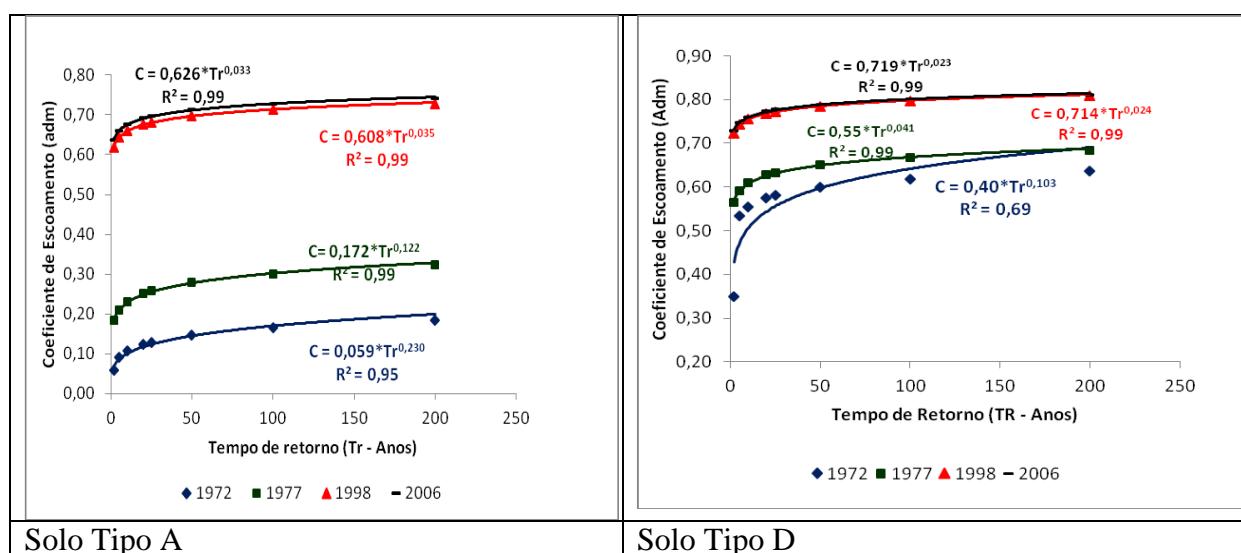
retorno (Tr), pois à medida que aumenta a precipitação e as condições de perdas iniciais e infiltração são satisfeitas, a precipitação efetiva (Pe) aumenta e assim o escoamento aumenta.

Os resultados obtidos para os coeficientes de escoamento C foram ajustadas a um modelo potencial cujas equações do tipo potencial e coeficientes de determinação  $R^2$  também estão demonstradas na Figura 9. Em geral os ajustes foram bons pois os valores de R variaram de 0,87 para o ano 1972 e 0,99 para os demais anos.

As modificações no escoamento superficial e nos valores do coeficiente de escoamento superficial (C) se devem principalmente à evolução do processo de urbanização, pois conforme demonstraram Matos et al. (2011), a evolução da urbanização na bacia do Igarapé Tucunduba ocasionou o adensamento populacional e a consequente redução de 755% na área de vegetação do Igarapé, no período de 1972 para 2006. Os coeficientes de escoamento superficial variaram na média para a bacia do Igarapé do Tucunduba (Solos Tipo A+D) de 0,30; 0,41; 0,72 e 0,73, respectivamente, para os anos de 1972, 1977, 1998 e 2006. Basicamente os valores obtidos para o coeficiente de escoamento 1972 e 1977 apresentaram variação em função dos tempos de retorno entre 0,18 e 0,48, o que denota uma resposta de áreas rurais, enquanto que para os anos 1998 e 2006 os valores variaram na ordem de 0,67 a 0,78 denotando uma resposta de áreas urbanas.



**Figura 9.** Variação do coeficiente de escoamento (C) para o igarapé Tucunduba (Solo A+D) em função do Tempo de retorno (Tr) no período de 1972 a 2006.



**Figura 10.** Variação do coeficiente de escoamento (C) para as porções do solo Tipo A e Tipo D no Igarapé Tucunduba, em função do tempo de retorno (Tr), no período de 1972 a 2006.

Os coeficientes de escoamento superficial para ambos os tipos de solos (A e D) em função do tempo de retorno foram ajustados a um modelo potencial e suas respectivas equações e valores de  $R^2$  podem ser observados na Figura 10. As equações tiveram melhor ajuste nos resultados obtidos para o solo Tipo A que apresentou valores de  $R^2$  de 0,95 para o ano de 1972 e 0,99 para os demais anos. Por outro lado o ajuste da equação aos pontos calculados do coeficiente de escoamento para a área de solo Tipo D no ano de 1972 apresentou um  $R^2$  de apenas 0,62, enquanto que os demais anos apresentaram valores de  $R^2 = 0,99$ .

Pode se observar que na média, após a consolidação da urbanização da bacia do Igarapé Tucunduba, que ocorre efetivamente entre 1998 e 2006, praticamente não ocorre variação no valor médio do coeficiente de escoamento superficial (C), pois para a parcela da bacia com solo Tipo A é de 0,13 (1972), 0,25 (1977), 0,68 (1998) e 0,69 (2006) enquanto que para a parcela da bacia com solo Tipo D é de 0,56 (1972), 0,63 (1977), 0,77 (1998 e 2006).

Para a área com solo Tipo A no período de 1972 e 1977 os valores de coeficiente de escoamento(C) variaram de 0,06 a 0,32 em função dos tempos de retorno, denotando resposta de área florestal e rural, enquanto para o período de 1998 a 2006 esses valores variaram de 0,62 a 0,74 denotando resposta de área urbanizada.

Para a área com solo Tipo D no período de 1972 e 1977 os valores de coeficiente de escoamento(C) variaram de 0,35 a 0,68 em função dos tempos de retorno, denotando resposta de área rural e urbana, enquanto para o período de 1998 a 2006 esses valores variaram de 0,72 a 0,81 denotando resposta de área totalmente urbanizada.

A implantação do projeto de macro drenagem, iniciado em 2000, tem retirado as moradias e estabelecido um perfil melhorado para o canal do Igarapé Tucunduba com a finalidade de minimizar os problemas de cheias e garantir melhor condição de vida à população do entorno. Conforme Tucci (2002), a qualidade da água da rede pluvial depende, dentre outros fatores, da limpeza urbana e de sua frequência. De fato, as obras iniciadas em 2000 de certo modo melhoraram a qualidade da água. Os coliformes são importantes indicadores microbiológicos de poluição e segundo Lopes et al. (2007), valores da ordem de  $10^7$  NPM ocorreram no ano de 1989 e permaneceram próximo a esse patamar durante dez anos. Em 2000, devido à desapropriação e remoção dos imóveis e comércios próximos à margem, bem como a periódica limpeza do leito, houve melhoria nos valores de Coliformes que caíram para  $10^3$  a  $10^5$  NPM.

O projeto de macrodrenagem (Belém, 2001) prevê a urbanização nas margens do canal do Tucunduba e o remanejamento de 1.300 famílias que residem no entorno. O deslocamento dessas famílias seria necessário para que fossem concluídas as obras de saneamento e urbanização em execução na área e que iriam beneficiar diretamente mais de 4 mil famílias que vivem naquele local (Figura 11).



**Figura 11.** Imagens de início das obras no Igarapé Tucunduba após a remoção das casas.

Um conjunto residencial, denominado Liberdade, está sendo construído (Figura 12) para as famílias remanejadas das margens do Igarapé pela Companhia de Habitação do Estado do Pará - COHAB-PA em área cedida pela UFPA (Universidade Federal do Pará) entre a Avenida Perimetral e a marginal do Tucunduba, conforme se observa na Figura 13.



**Figura 12.** Início de construção pela COHAB do Conjunto Residencial Liberdade às margens do Igarapé Tucunduba.

Na área destinada à construção do Conjunto Residencial, a largura do Igarapé Tucunduba tem, aproximadamente, 20m e pelo Art 3º da resolução do CONAMA (2002), a distância para se construir deveria ser de 50m. Na realidade a distância é de 46,27m na margem esquerda do igarapé, portanto dentro de área de APP. Outro aspecto que chama a atenção é que praticamente essa era a única área que possuía concentração de vegetação nativa na bacia do Tucunduba.



**Figura 13.** Área reservada para a construção do Conjunto Residencial Liberdade às margens do Igarapé Tucunduba.

A crescente urbanização implica em alterações da superfície e ocasiona desequilíbrio na fase terrestre do ciclo hidrológico, pois o aumento da impermeabilização provoca a diminuição das áreas de recarga e aumenta do escoamento superficial e, consequentemente, o valor do coeficiente de escoamento.

Com relação às inundações, principalmente pelo fato das áreas mais a jusante da bacia serem ocupadas pela população de baixa renda e de forma ilegal e, em geral, pelo fato das áreas a montante serem ocupadas pela população de média e alta renda, incluindo atividades de comércio e indústria estabelecidas de forma legal, o uso indiscriminado de tubulações e canalizações nas áreas mais elevadas pelo poder público transfere o escoamento superficial e agrava rapidamente os problemas da inundações nas áreas mais baixas. De fato, isso se deve, também, à erosão do solo e ao assoreamento de canais e galerias, diminuindo suas capacidades de condução do excesso de água.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base na análise auxiliada por técnicas de geoprocessamento da bacia do igarapé do Tucunduba, em Belém do Pará, ficou evidenciado que em função do aumento da urbanização nos anos de 1972, 1977, 1998 e 2006 a infiltração potencial ( $S$ ) reduziu drasticamente e com isso a precipitação efetiva (escoamento) aumentou, resultando em valores médios de 22,43; 30,90; 53,29 e 54,04 mm para os diferentes anos.

Os coeficientes de escoamento superficial  $C$  variaram na média para a bacia do Igarapé do Tucunduba de 0,30; 0,41; 0,72 a 0,73, respectivamente, para os anos de 1972, 1977, 1998 e 2006, em função do crescimento da urbanização.

As áreas que apresentam boa infiltração na bacia após a consolidação do processo de urbanização perdem sua função de infiltrar água e respondem como solo de baixa infiltração tanto nos valores de escoamento quanto dos coeficientes de escoamento.

## 5. REFERÊNCIAS

- AGUIAR, L. S. G.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T. Escoamento superficial na bacia hidrográfica do Ribeirão Itaim. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 2, n. 1, p. 44-56, 2007. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.19>
- BELÉM. Prefeitura Municipal. Programa Habitar Brasil – BID. Sub-Programa Urbanização de Assentamentos Subnormais. **Plano de desenvolvimento local Riacho Doce e Pantanal**. Concepção Geral. Belém: Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão/Secretaria Municipal de Saneamento/Fundação PAPA João XXIII, 2001.v. 1.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems: methods and requirements for land use planning**. Oxford : Clarendon Press, 1986.
- CACELA FILHO, F. C. O.; SILVA, A. P. S.; BARP, A. R. B.; COSTA, L. E. C. Modelagem da bacia hidrográfica urbana utilizando o Watershed Modeling System (WMS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 21-26 abril 2007, Florianópolis. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3303-3310.
- CASTRO, E. Geopolítica da água e novos dilemas a propósito da Amazônia e seus recursos naturais. In: ARAGON, L. E.; CLÜSENER-GODT, M. (Orgs.). **Problemática do uso local e global da água da Amazônia**. Belém: NAEA, 2003. p. 334.
- FAURE, J. F. **Dinâmicas de urbanização em meio tropical úmido**: uso do sensoriamento remoto para a construção de indicadores sócio-ambientais na Amazônia Oriental. 2002. 67f. Relatório (Pesquisa de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Regional) - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 2002.
- FERREIRA, C. F. **Produção do espaço urbano e degradação ambiental**: um estudo de caso sobre a várzea do Igarapé do Tucunduba Belém-Pará. 1995. 120f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Coordenadoria de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.
- GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no estado de São Paulo: estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 3, p. 45-58, 2000.
- KIRPICH, Z. B. Time of concentration of small agricultural watersheds. **Engineers Notebook**, v. 10, n. 6, 1940.
- LIMA, M. G.; GASCON, C. The conservation value of linear forest remnants in central Amazonia. **Biological Conservation**, v. 91, n. 2/3, p. 241-247, 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207\(99\)00084-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00084-1)
- LIMA, W. P. **Hidrologia florestal aplicado ao manejo de bacias hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2008. 245p.
- LOPES, D. F.; MACHADO, L. C. G. T.; LOPES, M. do S. B.; BRAZ, V. N. Situação temporal da contaminação dos canais de drenagem da cidade de Belém - caso do igarapé Tucunduba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABES, 2007.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa-MG, v. 27, n. 4, p. 727-733, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832003000400017>

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. E.; CRUCIANI, D. E. Simulação de escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 147–155, 2003.

MARTINEZ JUNIOR, F.; MAGNI, N. L. G. **Equações de chuvas intensas do Estado de São Paulo**. São Paulo: DAEE/CTH, 1999. 141p.

MATOS, F. C.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise temporal da expansão urbana no entorno do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Biociências**, v. 17, n. 1, p. 7-16, 2011.

MOREIRA, E. Belém e sua expressão geográfica. Belém: UFPA, 1966. (Cadernos NAEA, n. 2).

NASCIMENTO, C. C. **Clima e morfologia urbana de Belém**. Belém: Universidade Federal do Pará, 1995. 160p.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A.; SILVA, E. Uso de geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 207-220, 2005.

OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. P.; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas intensas para algumas localidades no Estado de Goiás e Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 35, n. 1, p. 13-18, 2005.

PARÁ. Governo do Estado. Plano diretor de mineração em áreas urbanas: região metropolitana de Belém. Belém: IBGE, 2002. 157 p.

PEREIRA, G. C.; SILVA, B. N. Geoprocessamento e urbanismo. In: GERARDI, L. H. O.; MENDES, I. A. (Orgs). **Teoria, técnica, espaços e atividades**: temas de geografia contemporânea. São Carlos: UNESP/AGETEO, 2001. 432 p.

PFASTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil**: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas, registradas com pluviógrafos, em 98 postos meteorológicos. 2. ed. Rio de Janeiro: DNOS, 1982. 426p.

PINHEIRO, R. V. L. Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guará – Belém/PA. 1987. 164f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Pará, Belém, 1987.

PINTO, F. A. **Chuvas intensas no estado de Minas Gerais**: análises e modelos. 1995. 87f. Tese (Doutorado em ) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; TEIXEIRA, A. F.; SILVA, J. M. A.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, D. F. Chuvas intensas para o Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia agrícola, 2002. 1 CD-Rom.

RAMOS, J. M. T. **Entre dois tempos**: um estudo sobre o bairro do Guamá/Escola Frei Daniel/Patrônio. Belém: [s.n.], 2002. 75p., il.

REBOUÇAS, A. C. A água doce no mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 2.ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 1-37.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133-137, 1998.

SANTOS, M. T. P. **Avaliação ambiental da matéria orgânica degradada nos canais de drenagem da região metropolitana de Belém (PA)**. 1997. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 1997.

SANTOS, V. G.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACEDO, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v. 31, n. 5, p. 931-940, 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622007000500017>

SANTOS, G. G.; FIGUEIREDO, C. C.; OLIVEIRA, L. F. C.; GRIEBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência de chuvas para o estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, (suplemento), p. 899-905, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Manual de cálculos das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1994. 64p.

SCARAMUSSA, P. H. M.; SOUZA, R. O. R. M.; AMARAL, A. C. M.; PANTOJA, A. V.; PEREIRA NETO, J. A. Equações de chuvas intensas para localidades do Estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém. **Anais... A Amazônia e o clima global**. Belém: SBMET, 2010.

SETZER, J.; PORTO, R. L. L. Tentativa de avaliação do escoamento superficial de acordo com o solo e seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do DAEE**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 82-135, maio/ago. 1979.

TARGA, M. S. Hidrologia e manejo de bacias hidrográficas. Taubaté: UNITAU, 2008. 61f. 1 Apostila.

TARGA, M. S. **Vazão de projeto em bacias hidrográficas rurais com áreas em declive**. Taubaté: Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, 2011. p. 1-20. Disponível em: <<http://www.agro.unitau.br/dspace>>. Acesso em: ago. 2012.

TAVARES, J. P. N. Enchentes repentinas na cidade de Belém-PA: condições climáticas associadas e impactos sociais no ano de 1987. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 9, n. 28. p. 1 – 6, 1998.

TOWSHEND, J. R. G. Environmental database and GIS. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. **Geographical information systems**: principles and applications. New York: Longman Scientific & Technical, 1992, p. 201-205.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.905>)

---

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, jul./dez. 1997.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. 2002.

TUCCI, C. E. M. Urban waters. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>

UNITED STATES. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service - NRCS. Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: \_\_\_\_\_. **National engineering handbook hydrology chapters**. Washington, DC, 1997. Part 630. Cap. 10. 79p. Disponível em: <[www.nrcs.usda.gov](http://www.nrcs.usda.gov)>. Acesso em: abril de 2010.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.