UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
DOUTORADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

CAPACIDADE DE INTERCEPTAÇÃO PELAS ÁRVORES E SUAS INFLUÊNCIAS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO

PATRÍCIA LAYNE ALVES

Goiânia
2015

PATRÍCIA LAYNE ALVES

CAPACIDADE DE INTERCEPTAÇÃO PELAS ÁRVORES E SUAS INFLUÊNCIAS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO

Tese apresentada ao Programa de Doutorado em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito à obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental

Orientador: **Professor Doutor Klebber Teodomiro Martins Formiga**

Goiânia

2015

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS (TEDE) NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: **[ ] Dissertação** **[X] Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor (a):	Patrícia Layne Alves				
E-mail:	patricialaynearq@yahoo.com.br				
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? [X]Sim [ ] Não					
Vínculo empregatício do autor	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Goiânia				
Agência de fomento:	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás			Sigla:	FAPEG
País:	Brasil	UF:	GO	CNPJ:	08.156.102/0001-02
Título:	Capacidade de interceptação pelas árvores e suas influências no escoamento superficial urbano				
Palavras-chave:	Arborização urbana; Parcelamento territorial; *Low Impact Development*; *Storm Water Management Model.*				
Título em outra língua:	Capacity of interception by trees and influences on urban runoff				
Palavras-chave em outra língua:	Urban forestry; Territorial installment; Low Impact Development; Storm Water Management Model.				
Área de concentração:	Estrutura e Dinâmica Ambiental				
Data defesa: (dd/mm/aaaa)	16/04/2015				
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais				
Orientador (a):	Klebber Teodomiro Martins Formiga				
E-mail:	Klebber.formiga@gmail.com				
Co-orientador (a):	----------				
E-mail:	----------				

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização?[1] [X] total [ ] parcial

Em caso de disponibilização parcial, assinale as permissões:

[ ] Capítulos. Especifique: _____

[ ] Outras restrições: _____

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF ou DOC da tese ou dissertação.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Patrícia B. Alves.

_____ Data: 15 / 05 / 2015

Assinatura do (a) autor (a)

[1] Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

Alves, Patrícia Layne
Capacidade de interceptação pelas árvores e suas influências no escoamento superficial urbano [manuscrito] / Patrícia Layne Alves. - 2015.
x, 100 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, , Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Goiânia, 2015.
Bibliografia.
Inclui fotografias, gráfico, tabelas.

1. Arborização urbana. 2. Parcelamento territorial. 3. Low Impact Development. 4. Storm Water Management Mode. I. Formiga, Klebber Teodomiro Martins, orient. II. Título.

Este trabalho é dedicado

aos meus pais, Vera e Laerte, e à minha irmã, Katyane, pelo amor, apoio e orientação durante toda minha vida.

Ao meu esposo Marco Antônio pelo imenso amor, suporte, companheirismo, compreensão e cumplicidade durante toda esta jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela oportunidade da vida, da saúde e do conhecimento.

Ao Professor Klebber Teodomiro Martins Formiga, que com muita sabedoria, paciência e dedicação, não apenas orientou esta tese de doutorado, mas também depositou em mim confiança, proporcionando-me grandes oportunidades de conhecimento.

À grande amiga Fernanda Posch e sua querida família, pela imensa paciência, apoio e importantes contribuições em todas as fases desse trabalho.

Às Doutoras Maria do Amparo Albuquerque Aguiar e Ina de Souza Nogueira; aos doutores Fábio Venturoli e Fausto Miziara da Universidade Federal de Goiás, pelos esclarecimentos ao longo da evolução dessa pesquisa.

Ao Doutor Ademir Paceli Barbassa da Universidade Federal de São Carlos por aceitar nosso convite para compor a banca avaliativa desta tese.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás por me autorizar licença para a realização desse trabalho, bem como à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás pela bolsa de estudos a mim concedida durante meu processo de graduação em doutorado.

À Financiadora de Estudos e Projetos pelo auxílio financeiro para a compra dos equipamentos utilizados nesse trabalho.

Particularmente, aos padres, seminaristas e funcionários do Seminário Maior São José da Cidade de Uruaçu, Goiás, por terem me acolhido com grande carinho e cedido o espaço com indivíduos arbóreos que favoreceram a realização desse trabalho de graduação.

A todos aqueles, em especial familiares e amigos, que participaram deste processo, com palavras de estímulo, incentivo e carinho.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL ..... **ix**
ABSTRACT ..... **x**
1. INTRODUÇÃO GERAL **1**
1.1. Água no contexto urbano 1
1.2. Árvores e interceptação da água de chuva 2
1.3. As árvores no contexto urbano 3
1.4. Planejamento urbano e arborização urbana 4
1.5. *Low Impact Development* (LID) 6
1.6. *Storm Water Management Model* (SWMM) 8
2. O PROBLEMA DA PESQUISA **9**
3. OBJETIVO DA TESE **13**
4. ESTRUTURA DA TESE **13**
5. ÁREA DE ESTUDO **15**
6. REFERÊNCIAS **16**

ARTIGO 1 ..... **19**
Capacidade de interceptação de chuva por copas de espécies arbóreas empregadas na arborização urbana
Introdução 21
Material e Métodos 23
Resultados e Discussão 27
Conclusão 36
Referências 37

ARTIGO 2 ..... **39**
Interferências de espécies arbóreas na interceptação das águas pluviais urbanas - impactos no tempo de concentração
Introdução 41
Material e Métodos 43
Resultados e Discussão 46
Conclusão 54
Referências 55

ARTIGO 3 ..... **57**

Redução de escoamento superficial e atraso no pico de vazão ocasionados pela presença da arborização no meio urbano

Introdução 59
Material e Métodos 61
Resultados e Discussão 66
Conclusão 73
Referências 75

ARTIGO 4 ..... **77**

Influências da arborização, do planejamento urbano e do LID no escoamento superficial de águas pluviais: medição, análise e modelagem

Introdução 79
Material e Métodos 81
Resultados e Discussão 89
Conclusões 95
Agradecimentos 97
Referências 97

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS **99**

RESUMO GERAL

Os transtornos relacionados à água, no ambiente urbano, têm merecido destaque diante da problemática causada pela sua falta e/ou excesso. Dentre este cenário, tem-se a ocupação desordenada do espaço urbano, que aliada à supressão da cobertura natural do solo e da vegetação acarretam ao escoamento urbano maior volume, poluição e menor tempo ao pico de vazão. Neste contexto, insere-se os benefícios da arborização urbana, que além do valor estético que agrega ao espaço, oferece barreiras físicas às águas pluviais, favorecendo a sua retenção, armazenamento e infiltração no solo. Este estudo se propõe a avaliar a capacidade de algumas espécies arbóreas em interceptar as águas de chuva pelas suas copas, reduzir o volume de escoamento superficial urbano, retardar os picos de vazão, bem como de ampliar o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica urbana. A pesquisa teve experimentos de campo com espécies arbóreas recorrentes à arborização urbana de Uruaçu, Goiás, utilizando pluviógrafos, coletores de tronco e linígrafos. A partir do emprego dos parâmetros de interceptação determinados neste estudo, foram realizadas simulações computacionais com o uso do modelo *Storm Water Management Model* (SWMM), partindo da proposição de cenários com diferentes tipologias de parcelamento territorial associados às práticas de *Low Impact Development* (LID) e à arborização urbana. Durante o período de coleta de dados de 2012/2013, os eventos chuvosos tiveram mediana de 16.7mm de precipitação acumulada. Neste período, os valores medianos de interceptação foram: *Mangifera indica* – 8.0mm; *Pachira aquatica* - 7.4mm; *Licania tomentosa* – 7.2mm; e, *Caesalpinia peltophoroides* - 4.8mm. No período de coleta dados referente a 2013/2014, as precipitações medianas dos eventos chuvosos foram de 20.7mm, e os valores medianos para interceptação e escoamento pelo tronco, foram respectivamente: 5.7mm e 0.1mm para a *Mangifera indica*; 4.5mm e 0.2mm para a *Licania tomentosa*; e, 3.8mm e 0.3mm para a *Tabebuia ochracea*. O retardo mediano no início das chuvas ocasionado pelas espécies arbóreas foi de 3min. A presença dos indivíduos arbóreos propiciou, um atraso mediano no tempo ao pico de 3 minutos, uma redução do pico de vazão de 0.8 mm/min e do escoamento superficial de 4.7mm/min. Através de simulações, com o cenário em que o planejamento urbano arborizado agregava todas as técnicas de LID neste estudo empregadas, conseguiu-se atingir a redução das vazões de pico em 3.42m³/s, em relação ao projeto convencional; permitindo o armazenamento de um volume de água de 4470.59m³ nas estruturas de infiltração locais propostas; e, retardar os picos de vazão em até 6 min. Esta tese, confirma a interferência das características individuais das espécies na capacidade de interceptação de chuva por suas copas e na redução do escoamento superficial, ressaltando a necessidade de definição criteriosa das espécies que comporão a arborização urbana; atesta a existência de variações nas interceptações em relação aos eventos chuvosos e durante suas ocorrências; bem como, aponta dados quantitativos de redução de volume precipitado e escoado pela presença do indivíduo arbóreo no meio urbano. A pesquisa comprovou que, isoladamente, a arborização e as técnicas de LID causam pouca redução no volume e vazão e, pouco retardo no tempo ao pico do escoamento, enquanto que somadas contribuem de forma significativa à drenagem. O presente estudo se difere pela utilização de pluviógrafos e linígrados para a aferição de precipitações e escoamento superficial diretamente sob as copas de indivíduos arbóreos em ambiente urbano; e, agrega ao SWMM a inserção dos benefícios arbóreos na simulação hidrológica.

Palavras-chave: arborização urbana; parcelamento territorial; *Low Impact Development*; *Storm Water Management Model*.

ABSTRACT

Problems related to water, in the urban environment, have drawn attention in the face of the problem caused by its lack and/or excess. Among this backdrop there is the tumultuous occupation of urban space that combined with the suppression of soil coverage and vegetation leads to the urban runoff higher volume, pollution and shorter time to peak discharge. In this context, the benefits of urban afforestation are present, which besides the aesthetic value added to space, set up physical barriers to stormwater, favoring its retention, storage and infiltration into the soil. This study aims to evaluate the capacity of rainfall interception treetops the some species, reduce the volume of urban runoff, slow the flow peaks, as well as to expand the attention span of an urban watershed. The research was field experiments with recurrent arboreal species in the urban afforestation of Uruaçu, Goiás, using pluviographs, trunk collectors and water level sensor. From the use of interception parameters determined in this study, computer simulations using the Storm Water Management Model Model (SWMM) were performed, starting from the proposition of scenarios with different types of territorial installment associated with the Low Impact Development practices (LID) and urban forestry. During the data collection period 2012/2013, the rainfall events had a median of accumulated rainfall of 16.7mm. During this period, the median values of interception were Mangifera indica - 8.0mm; Pachira aquatica - 7.4mm; Licania tomentosa - 7.2mm; and Caesalpinia peltophoroides - 4.8mm. The period of data collection relating to 2013/2014, the median precipitation of rainfall events were 20.7mm, and the median values for interception and stemflow were respectively: 5.7mm and 0.1mm for Mangifera indica; 4.5mm and 0.2mm for Licania tomentosa; and 3.8mm and 0.3mm for Tabebuia ochracea. The delay at the start of average rains caused by tree species was 3min. The presence of individual trees afforded a median delay in the peak time of 3 min, a reduction of the peak flow of 0.8 mm/min and runoff of 4.7mm/min. Through simulations with the scenario where the wooded urban planning aggregated all LID techniques employed in this study, it was possible to achieve a reduction in peak flows in 3.42m³ / s, compared to conventional design; allowing storage of a volume of water in 4470.59m³ local infiltration proposed structures; and delay the peak flows of up to 6 min. This thesis confirms the interference of the individual characteristics of the species in the rain interception capability by their canopies and reducing runoff, highlighting the need for careful definition of the species that make up the urban forestry; testifies the existence of variations in interceptions in relation to rainfall events and during their occurrence; as well as quantitative data points precipitate volume reduction and drained by the tree individual presence in urban areas. Their research shows that, alone, afforestation and LID techniques cause little reduction in volume and flow and little delay in time to peak flow, while combined contribute significantly to drainage. This study differs from the use of recording rain gauges and linígrados for the measurement of precipitation and runoff directly under the canopy of individual trees in an urban environment; and adds to SWMM the insertion of arboreal benefits in hydrological simulation.

Keywords: urban forestry; territorial installment; Low Impact Development; Storm Water Management Model.

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1. Água no contexto urbano

Nas cidades, a água possui vários aspectos. O mais difundido e, frequentemente, mencionado é o abastecimento. Porém, com o crescimento populacional e a densificação de áreas urbanas há a criação de condições ambientais inadequadas, propiciando o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, poluição do ar e sonora, aumento de temperatura, contaminação da água subterrânea entre outros. Esse processo, quando agravado evidencia que o desenvolvimento urbano sem qualquer planejamento ambiental pode resultar em prejuízos significativos para sociedade.

Atualmente, uma das crises mundiais se refere a água, principalmente pelo aumento de consumo e deteriorização dos mananciais existentes que, por sua vez, têm capacidade finita. Isto ocorre principalmente pelo aumento do consumo e pela contaminação dos mananciais urbanos através do despejo dos efluentes domésticos, industriais e dos esgotos pluviais.

Os principais efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico são apresentados, por Delleur (2003) e Tucci (2003) como sendo: o aumento do escoamento superficial e redução do tempo de escoamento, que provocam aumento nas vazões máximas e antecipam os picos de cheias; a redução do escoamento subterrâneo, que causam rebaixamento do nível do lençol freático; a redução nos processos de evapotranspiração e; a redução da infiltração da água no solo.

Nota-se que as consequências da impermeabilização dos solos são um tanto paradigmáticas, pois, se por um lado há a concentração de grandes quantidades de água sob a forma de escoamento superficial, provocando inundações, por outro, estas águas superficiais não chegam onde deveriam, ao subsolo, levando a uma queda no abastecimento dos lençóis freáticos (OHNUMA JÚNIOR, 2005).

Com isso, torna-se necessário distinguir inundações naturais das inundações artificiais. As cheias naturais ocorrem em função dos períodos de retorno mais ou menos alargados, sendo passíveis de se prever, dado apresentarem alguma ciclicidade temporal. Os problemas decorrentes destes acontecimentos naturais são tanto maiores quanto maior for a ocupação humana dentro dos tradicionais limites dos leitos de cheia da respectiva bacia hidrográfica. Por sua vez, as inundações artificiais resultam de causas artificiais, podendo ter um impacto em maior escala, dependendo da abrangência da alteração do uso do solo da bacia hidrográfica. Estas alterações normalmente

relacionam-se com ações a montante, tais como: redução da cobertura vegetal, grandes impermeabilizações dos solos, incêndios florestais, entre outros (PAUL; MEYER, 2001).

O aumento do escoamento superficial em áreas urbanizadas provoca, ainda, erosão, servindo de meio transportador de muitos poluentes tóxicos e orgânicos. Outro agravante é que quando o processo de ocupação do solo se dá em maior concentração à montante de uma bacia hidrográfica, sabe-se que ocorre um aumento do escoamento superficial e redução no tempo de retardamento nesta bacia, potencializando os efeitos das enchentes à jusante (BROWN; KEATH; WONG, 2009).

Porém, no meio urbano existe a vegetação e a arborização urbana, que interferem diretamente no escoamento superficial por um processo natural. Processo este que envolve além da permeabilidade do solo, a existência de uma cobertura vegetal composta por vegetações rasteiras, arbustos e árvores que podem influenciar diretamente no escoamento por meio da interceptação.

1.2. Árvores e interceptação da água de chuva

A interceptação da água da chuva ocorre quando esta é subdividida nas copas das árvores, onde, temporariamente, uma parte é retida, outra escoa pelo tronco e outra é evaporada para atmosfera (ARCOVA; CICCO; ROCHA, 2003).

Segundo Crockford; Richardson (2000), o processo de interceptação nas copas é influenciado por três fatores principais: o tipo de evento de chuva (magnitude, intensidade e duração); a estrutura da copa em cada espécie arbórea; e as condições meteorológicas.

Em ambientes florestais, o estudo de interceptação tem o objetivo de elaborar normas de manejo das espécies, enquanto que, para as árvores urbanas isoladas, busca-se verificar a proteção da qualidade da água, o controle de poluentes e enchentes e, as possíveis reduções do escoamento superficial (XIAO; McPHERSON, 2002).

Em interceptação de águas das chuvas por árvores urbanas, os pontos que devem ser evidenciados são que a retenção das precipitações é influenciada por: intensidade e duração da chuva; a espécie das árvores; a permanência das folhas ou não (espécies decíduas ou sempre-vivas); arquitetura da árvore, tamanho, tipo e número de folhas e distribuição de folhas e galhos pela estrutura da árvore; tempo, temperatura, umidade relativa, velocidade dos ventos e radiação solar (XIAO et al., 2000; XIAO et al., 2007).

É por meio do processo de interceptação que a floresta urbana influencia diretamente na distribuição de água na superfície do solo. As consequências da presença das árvores são alterações na distribuição temporal e espacial das chuvas, que atingem a copa e diminuem a quantidade de água que chega efetivamente ao solo (LIMA, 1986), causando um possível alívio às redes de drenagem e corpos receptores do escoamento urbano.

1.3. As árvores no contexto urbano

Davis et al. (2009) apontam que as árvores podem gerar retornos financeiros, por meio da produção de madeira, biomassa, créditos de carbono, ou outras saídas patrimoniais positivas. Já para autores como Dwyer et al. (1989) e Burger (2009), as árvores devem ser cultivadas para criar ambientes de recreação e promover hábitos saudáveis, tais como caminhadas e parques públicos. Enquanto que Nordh et al. (2009) constataram que em ambientes urbanos as árvores são, acima de tudo, fonte de beleza e bem-estar.

Grey (1978) e Price (2003) apontam como benefícios da arborização no meio urbano: estabilização microclimática e redução das ilhas de calor; redução da poluição atmosférica, através da retenção de material particulado em suspensão; redução da poluição sonora; sombreamento; proteção contra a ação dos ventos; criação de alimento, abrigo e local de nidificação para as diversas espécies da fauna silvestre; criação de corredores ecológicos para a avifauna em geral; aprimoramento a paisagem urbana; contribuição para o controle de enchentes e inundações à medida que melhora as condições de drenagem das águas pluviais por meio da aberturas de áreas permeáveis adequadas; redução dos problemas de erosão e assoreamento; valorização de imóveis, através da sua qualificação ambiental e paisagística; contribuição para o equilíbrio mental e físico do homem, através da aproximação e contato com o meio natural; e, melhoria do ciclo hidrológico.

Lohr et al. (2004), por outro lado, elencam alguns impactos negativos, dentre os quais podemos citar: danos físicos e financeiros causados pelas quedas naturais de árvores; interferências com a rede de distribuição de energia elétrica; interferências com iluminação de logradouros, causando problemas de segurança pública; danos às edificações comerciais e residenciais provocados pela queda de galhos; entupimento de calhas e redes de drenagem pela queda das folhas; disseminação de pragas urbanas (cupins e brocas); aspecto visual negativo, com deformação de suas copas, em função das podas realizadas para desobstrução da fiação aérea de energia elétrica, de telefonia e de multisserviços; e, aumentos dos custos de manutenção da arborização, em virtude do grande quantitativo de podas.

Arborizar uma cidade não significa apenas plantar árvores e arbustos em suas ruas, avenidas, praças e parques, pois a implantação de vegetais deve atingir objetivos de ornamentação, de melhoria microclimática e diminuição da poluição sendo esta fundamentada em critérios técnico científicos que viabilizam tais funções (CAVALCANTI et al., 2003).

Grande parte dos problemas enfrentados na arborização urbana está ligado ao desconhecimento das espécies estabelecidas, evidenciando, dessa maneira, que a adequada seleção, contribui para o sucesso do empreendimento. Segundo Nowak; Dwyer (2007), o planejamento urbano, muitas vezes, não inclui projetos de arborização, permitindo que iniciativas particulares executem o plantio irregular de espécies.

A manutenção da arborização no contexto urbano necessita o cumprimento de ações consideradas por Toscan et al. (2010) indispensáveis, tais como o investimento em legislação que defina critérios de manejo para a arborização, incentivo ao estudo científico para levantamento do patrimônio arbóreo da cidade, elaboração de planos de arborização e manejo de áreas verdes, entre outros.

Leal, Biondi; Rochadelli (2008) consideram que a arborização no contexto urbano é um patrimônio que deve ser mantido e conhecido pela população, assim, torna-se imprescindível a realização de estudos acerca dos indivíduos vegetais distribuídos nas vias urbanas, a fim de se planejar a vegetação e garantir seus benefícios.

1.4. Planejamento urbano e arborização urbana

O termo arborização urbana, muitas vezes confundido com floresta urbana, se refere a um padrão de distribuição de árvores no território urbano. Sendo assim, pode-se concluir que as árvores em vias públicas e demais áreas livres de edificação são constituintes da floresta urbana atuando sobre o conforto humano no ambiente (ROSSETTI; PELLEGRINO; TAVARES, 2010). Diversos autores apontam contribuições benéficas da presença de áreas verdes no meio urbano, isso porque exercem a função de facilitadoras no processo de melhoria do ecossistema urbano.

As funções principais da inserção de árvores em cidades são o equilíbrio parcial da ecologia urbana e a estética. Spirn (1995) destaca que a vegetação urbana é um recurso natural, e aponta que as atividades humanas e a busca por design paisagístico são frequentemente mais influentes que os processos naturais na determinação da localização e arranjo das plantas. Esta incapacidade de reconhecer a arborização urbana como um todo, em que cada parte tem uma determinada função

na sua devida localização, está na base da luta das plantas para sobreviverem na cidade e também gera erros grosseiros na administração de um importante recurso.

A arquitetura das cidades ao longo do tempo tem incorporado as árvores aos seus cenários. A saúde da população e qualidade de vida nas cidades tem forte influência da arborização urbana. A importância da árvore, no meio urbano, ganha a cada dia maior relevância e maior peso à medida que a concentração das habitações aumenta (MÜLLER, 1998).

Para manter uma boa qualidade de vida nos centros urbanos é fundamental a arborização urbana, pois essa também proporciona conforto aos habitantes das cidades, pois contribui com a estabilização climática, embelezamento da paisagem, fornece abrigo, alimento à fauna, sombreamento e ambientes de lazer às ruas e avenidas (COLETO; MÜLLER; WOLSKI, 2008).

Alves; Gouveia (1995) em suas pesquisas concluíram que propriedades urbanas localizadas próximas às áreas arborizadas possuíam maiores valores econômicos, apresentavam um baixo índice de mudança de residência e que as folhagens eram imagens predominantes na memória das crianças que moravam na cidade. Tais benefícios se devem também aos fatos de que as árvores aumentam a diversidade sensorial, diminuem o vandalismo, reduzem o consumo de energia e geram maior satisfação dos moradores quanto às suas residências.

No Brasil, a arborização urbana é responsabilidade das administrações públicas municipais através de um documento, o Plano Diretor de Arborização Urbana – PDAU. Por se tratar de uma atividade de ordem pública imprescindível ao bem-estar da população, cabe ao Poder Público municipal em sua política de desenvolvimento urbano, entre outras atribuições, criar, preservar e proteger as áreas verdes da cidade, mediante leis específicas, bem como regulamentar o sistema de arborização (SIRVINSKAS, 1999).

Embora haja uma obrigação legal e uma crescente conscientização por parte dos órgãos governamentais envolvidos e de grande parte da população, muitos são os problemas enfrentados, como a falta de técnicos capacitados que orientem sobre um plantio correto, escolha da espécie, poda de formação, utilização de grade de proteção, irrigação em período de estiagem, adubação e outros aspectos que permeiam o dia a dia da manutenção da arborização (RIBEIRO, 2009).

Além dos problemas técnicos enfrentados pelas administrações municipais para se alcançar a qualidade do ambiente urbano é necessário previamente realizar um planejamento. No entanto, quando não se realiza o planejamento da arborização, diversos problemas podem ocorrer e ao invés de um elemento benéfico, a arborização passa a representar um foco de conflito e prejuízos para as cidades (RODOLFO JUNIOR et al., 2008).

Contudo, a necessidade de planejar a arborização urbana é um fato constatado por todos os estudiosos do assunto. O planejamento é indispensável para o desenvolvimento urbano, mais, para que isso realmente ocorra deve-se, antes de qualquer coisa, diagnosticar a situação existente (a ferramenta mais utilizada pela literatura é o inventário quali-quantitativo), assim como o conhecimento das características dos vegetais que poderão ser utilizados (COLETO; MÜLLER; WOLSKI, 2008).

Vale ressaltar que as características a serem observadas quanto às árvores a serem aplicadas na arborização são: porte, arquitetura da copa, ciclo de vida, frutos, enraizamento e capacidade de sobrevivência no ambiente em que será inserido (NORDH et al., 2009). E que infelizmente em grande parte dos municípios brasileiros o planejamento da arborização urbana é ainda inexistente ou, quando existem, pouco respeitados ou mesmo fiscalizados, os que os levam em geral à um planejamento de arborização urbana ineficaz.

A arborização urbana, além do aspecto paisagístico, melhoria no clima, alimento para a fauna, barreira contra o vento, desempenha funções importantes na drenagem das águas pluviais urbanas. Além de conter a erosão pela interceptação das águas pelas folhas, caule e pela absorção das raízes, ela contribui de maneira significativa para minimizar os efeitos das inundações e enchentes influenciando na redistribuição da água de chuva, em que as copas das árvores amortecem e direcionam as gotas que chegam ao solo, alterando à dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração, contribuindo para o retardamento do pico das cheias. A drenagem urbana, composta dos sistemas de micro-drenagem e macro-drenagem, por onde se efetua o escoamento das águas pluviais, muitas vezes é planejada sem levar em consideração elementos naturais, no caso em estudo, as árvores urbanas.

1.5. *Low Impact Development* (LID)

A evolução do tratamento das águas urbanas passa por três fases. No início do século XX, a política de saneamento básico consistia na evacuação de efluentes urbanos o mais rápido possível para jusante na tentativa de minimizar a proliferação de doenças. No final da década de 60, tornaram-se evidentes os impactos negativos desta estratégia, especificamente a degradação dos corpos d'água receptores e os danos sociais (econômicos e culturais) provenientes das inundações. A partir destas observações, alguns países alteraram suas políticas de manejo de águas por meio de investimentos significativos no tratamento de esgoto e no controle de águas pluviais, aplicando, principalmente, estruturas de armazenamento. No final dos anos 90, a ciência passou a reconhecer

o papel do solo e da vegetação (sistemas naturais de drenagem) no controle qualiquantitativo de águas pluviais, ao promover a infiltração, a evapotranspiração e o contato da água com bactérias e plantas. Os sistemas que mais avançaram neste sentido foram a abordagem americana de *Low Impact Development* (LID, denominado no Brasil por Desenvolvimento urbano de baixo impacto), a abordagem australiana de *Water Sensitive Urban Design* (WSUD, sem tradução) e a abordagem britânica de *Sustainable Drainage Systems* (SuDS - Sistemas de drenagem sustentáveis) (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012).

O LID é uma estratégia de gestão de águas pluviais focalizadas na gestão e restauração de funções hidrológicas naturais do local para atingir objetivos de proteção do recurso natural, e requerimentos regulamentários ambientais. LID emprega uma variedade de características naturais e construídas para reduzir a taxa de escoamento, filtrar os poluentes, e facilitar a infiltração da água para o solo. Pela redução da poluição da água e aumento da recarga subterrânea, LID auxilia a melhorar a qualidade dos corpos receptores e a estabilizar as taxas de fluxo de rios adjacentes (UNITED STATES, 2004).

O LID incorpora um conjunto de estratégias de projeto, bem como técnicas de controle na fonte, de pequena escala, bem localizadas, conhecidas como *Integrated Management Practices* (IMPs - Práticas de gestão integrada). IMPs podem ser integradas a edificações, infra-estruturas, ou projeto paisagístico. Em vez de coleta de escoamento em encanamentos ou redes canalizadas e controle do fluxo à jusante em um grande dispositivo de gestão de águas pluviais, o LID toma uma abordagem descentralizada que dispersa fluxos e gerencia o escoamento perto de onde este se origina. Como LID apresenta uma variedade de técnicas úteis para controle de escoamento, projetos podem ser otimizados de acordo com regulamentações locais e requerimentos de proteção aos recursos naturais, bem como às restrições locais (UNITED STATES, 2000).

Resumidamente, a meta do planejamento de LID é permitir o completo desenvolvimento da propriedade enquanto mantém as funções hidrológicas essenciais, minimizando prioritariamente os impactos hidrológicos criados pelo desenvolvimento do local, através do projeto, e então providenciar controles para mitigar ou restaurar distúrbios inevitáveis para o regime hidrológico (DAVIS, 2005). Para isso, metas e objetivos hidrológicos devem ser incorporados ao processo de planejamento o mais breve possível.

1.6. Storm Water Management Model (SWMM)

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo de gerenciamento de águas pluviais desenvolvido desde 1971 pela Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos (EPA - *Environmental Protection Agency*). Disponibilizado livremente no endereço eletrônico da agência, e possui o código aberto, propicio a modificações, se o usuário desejar (GIRONÁS et al., 2010).

É considerado um modelo de base física, emprega os princípios de conservação de massa, energia e momento. É comumente aplicado em áreas urbanas a fim de auxiliar no planejamento, análise e concepção de projetos de escoamentos de águas pluviais. Simula os fenômenos hidrológicos e hidráulicos com modelo chuva-vazão para um único evento ou contínuo, fornecendo resultados relativos à qualidade e quantidade das águas do escoamento gerado a partir do sistema de galerias para a previsão de vazões, pontos de inundação e de poluentes (HUBER; ROSSMAN; DICKINSON, 2005).

O SWMM é composto por quatro módulos principais: Atmosférico (precipitação e deposição de poluentes), Superfície terrestres (escoamento e infiltração), Águas subterrâneas (fluxo de base) e Transporte de fluxo (canais, condutos, entre outros) (ROSSMAN, 2010).

Segundo Van der Sterren; Rahman; Ryan (2014) o SWMM é um modelo dinâmico chuva-vazão, utilizado para a simulação de drenagem urbana, que avalia a quantidade e a qualidade do escoamento superficial, especialmente, em áreas urbanas. Pode ser utilizado para a simulação de um único evento chuvoso, para uma simulação contínua de longo prazo, bem como para a drenagem de águas residuárias. O componente relativo ao escoamento superficial do SWMM opera com um conjunto de sub bacias hidrográficas, que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluidoras. O módulo de transporte hidráulico do SWMM simula o percurso destas águas, através de um sistema composto por tubulações, canais, dispositivos de armazenamento e tratamento, bombas e elementos de regulação. O SWMM acompanha a evolução da quantidade e da qualidade do escoamento dentro de cada sub bacia, assim como a vazão, a altura de escoamento e a qualidade da água em cada tubulação e canal, durante um período de simulação composto por múltiplos intervalos de tempo.

Os estudos realizados com a aplicação do SWMM apresentaram objetivos diversos, dentre eles: análise do desenvolvimento de projetos de esgotamento sanitário (LOWE, 2009); cálculos dos impactos causados pela adoção de BMPs (MENG; LEE, 2011; HONG et al., 2012;). Outros utilizaram o modelo com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de GIS para observar os avanços

da urbanização (KIM et al., 2007; SOUZA; MOTTA; SILVEIRA, 2011). Alguns trabalhos testaram a aplicação do programa em bacias hidrográficas, obtendo calibrações satisfatórias para vazão (BELING et al., 2011; WANG; ALTUNKAYNAK, 2011).

Nesta pesquisa, o objetivo com o uso do SWMM é simular cenários com tipologias de parcelamento territorial diferentes, inserindo técnicas de LID e benefícios da arborização urbana quanto a interceptação, para avaliar como essas alterações reduzem o esoamento superficial em uma pequena bacia e sub bacia hidrográfica urbana.

2. O PROBLEMA DA PESQUISA

O desenvolvimento das cidades resulta em intensas alterações no clima, no relevo e nos elementos estruturais, de modo que a própria existência da vida, muitas vezes, passa a ser ameaçada. Alguns problemas urbano-ambientais oriundos deste processo podem ser citados, por exemplo, a degradação paisagística e ambiental, insalubridade, carência infraestrutural, habitacional e de espaços livres públicos, desigualdade, segregação/exclusão (espacial, social e política), poluição generalizada, aumento dos riscos ambientais (sobretudo para as populações excluídas), os entraves à mobilidade e à acessibilidade, dentre outros.

Nas últimas décadas, as cidades têm se transformado em aglomerações, fruto de um exacerbado e desordenado processo de urbanização com altas densidades populacionais, cujos efeitos negativos refletem diretamente sobre os recursos hídricos e, em especial, sobre o sistema de drenagem. A pressão demográfica, a especulação imobiliária e a falta de um planejamento territorial urbano, capazes de equacionar os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos, fazem com que a concepção do sistema de drenagem urbana esteja, sobretudo, condicionada ao parcelamento, a ocupação, ao uso do solo e ao sistema viário.

A ocupação das áreas urbanas, em grande parte desrespeitando o sistema de drenagem natural das águas, favorece ao aterramento das margens dos rios, córregos, lagos e à ocupação de áreas de amortecimento de cheias naturais, tornando frequentes os problemas relacionados com as enchentes urbanas.

O incremento das enchentes e inundações em áreas urbanas é causado por diversos fatores, dentre eles, pode-se citar a pouca eficiência dos sistemas de drenagem, a ocupação desenfreada e desordenada e, principalmente, a impermeabilização do solo. Estes fatores atuando de forma isolada ou em conjunto, definem o nível e a extensão dos danos causados.

As inundações atingem a população não, apenas, com a interrupção das atividades das áreas inundadas e dos danos materiais, mas, sobretudo, com a propagação de doenças de veiculação hídrica, além de perdas humanas. O grande contingente populacional ocupando áreas de risco, como várzeas e encostas de morros, incrementam ações de desmatamento e erosão do solo, que associadas ao aumento do índice de superfície impermeabilizada decorrente das atividades antrópicas de uso e ocupação do território, favorecem ao gradativo aumento do volume de escoamento superficial e às consequentes enchentes.

Os diversos fatores anteriormente citados, que aumentam as vazões dos cursos d'água, associados ao ineficiente gerenciamento de uso e ocupação do solo, na maioria das vezes, tornam os sistemas de drenagem urbana obsoletos. A falta de investimentos para controlar os eventos de cheias, tanto no planejamento como na execução e manutenção, corroboram com a inoperância do sistema, na medida em que coexistem com problemas, tais como obras mal executadas e galerias obstruídas.

Em grande parte das metrópoles, o crescimento urbano ocorreu de forma acelerada, sem planejamento e a drenagem urbana não foi considerada fator preponderante no planejamento dessa expansão. As interferências da ocupação antrópica sobre o sistema de drenagem e as metodologias de controle do escoamento superficial tornam-se importantes à medida que a atuação do homem sobre o solo influencia, sobremaneira, na eficiência do sistema de controle de cheias adotado pela municipalidade, favorecendo à definição da correlação entre a gestão das águas e do planejamento territorial.

Com isso, o planejamento urbano deve assumir novos rumos. Contemporâneas práticas e alternativas de desenvolvimento de baixo impacto devem ser associados aos projetos de parcelamento do solo. As árvores, por exemplo, são elementos importantes na estrutura da cidade com seus próprios valores econômicos, ecológicos e estéticos. Porém, apenas ampliar o plantio de indivíduos no meio urbano, não é a resposta. Deve-se destinar no parcelamento territorial, espaços adequados para o crescimento dos indivíduos e, assim, evitar problemas futuros, tais como as quedas e interferências nas redes de energia elétrica. Tradicionalmente, a arborização é destinada aos espaços que sobram no planejamento territorial, sendo pensada, posteriormente, a todos os elementos que compõem a paisagem urbana. Esta abordagem, contudo, não evidencia os benefícios que estes indivíduos podem oferecer para a estrutura da cidade.

A população apresenta pouco conhecimento sobre as vantagens oferecidas pela arborização urbana. E, as pesquisas científicas, em geral, permanecem no meio acadêmico e não influenciam

diretamente a gestão pública e, consequentemente, a qualidade de vida da população. Geralmente, as pessoas têm a referência de que as árvores servem apenas para sombrear, dando maior enfoque aos problemas causados por elas, como os danos ocasionados às calçadas, encanamentos, acidentes com fiação elétrica e custos com manutenção e podas, o que provoca a recorrente substituição de indivíduos arbóreos por arbustos ou espécies puramente estéticas, portanto, de menor porte.

É por meio do processo de interceptação, que a arborização urbana influencia diretamente na distribuição de água na superfície do solo. A incorporação das árvores, no meio urbano, pode significar uma redução da sobrecarga dos sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas, melhorando, quando possível, a infiltração no solo.

A arborização urbana fornece benefícios para a cidade e ela pode, de fato, ser vista como uma forma de "infraestrutura verde" a amenizar a " infraestrutura cinza", que são provenientes dos serviços de engenharia convencionais. As árvores podem contribuir para a redução do escoamento superficial, do volume do pico das cheias, bem como retardar a sua ocorrência.

Porém, as árvores enfrentam um ambiente extremamente hostil na cidade, acima e abaixo da superfície. Abaixo da superfície há uma realidade de solos altamente compactados, limitados e modificados. Acima têm-se podas frequentes e mutiladoras, supressão de indivíduos sem substituição, plantio em espaços ínfimos e confinados por superfícies impermeabilizadas que limitam a umidade e aeração do solo, ou mesmo a escolha por espécies puramente ornamentais, exóticas, sem qualquer respeito à interação entre os indivíduos e suas necessidades biológicas de sobrevivência, de multiplicação e interação com a paisagem do bioma circundante.

É notório que a arborização urbana é mais do que uma decoração estética das cidades. Ela pode ser essencial e valiosa para a mitigação dos efeitos da urbanização no aumento do escoamento superficial e na ocorrência de enchentes e inundações em áreas urbanas. Muitas questões são consequências da falha em compreender ou reconhecer as necessidades biológicas das árvores, ou mesmo de subestimarem seus benefícios físicos, econômicos e, também, os malefícios. Sugere-se, portanto, pesquisas que priorizem a arborização na concepção de espaço urbano e, que as árvores passem a ser elementos essenciais para promoção do bem-estar à população e, ocasionem a redução estrutural dos sistemas de drenagem com ampliação de sua eficiência.

Nesta pesquisa, empregaram-se como equipamento de medição das precipitações os pluviógrafos e, do nível de água, os linígrafos. Por meio destes equipamentos, foi possível a caracterização dos eventos chuvosos quanto à distribuição temporal, duração, volume precipitado e variações de intensidades, permitindo realizar medições reais das intensidades e escoamentos

dos eventos, e não apenas estimativas. O detalhamento das precipitações e escoamentos foi, neste estudo, importante, pois pretendeu-se analisar as interceptações das chuvas pelas copas das árvores, verificando se havia variações nas interceptações ocorridas, e como elas aconteciam, além de correlacioná-las às características arbóreas de cada espécie estudada, a fim de obter conclusões mais precisas quanto à relação entre os indivíduos e desempenhos para a absorção, retardo do escoamento gerado pelas chuvas e interferências no tempo de concentração de bacias urbanas.

A pesquisa teve a pretensão de avaliar a relevância da arborização associada às práticas de *Low Impact Development* (LID), no planejamento territorial urbano. E, a partir das ponderações contribuir com urbanistas, arquitetos, engenheiros, gestores da arborização e de águas urbanas na ampliação de seus conhecimentos, e na expectativa de sua aplicação nas diferentes fases do projeto da paisagem urbana.

Objetivou-se, assim, compreender e quantificar como as árvores e suas diferentes espécies e características arbóreas interceptam as águas de chuva por suas copas e interferem no escoamento superficial urbano. Através de modelagens computacionais, por meio da utilização do *Storm Water Management Model* (SWMM) com uma bacia urbana, quantificou-se a redução do escoamento e analisou o seu comportamento ao longo da ocorrência de evento chuvoso real e de projeto. Desta forma, almeja-se contribuir para a ampliação e a realização de melhorias nos plantios de árvores no meio urbano, proporcionando um maior reconhecimento do papel destas pelos projetistas e gestores da cidade.

Partindo do fato de que há relações entre a presença das árvores no espaço urbano e o escoamento superficial direto das águas pluviais, esta tese foi estruturada de forma a responder a algumas questões sobre o tema em análise.

1. Como os indivíduos arbóreos ocasionam interceptação das águas pluviais, ao longo dos eventos chuvosos? Existe relação entre as interceptações e as características arbóreas das espécies?
2. A arborização urbana causa alterações no tempo de concentração das bacias? Estas alterações relacionam-se com as características arbóreas dos indivíduos?
3. Quanto e como as árvores plantadas no meio urbano reduzem o escoamento superficial nos eventos chuvosos? Esta redução também está associada às características arbóreas? E às coberturas do solo sob a copa das árvores?

4. O parcelamento territorial do solo urbano interfere no escoamento das bacias? Quanto e como a inserção da arborização e de técnicas de LID ocasionam redução do escoamento pluvial?

3. OBJETIVO DA TESE

Por meio da realização dessa pesquisa, propõe-se avaliar a capacidade de algumas espécies arbóreas em interceptar as águas de chuva por suas copas, reduzir o volume de escoamento superficial urbano, retardar os picos de vazão, bem como de ampliar o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica urbana.

4. ESTRUTURA DA TESE

Para responder aos questionamentos apontados no iten 2, optou-se por estruturar a tese na forma de artigos, que constituem a essência dos resultados obtidos nesta pesquisa.

1. Artigo 1 – Capacidade de interceptação de chuva por espécies arbóreas empregadas na arborização urbana (Revista Árvore[1] - submetido).

O Artigo 1 foi desenvolvido a partir da montagem de um experimento na Cidade de Uruaçu, Goiás, durante o período chuvoso de outubro de 2012 a março de 2013. Foram estudadas quatro espécies arbóreas, sendo elas: *Mangifera indica* ou Mangueira, *Pachira aquatica* ou Monguba e *Caesalpinia peltophoroides* ou Sibipiruna e *Licania tomentosa* ou Oiti. Para esta etapa da pesquisa, coletou-se os dados de precipitação por meio da utilização de pluviógrafos. Os objetivos do artigo foram: identificar como os indivíduos arbóreos ocasionam interceptações das águas pluviais; analisar se as interceptações ocorrem de maneiras fixas ou variáveis ao longo dos eventos chuvosos; averiguar se existem relações entre as interceptações e as características arbóreas das espécies.

2. Artigo 2 – Interferências de espécies arbóreas na interceptação das águas pluviais urbanas - impactos no tempo de concentração (Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana[2] - submetido).

---

[1] *Qualis* Nacional A2 (Ciências Ambientais) conforme avaliação feita pela CAPES/2013.
[2] *Qualis* Nacional B2 (Ciências Ambientais) conforme avaliação feita pela CAPES/2013.

Para o Artigo 2 a coleta de dados ocorreu durante o período chuvoso de novembro de 2013 a março de 2014 na mesma localidade do Artigo 1. Nesta etapa da pesquisa, utilizou-se três espécies arbóreas, sendo elas: *Mangifera indica* ou Magueira, *Tabebuia ochracea* ou Ipê amarelo e *Licania tomentosa* ou Oiti. Foram coletados dados de precipitação e volume escoados pelo tronco, com o emprego de pluviógrafos e coletores no tronco. Os objetivos do artigo foram constatar se a arborização urbana causa alterações no tempo de concentração das bacias, e se estas alterações se relacionam com as características arbóreas dos indivíduos.

3. Artigo 3 – Estimativa da redução de escoamento superficial e do retardo do pico de vazão das chuvas, ocasionados pela presença da arborização no meio urbano (Revista Brasileira de Recursos Hídricos[3] - a ser submetido após o depósito desta tese).

No Artigo 3, foram utilizados os dados coletados no mesmo experimento do Artigo 2, instalado em 2013/2014. Foram analisados, além dos dados de precipitação, os dados de escoamento superficial obtidos por meio de medições realizadas por linígrafos instalados sob e fora das copas das árvores em áreas experimentais, com cobertura do solo permeável, semipermeável e impermeável. O Artigo 3 pretendeu quantificar a redução ocasionada pela presença das árvores urbanas no escoamento superficial durante os eventos chuvosos, e analisar de que forma essa redução acontecia. Novamente, teve a intenção de correlacionar os resultados às características arbóreas estudadas, bem como às tipologias de cobertura do solo existentes sob as copas.

4. Artigo 4 – Influências da arborização, do planejamento urbano e dos LID no escoamento superficial de águas pluviais: medição, análise e modelagem (*Journal Landscape and Urban Planning* [4] - a ser submetido após o depósito desta tese).

Na última etapa da pesquisa, o Artigo 4, houve a realização de simulações com o EPA SWMM 5.1 EUA de seis cenários propostos a uma bacia urbana, partindo de duas tipologias de planejamento territorial urbano. As propostas de parcelamento foram delineadas a partir de pesquisas urbanísticas e das legislações vigentes à bacia de estudo. Para as simulações, foram necessários as análises e dados de interceptação e redução de escoamento superficial obtidos pelos Artigos 1, 2 e 3. Este Artigo teve a função de abordar sistematicamente todos os dados e conhecimentos adquiridos nas primeiras etapas da tese, e integrá-los ao planejamento territorial

[3] *Qualis* Nacional A2 (Ciências Ambientais) conforme avaliação feita pela CAPES/2013.
[4] *Qualis* Nacional A2 (Ciências Ambientais) conforme avaliação feita pela CAPES/2013.

urbano. O manuscrito verificou se o parcelamento territorial do solo urbano interferia no escoamento de bacias urbanas, quantificou e analisou o comportamento da redução do escoamento nas bacias urbanas, ocasionado pela inserção da arborização e de técnicas de LID no planejamento urbano.

5. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na Cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil (Figura 1), com as coordenadas 14°31'33"S e 49° 8'26"O. Sua população estimada em 2014 é de 39.172 habitantes (IBGE, 2014). No município se encontra um dos maiores lagos artificiais de usina hidrelétrica do mundo, o Lago de Serra da Mesa. Segundo a classificação de Köppen, a região climática é do tipo "Aw" com clima tropical, estação seca prolongada e chuvas concentradas no verão. Segundo o banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), a precipitação anual no município, é de aproximadamente 1006.8mm e, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura média dos meses mais quentes, é de 39.4ºC, enquanto a dos meses mais frios, é de 10.8ºC.

A etapa experimental da pesquisa ocorreu em uma área urbanizada da cidade, no Seminário Maior São José, que será melhor detalhada ao longo dos artigos 1 a 3. O local foi escolhido pela semelhança das espécies e distribuição dos indivíduos arbóreos em relação às vias urbanas da cidade, e por questões de segurança para a realização do experimento.

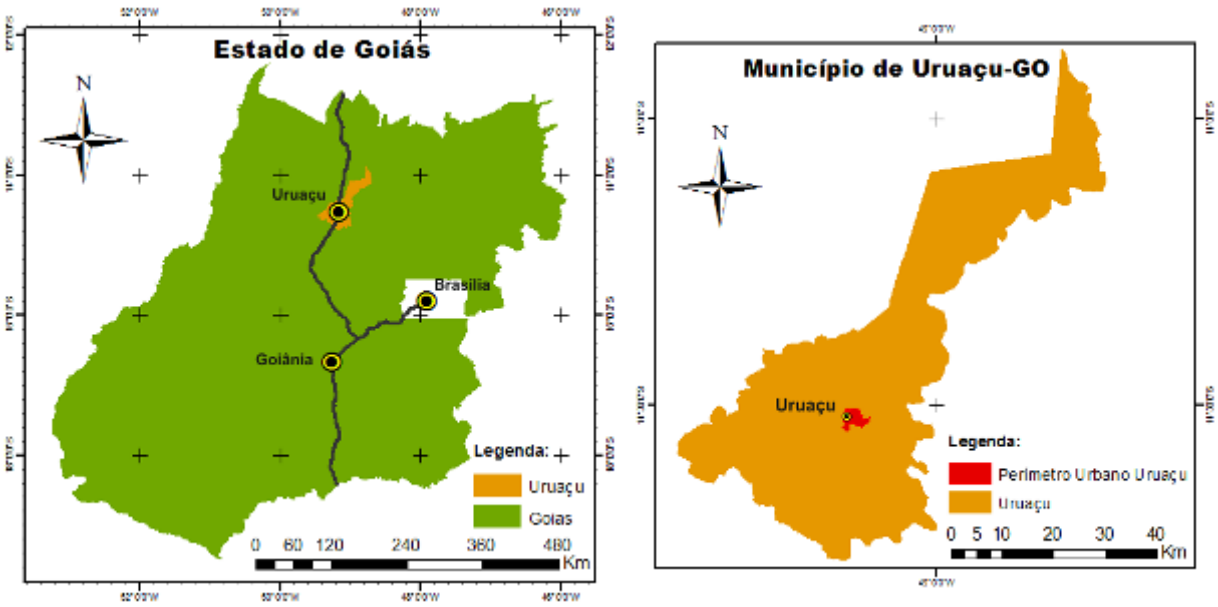


Figura 1 - Localização do Município de Uruaçu, estado de Goiás – Brasil.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, S. M.; GOUVEIA, V. V. Atitudes em Relação à Arborização Urbana: Uma Contribuição da Psicologia Ambiental para a Qualidade de Vida Urbana. **Laboratório de Psicologia Ambiental**, Vol. 4, n. 6, Brasília, 1995.

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

ARCOVA, F.C.S.; CICCO, V.; ROCHA, P.A.B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 257-262, Ago. 2003.

BELING, F. A. et al. Analysis of the SWMM Model Parameters for Runoff Evaluation in Periurban Basins from Southern Brazil. ǁ **Anais do 12nd International Conference on Urban Drainage**. Porto Alegre/Brasil. 2011.

BROWN, R. R.; KEATH, N.; WONG, T. H. F. Urban water management in cities: historical, current and future regimes. **Water Science & Technology**, n. 59, p. 847-55, 2009.

BURGER, J. A. Management effects on growth, production and sustainability of managed forest ecosystems: Past trends and future directions**. Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 2335-2346. 2009.

CAVALCANTI, M. L. F. et al. Identificação dos vegetais tóxicos da cidade de Campina Grande-PB. **Revista de Biologia e Ciências da Terra,** João Pessoa, v.3, n.1, p. 1-13, 2003.

COLETTO, E. P.; MÜLLER, N. G.; WOLSKI, S. S. Diagnóstico da Arborização das Vias Públicas do Município de Sete de Setembro – RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.3, n.2, p.110-122. jun. 2008.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological processes**, v. 14, n. 16-17, p. 2903-2920, 2000.

DAVIS, A. P. et al. Bioretention technology: Overview of current practice and future needs. **Journal of Environmental Engineering**, v. 135, n. 3, p. 109-117, 2009.

DAVIS, A. P. Green engineering principles promote low-impact development. **Environmental science & technology**, v. 39, n. 16, p. 338A-344A, 2005.

DELLEUR, J. W. The evolution of urban hydrology: past, present, and future. **Journal of hydraulic engineering**, v. 129, n. 8, p. 563-573, 2003.

DWYER, J. F. et al. Urbanites willingness to pay for trees and forests in recreation areas. **Journal of Arboriculture**, v. 15, p. 247-252. 1989.

GIRONÁS, J. et al. A new applications manual for the Storm Water Management Model (SWMM). **Environmental Modelling & Software**, v. 25, n. 6, p. 813-814, 2010.

GREY, G. W. et al. **Urban forestry**. John Wiley and Sons, 1978.

HONG, B. et al. An integrated monitoring/modeling framework for assessing humanenature interactions in urbanizing watersheds: Wappinger and Onondaga Creek watersheds, New York, USA. ǁ **Environmental Modelling & Software**, v. 32, p. 1-15, 2012.

HUBER, W. C.; ROSSMAN, L. A.; DICKINSON, R. E. EPA Storm Water Management Model, SWMM5. **CRC Press: Boca Raton, FL**, p. 339-361, 2005.

IBGE, Intituto Brasileiro Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. 2014.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia - Brasil. BDMEP, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

KIM, K. U. et al. Construction of a Real-time Urban Inundation Analysis System based on UIS using SWMM. **Anais do Fifth International Conference on Software Engineering Research**, Management and Applications. 2007.

LEAL L.; BIONDI, D.; ROCHADELLI, R. Custos de implantação e manutenção da arborização de ruas da cidade de Curitiba, PR. **Revista Árvore,** Viçosa, v.32, n.3, p. 557-565, 2008.

LIMA, W.P. **Interceptação da chuva pela floresta**. São Paulo: USP, 123 p. 1986.

LOHR, V. I. et al. How urban residents rate and rank the benefits and problems associated with trees in cities. **Journal of Arboriculture**, v. 30, n. 1, p. 28-35, 2004.

LOWE, S. A. Sanitary Sewer Design Using EPA Storm Water Management Model (SWMM). **Wiley Periodicals**, Inc. Comput Appl Eng Educ, v. 18, p. 203-212, 2009.

MENG, Q.; LEE, M. GIS-based Simulation of Urban Drainage. Published in: **Bioinformatics and Biomedical Engineering**, (iCBBE) 2011 5th International Conference on. 2011.

MÜLLER, J. **Orientação básica para manejo da arborização urbana.** Edições FAMURS. Porto Alegre: Nova Prova, 1998.

NORDH, H. et al. Components of small urban parks that predict the possibility for restoration. **Urban Forestry e Urban Greening**, v.8, p.225-235. 2009.

NOWAK, D. J.; DWYER, J. F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: **Urban and community forestry in the northeast**. Springer Netherlands, p. 25-46, 2007.

OHNUMA JÚNIOR, A. A. **Cenários de reúso de água pluvial e controle da drenagem visando a recuperação ambiental da micro-bacia do alto Tijuco Preto, São Carlos-SP**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2005.

PAUL, M. J.; MEYER, J. L. Streams in the urban landscape. **Annual Review of Ecology and Systematics**, p. 333-365, 2001.

PRICE, Colin. Quantifying the aesthetic benefits of urban forestry. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 1, n. 3, p. 123-133, 2003.

RIBEIRO, F. A. B. S. Arborização Urbana em Uberlândia: Percepção da População. **Revista da Católica, Uberlândia**, v. 1, n. 1, p. 224-237, 2009.

RODOLFO JUNIOR, F. et al. Análise da arborização urbana em bairros da cidade de Pombal no Estado da Paraíba. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.3, n.4, p.3-19, 2008.

ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. M.; TAVARES, A. R. As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.5, n.1, p.1-24, 2010.

ROSSMAN, L. A. **Storm water management model User's manual Version 5.0.** Cincinnati: U. S. Enviromental Protection Agency, 285 p., 2010.

SIRVINSKAS, L. P. Arborização Urbana: importância e aspectos jurídicos. **Revista de Direito Ambiental**, n. 16, out.- dez. 1999.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas In. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9-18, 2012.

SOUZA, D.; MOTTA, D.M.; SILVEIRA A. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment in a small urban-rural basin within high resolution GIS R. **Anais do 12nd International Conference on Urban Drainage**, Porto Alegre/Brazil. 2011.

SPIRN, A. W. **O jardim de granito: a natureza no desenho da cidade**. São Paulo: EDUSP, 345p. 1995.

TOSCAN, M. A. G. et al. Inventário e análise da arborização do Bairro Vila Yolanda, do município de Foz do Iguaçu – PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, Piracicaba, v. 5, n. 3, p.165-184. 2010.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. **Ciência e cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

UNITED STATES. **Department of Defense** [USDoD]. Unified Facilities Criteria (UFC). Design: Low Impact Development Manual. 2004.

UNITED STATES. **Environmental Protection Agency** [USEPA]. Low Impact Development (LID): A Literature Review. Washington D.C. 35 p. 2000.

VAN DER STERREN, M.; RAHMAN, A.; RYAN, G. Modeling of a lot scale rainwater tank system in XP-SWMM: A case study in Western Sydney, Australia. **Journal of environmental management**, v. 141, p. 177-189, 2014.

WANG, K.; ALTUNKAYNAK, A. Comparative case study of rainfall-runoff modeling between SWMM and fuzzy logic approach. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 17, n. 2, p. 283-291, 2011.

XIAO, Q. et al. A new approach to modeling tree rainfall interception. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 105, p. 29173-29188, 2000.

XIAO, Q. et al. Hydrologic processes at the urban residential scale. **Hydrological Processes**, v. 21, p. 2174-2188, 2007.

XIAO, Q.; McPHERSON, E.G. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. **Urban Ecosystems**, Davis, v. 6, p. 291-302, 2002.

ARTIGO 1

CAPACIDADE DE INTERCEPTAÇÃO DE CHUVA POR COPAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS EMPREGADAS NA ARBORIZAÇÃO URBANA

ALVES, Patrícia Layne[1]; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins[2]; TRALDI, Marco Antônio Borges[3]

RESUMO

A arborização está inserida no meio urbano e interfere de forma direta e natural no escoamento superficial. O objetivo deste estudo é quantificar a capacidade de interceptação das copas de quatro espécies de maior frequência na arborização urbana da cidade de Uruaçu, Goiás, e correlacioná-las às características arbóreas das espécies. Com este propósito, realizou-se um experimento com dois exemplares de cada espécie estudada, sendo estas a *Mangifera indica*, a *Pachira aquatica*, a *Caesalpinia peltophoroides* e a *Licania tomentosa*. Para o registro das precipitações, de maneira detalhada, foram utilizados 10 pluviógrafos, instalados sob e fora das copas das árvores, que caracterizaram os dados de chuva quanto à duração, volume e intensidade. Em eventos chuvosos com mediana de 16.7mm de precipitação acumulada, os valores medianos de interceptação encontrados em cada espécie foram: *Mangifera indica* (Mangueira) – 8.0mm; *Pachira aquatica* (Monguba) - 7.4mm; *Licania tomentosa* (Oiti) – 7.2mm; e, *Caesalpinia peltophoroides* (Sibipiruna) - 4.8mm. A pesquisa confirma a interferência das características individuais das espécies na capacidade de interceptação de chuva por suas copas, ressaltando a necessidade de definição criteriosa das espécies que comporão a arborização urbana; atesta a existência de variações nas interceptações em relação aos eventos chuvosos e durante suas ocorrências; bem como, aponta dados quantitativos de redução de volume precipitado pela presença do indivíduo arbóreo no meio urbano. Essas reduções ocasionadas pela interceptação das copas amenizam, consequentemente, o volume de escoamento superficial urbano e contribuem para as ações de drenagem urbana.

Palavras-chave: interceptação pluvial; árvore urbana; ambiente urbano.

---

[1]Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Rua Natal, n. 59, Apto. 902, Setor Alto da Glória, CEP 74-815-705, Goiânia - GO, email: patricialaynearq@yahoo.com.br.

[2]Universidade Federal de Goiás, Professor Assistente, Escola de Engenharia Civil, Praça Universitária, s/n., Bloco A, Sala 8, Setor Universitário, CEP:74605-220, Goiânia - GO, email: klebber.formiga@gmail.com.

[3]Tribunal de Contas do Estado de Goiás, Praça Dr. Pedro Ludovico Teixeira, 332, Centro, CEP: 74003-010, Goiânia, GO, email: mabtraldi@gmail.com.

CAPACITY OF RAINFALL INTERCEPTION TREETOPS SPECIES EMPLOYED ACROSS THE URBAN AFFORESTATION

ABSTRACT

The afforestation is present in urban areas and interferes in a direct and natural way in the surface runoff. The aim of this study is to quantify rainfall interception of tops four species of high frequency in urban afforestation in the city of Uruaçu, Goiás, and correlate them to the tree characteristics of each species. For this purpose, an experiment was performed with two copies of each of the species studied, they being the *Mangifera indica*, the *Pachira aquatica*, the *Caesalpinia peltophoroides* and *Licania tomentosa*. In order to record precipitations in a detailed way, 10 pluviographs were utilized, installed in and out of the trees, which characterized the rainfall data on the duration, volume and intensity. For rainy events with an average of 16.7mm precipitations accumulated, the average values of interception found in each species were: *Mangifera indica* (Mango) – 8.0mm; *Pachira aquatica* (Monguba) - 7.4mm; *Licania tomentosa* (Oiti) – 7.2mm; and *Caesalpinia peltophoroides* (Sibipiruna) - 4.8mm. The research confirms the interference of the individual characteristics of the species in the rain interception capability for their hearts, underscoring the need for careful definition of the species that make up the urban forestry; testifies the existence of variations in interceptions in relation to rainfall events and during their occurrence; and points out quantitative data volume reduction precipitated by the tree individual presence in urban areas. These reductions caused by the interception of soften hearts, consequently, the volume of urban runoff and contribute to urban drainage actions.

Keywords: Pluvial interception; urban tree, urban environment.

1. INTRODUÇÃO

Fenômenos como ilhas de calor, poluição atmosférica e inundações têm sido comuns em aglomerações urbanas. Essas alterações ambientais ocorrem devido às altas taxas de urbanização que modificam o uso do solo, a hidrografia e o relevo. Nota-se o agravamento desses problemas, com a ocorrência de perdas materiais e humanas provocadas por processos sucessivos de enchentes e inundações. Esse fato tem conclamado a comunidade científica a aprofundar seus estudos em busca de soluções alternativas que resguardem o meio ambiente e, ao mesmo tempo, atendam a população em sua necessidade de melhor qualidade de vida no meio urbano.

A urbanização modifica drasticamente o uso do solo, e um dos efeitos de maior impacto é a redução da permeabilidade das superfícies, que podem alterar o padrão de escoamento e acarretar acréscimo nas cargas de poluentes a serem despejados nos corpos receptores. O aumento das superfícies impermeabilizadas, decorrente do crescimento das cidades, agrava os problemas de ordem estrutural do sistema de drenagem e intensifica o potencial para a ocorrência de inundações (OHNUMA JÚNIOR, 2005).

Atualmente, ainda que seja frequente a preocupação com as alterações climáticas mundiais, muitas vezes os benefícios oferecidos pelas árvores não são observados, pois, além da sombra, elas podem reduzir a quantidade de escoamento superficial e poluentes nos corpos receptores. Isto, ocorre da seguinte maneira: suas folhas, galhos e troncos através do processo de interceptação, reduzem a quantidade de escoamento superficial, e a erosão do solo, retardando, assim, o pico de cheias; o crescimento das raízes e a decomposição de compostos orgânicos aumentam a taxa de infiltração no solo; e, parcela da precipitação retorna para a atmosfera por meio da evaporação (FAZIO, 2012).

A interceptação pelas copas das árvores é um componente importante no ciclo hidrológico urbano, pois influencia na redistribuição da água da chuva, no amortecimento, no direcionamento e na retenção das águas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração (OLIVEIRA JÚNIOR; DIAS, 2005).

As árvores inseridas no meio urbano interferem naturalmente no escoamento superficial, à medida que retém parte das águas precipitadas em suas copas (BARBIER; BALANDIER; GOSSELIN, 2009; XIAO et al., 2000). Segundo pesquisas desenvolvidas por Fazio (2012), em indivíduos de grande porte, com copa densa e folha perene, quando adultos dependendo da intensidade e duração do evento, uma única árvore pode armazenar cerca de 28mm ou mais, isso até atingir a saturação da copa, após cerca de 10 a 20mm de chuva. Na Califórnia, Estados Unidos,

estudos sobre a interceptação da precipitação anual pela floresta urbana, principalmente com coníferas e palmeiras, em diferentes localidades, apontaram que, em Santa Monica, a capacidade de interceptação de cada indivíduo arbóreo foi de 233.5 mm/ano (XIAO; McPHERSON, 2002), em Modesto, foi de 113.2 mm/ano (McPHERSON et al., 1998) e, em Sacramento, de 63.7 mm/ano (XIAO et al., 1998). Xiao; McPherson (2002) justificam que as razões para as diferenças entre os resultados das pesquisas se devem à distribuição temporal da precipitação, arquitetura das espécies e a meteorologia do local das pesquisas.

A capacidade da árvore para interceptar a precipitação é influenciada pela estrutura de ramificação, densidade da copa, textura da folha e da casca (CAPPIELLA; SCHUELER; WRIGHT, 2005). Estudos de interceptação da chuva, para árvores individuais, indicam que uma árvore jovem, de folha caduca (na época em que estão com folhas), pode interceptar de 750 a 1100 mm de água por ano (ENVIROCAST, 2003), e para árvores adultas, de folha caduca (também na época em que estão com folhas), a interceptação pode chegar a 1800 mm por ano (CUFR, 2001). A intercepção, em árvores individuais, varia entre 10% a 68% em um evento de precipitação (CAPPIELLA; SCHUELER; WRIGHT, 2006). Silva et al. (2010) em suas pesquisas em Piracicaba, São Paulo, Brasil, envolvendo duas espécies, concluíram que ambas possuem grande potencial para interceptação, sendo que a *Caesalpinia pluviosa* (Sibipiruna), obteve em média 4.5mm de interceptação e, a *Tipuana tipu* (Tipuana), média de 10.3mm.

A interceptação de chuvas em indivíduos arbóreos tem sua capacidade de retenção influenciada pelos seguintes aspectos: intensidade e duração da chuva; espécie arbórea; permanência, tamanho, tipo e número de folhas; arquitetura da árvore; distribuição de folhas e galhos pela estrutura da árvore; temperatura e umidade relativa do ar; velocidade dos ventos; radiação solar; e, poda/manutenção dos indivíduos (XIAO et al., 2000; XIAO; McPHERSON, 2002).

É por meio do processo de interceptação que a floresta urbana influencia diretamente na distribuição de água na superfície do solo. As consequências da presença das árvores são alterações na distribuição temporal e espacial das chuvas, que atingem a copa e diminuem a quantidade de água que chega efetivamente ao solo (LIMA, 1986), causando um possível alívio às redes de drenagem e corpos receptores do escoamento urbano.

Apesar de diversos estudos sobre interceptação de chuva por indivíduos arbóreos, as pesquisas, nesta área, possuem metodologias diversas para a realização destes estudos. Os experimentos desenvolvidos, de modo geral, empregam recipientes graduados ou pluviômetros

para o armazenamento e quantificação das precipitações, além do emprego de simuladores de chuva. Porém, tais estudos, por sua vez, não caracterizam precisamente os eventos chuvosos quanto duração, tempo de ocorrência e variação das intensidades.

É notório que em pesquisas na área de interceptação pelas copas, precisa-se considerar diversas variáveis como as condições sazonais, o ângulo, intensidade e duração das tempestades, além da arquitetura da árvore e suas características foliares como a área de superfície, quantidades, textura, permanência e, também, aspectos das cascas e troncos. Porém, abarcar todas as variáveis em um mesmo estudo, ainda, é um objetivo difícil de ser atingindo, devido às diversas dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores, que vão desde os aspectos financeiros às adversidades dos eventos chuvosos e das espécies, principalmente, em estudos que ocorrem em campo. Com isso, as pesquisas em interceptações seguem com vastas possiblidades de ampliações e aplicações para outras localidades, com novas características e espécies diferentes.

Desta forma, nos propósitos de ampliar as pesquisas em interceptação pelas copas e quantificá-la em espécies arbóreas inseridas no meio urbano, realizou-se um experimento na Cidade de Uruaçu, Goiás, com quatro espécies de maior frequência na arborização urbana da região da pesquisa segundo levantamento *in loco,* Plano Diretor de Arborização Urbana de Goiânia (2009), estudos realizados em Brasília (SILVA JÚNIOR; CORREIA, 2001; LIMA; JUNIOR, 2010) e na literatura (SANTOS; TEIXEIRA, 2001; PIVETTA; SILVA FILHO, 2002; ALMEIDA; BARBOSA, 2010).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida em uma área urbana da Cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil, com as coordenadas 14°31'6.23"S e 49° 8'11.16"O. De acordo com a classificação de Köppen, a região climática é do tipo “Aw” com clima tropical, estação seca prolongada e chuvas concentradas no verão. Segundo o banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), a precipitação anual no município, é de aproximadamente 1006.8mm e, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura média dos meses mais quentes, é de 39.4ºC, enquanto a dos meses mais frios, é de 10.8ºC. Em 2012/2013, durante os seis meses de medição, em relação aos dados pluviométricos, o mínimo mensal foi de 10.4mm (janeiro de 2013) e o máximo mensal de 107.6mm (março de 2013).

2.2 Medidas de Interceptação

2.2.1 Coleta dos dados

A medição das precipitações foi realizada por meio da instalação de 10 (dez) pluviógrafos do modelo RG3-M, marca Onset, que permite o monitoramento da duração, do volume precipitado, tempo exato de ocorrência e intensidades das chuvas.

A coleta de dados foi obtida durante o período compreendido entre outubro de 2012 e março de 2013. Foram selecionadas as espécies: *Mangifera indica* (Mangueira), *Pachira aquatica* (Monguba), *Caesalpinia peltophoroides* (Sibipiruna) e *Licania tomentosa* (Oiti).

A Figura 1 indica a disposição dos pluviógrafos instalados no local do experimento, sendo: um em campo aberto (PE); seis sob indivíduos arbóreos que estão dispostos em grupo, Mangueira 1 (P1), Mangueira 2 (P2), Monguba 1 (P3), Monguba 4 (P4), Sibipiruna 1 (P6) e Sibipiruna 2 (P7); e três em indivíduos isolados, sendo eles a Monguba Isolada (P5), Oiti 1 (P8) e Oiti 2 (P9).

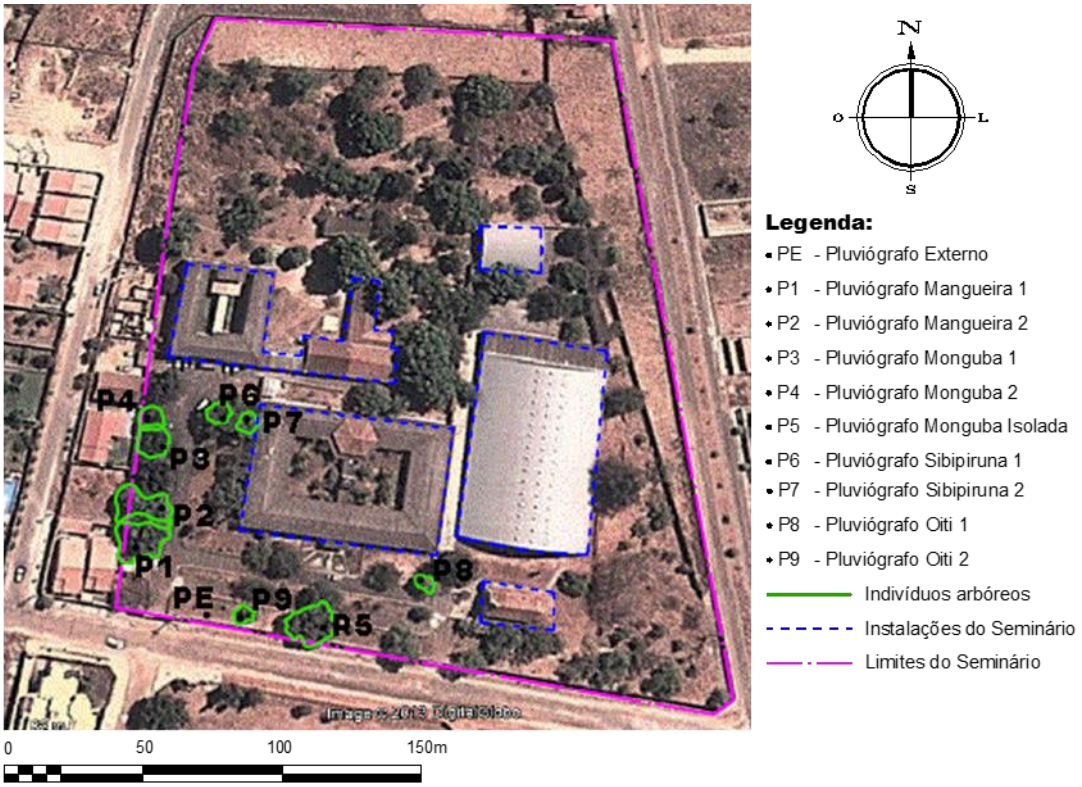


Figura 1 - Imagem aérea do local do experimento, indicando os pontos de instalação dos pluviógrafos, a posição e identificação dos indivíduos arbóreos.

O pluviógrafo instalado, em campo aberto (PE), teve a função de registrar a quantidade e intensidade pluviométrica ocorridas no município/local do experimento, serviu de referência para

a comparação com os registros coletados pelos equipamentos instalados sob as copas (P1 a P9). Os dados registrados pelos pluviógrafos foram ajustados para o intervalo de tempo de 1 minuto.

Os exemplares arbóreos ilustrados na Figura 2, encontram-se distribuídos em uma área de 7200m², aproximadamente, com distâncias variáveis entre si.

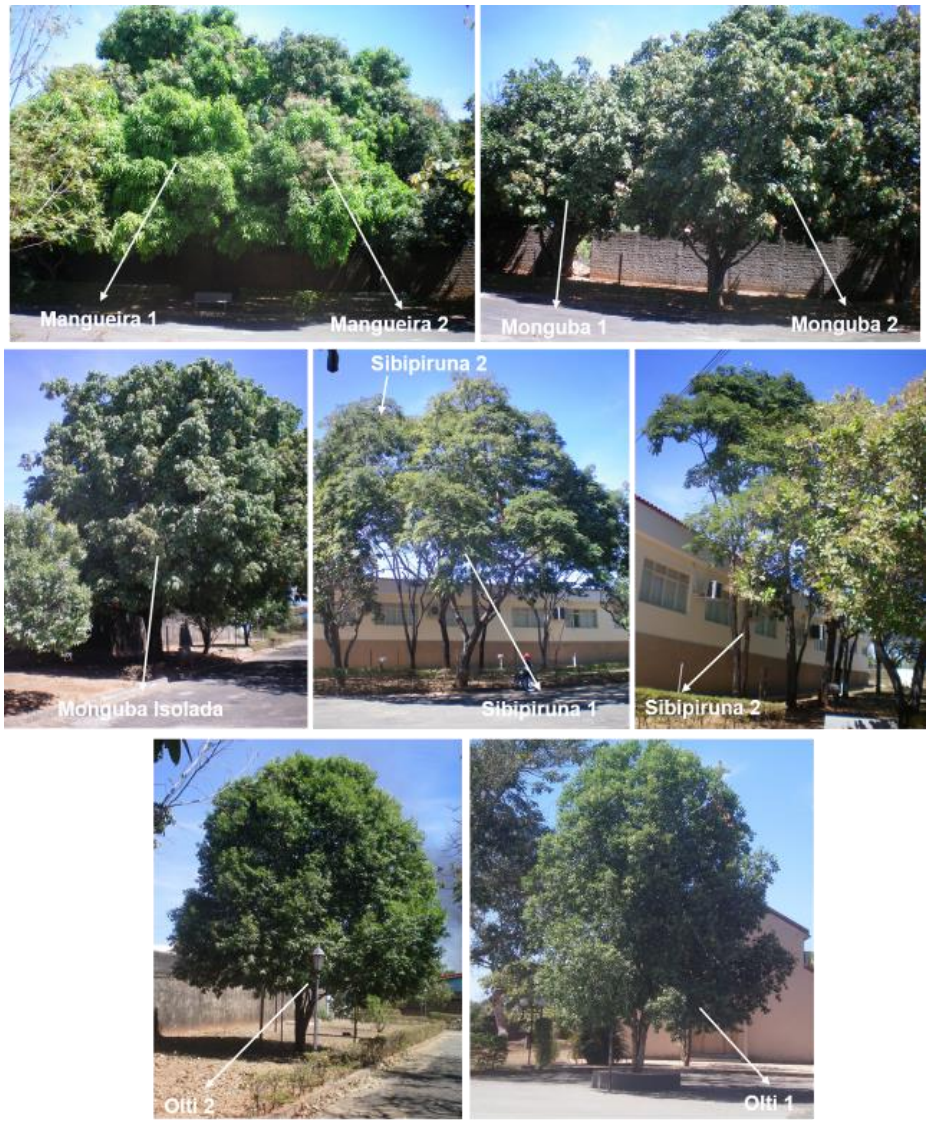


Figura 2 - Imagens com identificação dos exemplares arbóreos sob os quais foram instalados os pluviógrafos, durante o período de coleta de dados.

Para o registro das precipitações acumuladas sob as copas das árvores (PI), os pluviógrafos foram fixados em hastes rígidas, a 1.50m do solo conforme padrão adotado pela Agência Nacional de Águas para instalação de estações hidrométricas (ANA, 2011), em quatro pontos diferentes sob a copa, sendo que suas posições foram alteradas a cada 15 dias, durante o período de coleta de dados, de modo a obter maiores representatividades destes.

Em campo, foram tomadas medidas da altura e do volume da copa de cada indivíduo arbóreo escolhido para estudo, com a utilização de uma Trena Laser Leica Disto D8-200m (sensor 360°). As áreas das copas foram registradas por medições com a trena e auxílio de estacas, para se determinar a projeção das copas e de seus diâmetros médios (Øm). Para o dimensionamento dos volumes e alturas médias das copas, as medidas foram tomadas de acordo com o método de medição de altura de copa proposto por Brena (1995). E, para o cálculo das áreas foliares e dos índices de área foliar, fez-se a inferência a partir dos resultados obtidos por Alves; Venturoli; Traldi (No prelo). Todos esses dados estão expressos na Tabela 1 e foram necessários para as análises das características dos indivíduos arbóreos e seus desempenhos, quanto às interceptações.

Tabela 1 - Parâmetros arbóreos dos indivíduos estudados na pesquisa

Indivíduos arbóreos	**DADOS ARBÓREOS**											
	Idade (anos)	**Dap (m)**	**Htotal (m)**	**Hfuste (m)**	**G (m^2)**	**Cc (m)**	**Dmc (m)**	**Apc (m^2)**	**Vol (m^3)**	**%Copa (%)**	**IAF**	**Af (m^2)**
Mangifera indica (Mangueira 1)	26	1.0	9.9	2.6	0.8	7.2	9.8	75.6	693.7	73.3	1.5	1040.9
Mangifera indica (Mangueira 2)	26	1.4	10.6	2.2	1.5	8.4	10.3	83.0	883.4	79.0	1.4	1265.4
Pachira aquatica (Monguba 1)	26	0.8	8.2	2.4	0.5	5.8	10.9	92.6	684.1	71.0	1.2	817.1
Pachira aquatica (Monguba 2)	26	0.7	8.1	2.4	0.4	5.7	9.6	72.4	521.1	70.1	1.2	597.6
Pachira aquatica (Monguba Isolada)	26	0.9	7.9	2.3	0.7	5.6	11.6	105	746.5	71.2	1.5	1112.6
Caesalpinia peltophoroides (Sibipiruna 1)	15	0.5	9.7	5.8	0.2	4.0	7.6	45.1	229.2	41.0	0.1	16.6
Caesalpinia peltophoroides (Sibipiruna 2)	15	0.4	8.9	4.9	0.1	4.0	6.6	33.8	171.9	45.1	0.1	15.2
Licania tomentosa (Oiti 1)	4	0.3	6.1	1.6	0.1	4.6	5.6	24.3	141.2	74.3	0.6	77.4
Licania tomentosa (Oiti 2)	4	0.3	6.7	1.6	0.1	5.1	6.6	33.8	217.5	75.6	0.7	148.9

Legenda: Idade (anos): idade de plantio do indivíduo; [4]Dap (cm): diâmetro a altura do peito; Htotal (m): altura total da árvore; Hfuste (m): altura de fuste (tronco); G (m^2): área basal da árvore = $(\pi*dap^2)/4$; Cc (m): comprimento de copa; Dmc (m): diâmetro médio de copa; Apc (m^2): área de projeção de copa = $(\pi/4)*dmc^2$; Vol (m^3): volume de copa; % copa: percentagem de copa = (cc/htotal)*100; IAF: Índice de área foliar; Af (m^2): área foliar.

[4]O diâmetro do tronco da árvore (diâmetro a altura do peito – Dap) foi medido por cima da casca a uma altura de 1.30 m do solo (FAO, 2009).

2.2.2 Análise e tratamento dos dados

Para a determinação do horário exato do início e final dos eventos chuvosos, foram estabelecidos intervalos iguais ou superiores a 8 minutos, sem registros de precipitação. A seleção ocorreu, a partir dos dados aferidos, pelo pluviógrafo instalado em campo aberto.

Posteriormente à identificação dos eventos chuvosos no pluviógrafo externo, houve a determinação dos mesmos intervalos de ocorrência para os dados dos demais pluviógrafos, ou seja, considerou-se que a chuva ocorrida sob a copa da árvore, teve a mesma duração e momento de início e final que as chuvas ocorridas em campo aberto. Tal procedimento foi indispensável para a padronização dos dados, pois os 10 equipamentos registraram, a priori, precipitações em horários diferentes, em função das características de cada indivíduo arbóreo, já que a presença da copa das árvores atua como interceptador natural, interferindo na ocorrência das chuvas.

Para o cálculo da interceptação pelas copas (CI), fez-se a diferença entre a precipitação bruta (PB - precipitação acumulada total em cada evento chuvoso medido no pluviógrafo em campo aberto), e as precipitações acumuladas registradas nos pluviógrafos instalados sob as copas (PI).

Do período experimental, foram registrados 182 eventos chuvosos com variações de intensidade média de 1.9mm.h^{-1} a 129.1mm.h^{-1}, e precipitação acumulada total variando entre 0.4mm e 79.2mm. Para este estudo, foram selecionados 55 eventos chuvosos, que tiveram precipitações acumuladas acima de 5mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em se tratando de chuvas, sabe-se que há uma disparidade de características comportamentais quanto à intensidade, duração, concentração, espaço-temporal, dentre outros. Em relação aos registros de precipitações acumuladas em função dos eventos chuvosos ocorridos durante o período de coleta de dados, estes foram divididos em dois grupos caracterizados como: chuvas de baixa intensidade e média duração; e chuvas de alta intensidade e prolongadas.

A capacidade de interceptação da água de chuva pelas copas, para eventos com baixa intensidade e média duração foram de 4.5mm nas Mongubas, 4mm nas Mangueiras, 3.5mm nos Oitis, e 2.7mm nas Sibipirunas. Já em eventos de alta intensidade e prolongadas, os valores foram de 10mm nas Mangueiras, 9.6mm nas Mongubas, 7.6mm nos Oitis, e 5.9mm nas Sibipirunas.

De modo geral, na Tabela 2 os dados demonstram que à medida que as chuvas tendem a ser mais intensas e duradouras a capacidade de interceptação das copas (CI) reduz significativamente, de 37% para 12%. Isso pode ser explicado pelo fato de que após as copas saturarem, a interceptação passa a ser, praticamente, nula.

Tabela 2 – Dados referentes aos 55 eventos chuvosos analisados em todos os espécimes estudados

EVENTOS CHUVOSOS - MEDIANAS							
Faixa de PB (mm)	**Tipologia do evento chuvoso**	**PB (mm)**	**Intensidade ($mm.h^{-1}$)**	**Duração (min)**	**PI (mm)**	**CI (mm)**	**CI (%)**
5.0 - 25.0	baixa intensidade e média duração	13.4	11.4	66.0	5.2	5.0	37.3
25.2 - 79.2	alta intensidade e prolongado	48.0	19.4	195.5	6.4	5.5	11.5

Legenda: PB (mm) – Precipitação Bruta; PI (mm) – Precipitação interna; CI (mm) – Interceptação pelas copas.

Analisando o padrão das espécies, aqui estudadas, quanto à interceptação em dois eventos separadamente (Figura 3), sendo um evento chuvoso com precipitação bruta (PB) de 13.4mm (evento 1 - intensidade média de $9.3mm.h^{-1}$) e outro de 79.2mm (evento 2 - intensidade média de $24.8mm.h^{-1}$), nota-se que, em ambos, a espécie que obteve melhor desempenho quanto à interceptação, foi a Mangueira (evento 1 – 11.2mm e evento 2 – 42mm) e a de menor desempenho, a Sibipiruna (evento 1 – 7.2mm e evento 2 – 7.8mm).

As interceptações, ao longo dos registros de precipitações, ocorridas em campo aberto se mostraram variáveis de espécie para espécie, de evento para evento e ao longo da ocorrência de cada um dos eventos. Porém, em todas as espécies e em ambos os eventos, é genérico o fato de que a diferença entre a precipitação acumulada e a interceptação no início de cada evento possui valores baixos, sendo que esta diferença não se mantém constante até o final do evento chuvoso. É notório em todos os hietogramas da Figura 3, que esta diferença aumenta ao longo do evento, mas, não ocorre de maneira linear.

Observa-se que no evento de menor intensidade, duração e volume (evento 1), a Mangueira é a espécie que apresenta comportamento de interceptação mais semelhante à precipitação acumulada total. Confrontando à Sibipiruna, nota-se que há grande diferença comportamental das interceptações em relação à precipitação acumulada entre estas duas espécies. Na Mangueira, os registros iniciais de interceptação ocorrem 4 min após o início do evento chuvoso, com valor inicial de interceptação em 0.2mm e finaliza com o valor de 11.2mm, já na Sibipiruna, inicia apenas 1 min após o início do evento chuvoso, com valor inicial de interceptação também em 0.2mm e finaliza com 7.2mm. Isso, comprova que a presença das copas de Sibipirunas ocasiona pouca interferência no comportamento das chuvas, apenas redistribuindo as águas que atingem o solo.

No evento de maior intensidade, duração e volume (evento 2) indica que na Mangueira, os registros iniciais de interceptação ocorrem 9 min após o início do evento chuvoso, com valor de inicial de interceptação em 1.4mm e finaliza com o valor de 42.0mm, já na Sibipiruna, inicia 5 min após o início do evento chuvoso, com valor inicial de interceptação em 0.2mm e finaliza em 7.8mm. Neste evento de maior PB, observa-se que as espécies de Monguba, Sibipiruna e Oiti tiveram comportamentos semelhantes entre si, quanto à evolução das interceptações em relação à PB, ao longo da ocorrência do evento.

A partir do emprego de pluviógrafos nessa pesquisa, foi possível a caracterização das precipitações quanto à duração, volume e intensidade. Por meio desta particularização dos eventos, pode-se avaliar o desempenho da interceptação nas árvores. Como pode-se verificar na Figura 4, a interceptação tem o comportamento assintótico para um valor limite máximo. Assim, a interceptação pode ser ajustada a uma equação do tipo (**1**), em que os parâmetros “a”, “b” e “c” (Tabela 3) foram ajustados a partir dos dados observados na Figura 3.

$$\mathrm{Ia} = \frac{\mathrm{a} * \mathrm{PB}}{(\mathrm{b} * \mathrm{PB} + \mathrm{c})} \qquad \textbf{(1)}$$

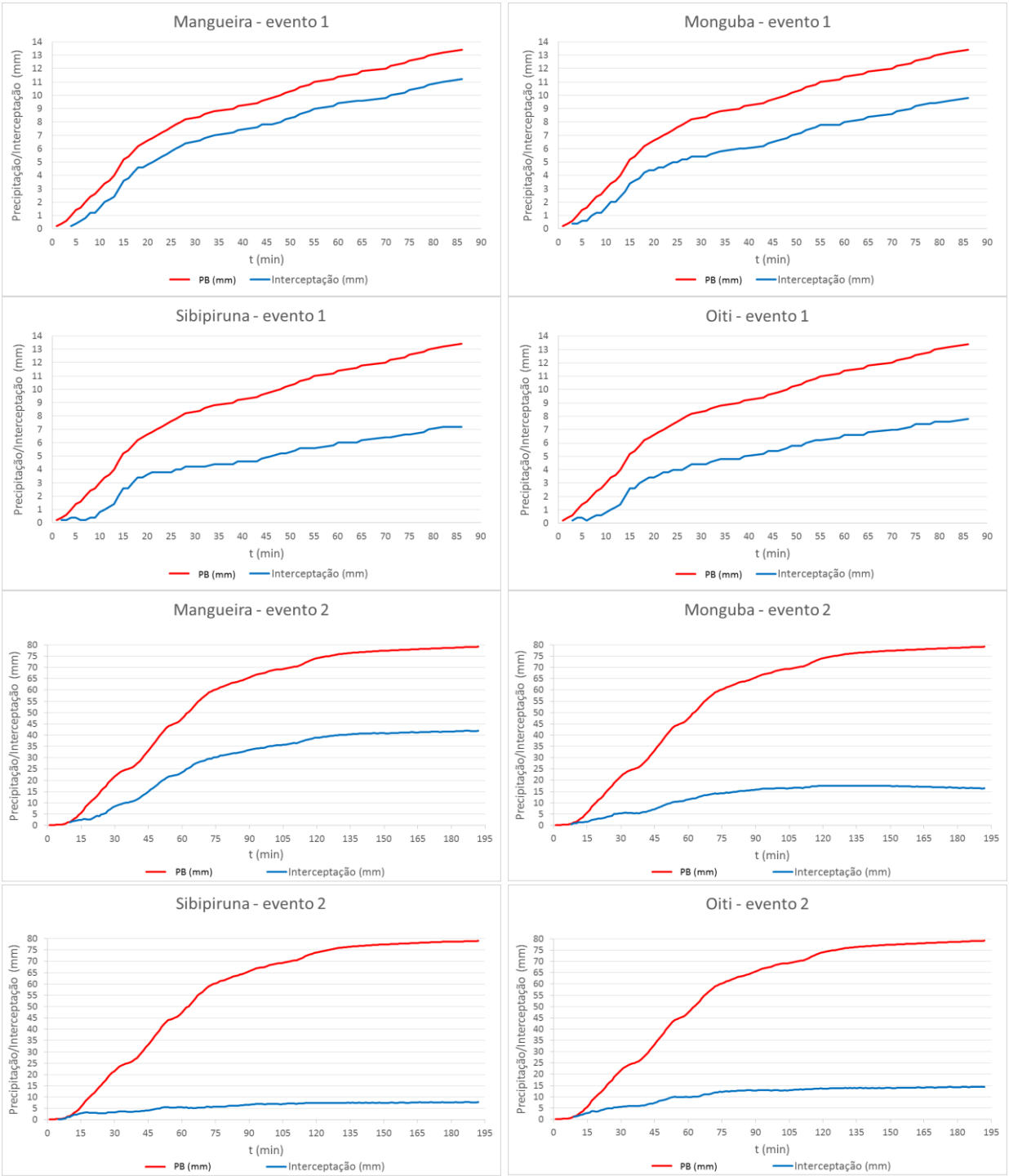


Figura 3 – Hietogramas dos eventos chuvosos (evento 1 – ocorrido no dia 10/11/12 entre 3h36min e 6h37min; evento 2 – ocorrido no dia 19/03/13 entre 3h49min e 5h17min) demonstrando o comportamento das interceptações (CI) das espécies estudadas, quanto à precipitação bruta (PB).

Os dados apresentados na Figura 4 e Tabela 3, não indicam um padrão entre os indivíduos arbóreos estudados, quanto às chuvas mínimas necessárias para o início da passagem da água pela copa até o solo. Esse fato ocorre devido às características incomuns entre as espécies, tais como: a tipologia das folhas; idade dos indivíduos; características do solo no local de plantio; localização das árvores, estando em grupo ou isoladas; bem como diversas outras interferências ambientais e humanas, como doenças e podas.

As Mangueiras foram os indivíduos arbóreos com os maiores valores de precipitação, necessários para iniciar a passagem das águas de chuva pelas copas, em média 4mm; o contrário acontece com as Sibipirunas, que necessitam de apenas 2mm. Estas espécies também demonstraram, respectivamente, a melhor e a pior correlação entre suas interceptações (CI) e precipitações acumuladas sob as copas (PI). Explica-se este desempenho, pelo fato de serem espécies com maiores e menores volumes de copa, índices e áreas foliares segundo os dados apresentados na Tabela 1, características estas que interferem diretamente no desempenho destes indivíduos, quanto à interceptação.

Observa-se que há baixa correlação entre as precipitações acumuladas sob as copas (PI) e as interceptações (CI), na grande maioria dos indivíduos arbóreos estudados. Este comportamento pode ser justificado pelas interferências da duração e magnitude dos eventos chuvosos e das características arbóreas das espécies na capacidade de interceptação dos indivíduos.

Dois espécimes de árvores analisadas, tiveram coeficientes de correlação (R^2) inferiores, se comparados às outras da mesma espécie, sendo elas a Monguba Isolada e o Oiti 1. Observa-se que a Monguba 1 ($R^2 = 0.81$) e a Monguba 2 ($R^2 = 0.47$) se encontram dispostas em grupo (Figura 2) enquanto que, a Monguba Isolada ($R^2 = 0.31$) encontra-se sem interferência de árvores vizinhas. O Oiti 1 ($R^2 = 0.27$) teve desempenho inferior ao Oiti 2 ($R^2 = 0.60$), o que pode ser explicado pela característica da espécie de ter folhas pilosas em ambos os lados, quando novas, tornando-se glabras, quando adultas. Esta pilosidade se destaca das folhas pela ação da água das chuvas e recorrentemente causava entupimento do pluviógrafo instalado sob a copa deste indivíduo arbóreo, em particular.

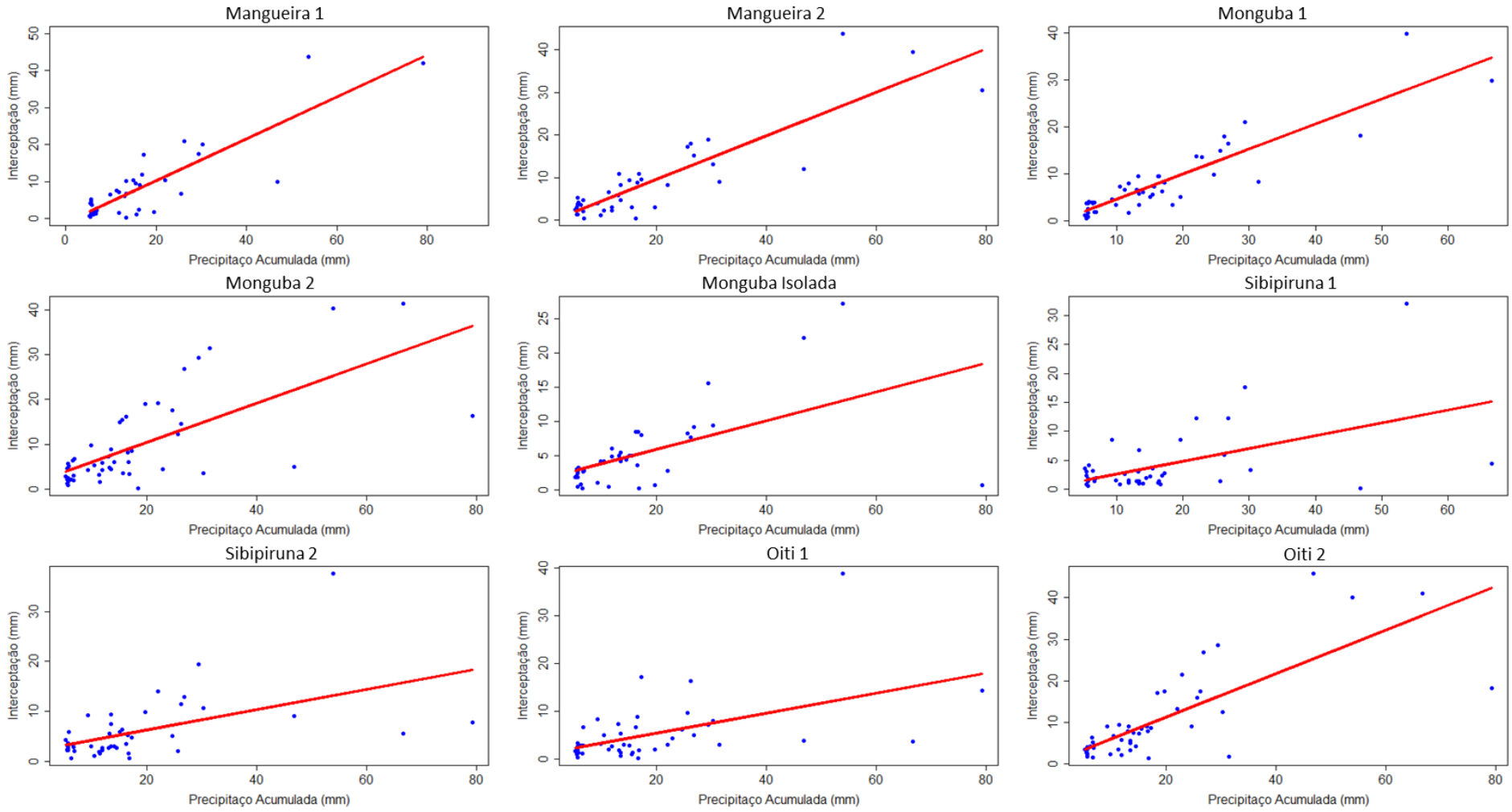


Figura 4 - Gráficos resultantes das análises de regressão provenientes dos estudos comparativos entre a interceptação (CI) e a precipitação acumulada sob as copas (PI) dos 09 indivíduos arbóreos envolvidos na pesquisa.

Tabela 3 - Resultados do ajuste de regressão realizado com uma amostra de 51 eventos chuvosos registrados no experimento de interceptação

Árvore	Nome popular	a	b	c	P	R^2
Árvore 1	Mangueira 1	-1.10	0.37	0.566	<1E-10	0.7467
Árvore 2	Mangueira 2	-0.63	0.57	0.512	<1E-10	0.7692
Árvore 3	Monguba 1	-0.60	0.47	0.532	<1E-10	0.8112
Árvore 4	Monguba 2	1.71	0.28	0.438	3E-08	0.4737
Árvore 5	Monguba isolada	1.70	0.14	0.209	2E-04	0.3113
Árvore 6	Sibipiruna 1	0.45	0.72	0.219	6E-04	0.2579
Árvore 7	Sibipiruna 2	2.18	0.07	0.204	2E-04	0.2690
Árvore 8	Oiti 1	1.26	0.31	0.209	2E-04	0.2691
Árvore 9	Oiti 2	0.82	0.56	0.524	<1E-10	0.6040

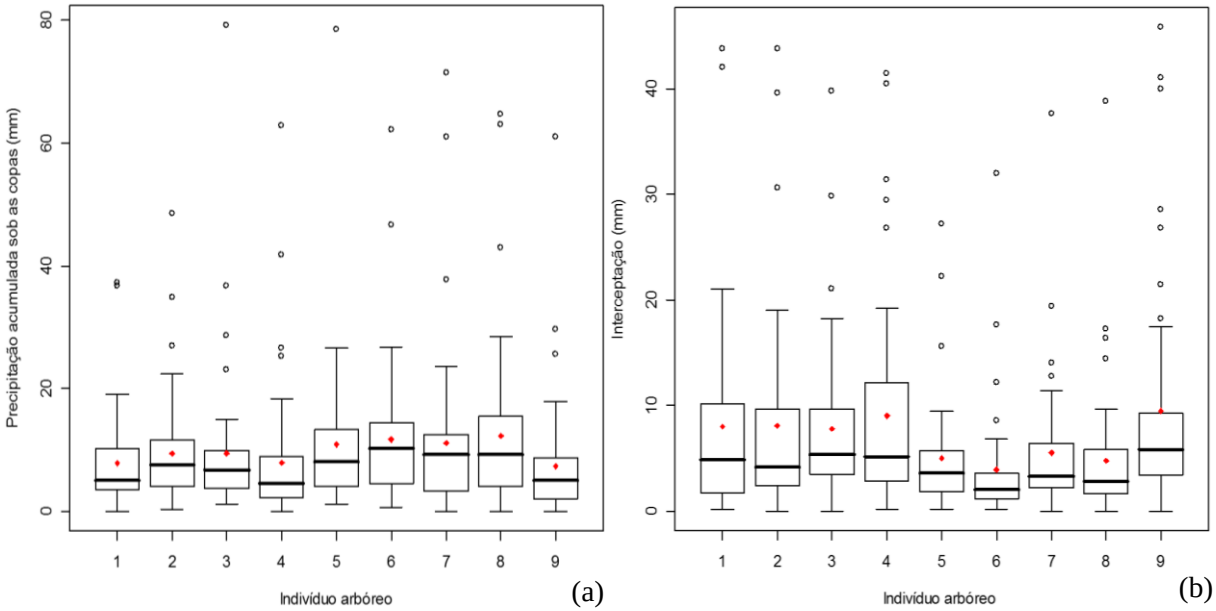
Na Figura 5a, é possível observar que as árvores 5 (Monguba Isolada) e 8 (Oiti1) obtiveram medianas de precipitações acumuladas sob as copas superiores aos demais indivíduos da mesma espécie. Com exceção destes dois indivíduos, os demais apresentaram pouca variação nos valores medianos para as precipitações acumuladas entre as espécies (Mangueiras 1 e 2 – árvores 1 e 2, Mongubas 1 e 2 – árvores 3 e 4, Sibipirunas 1 e 2 – árvores 6 e 7).

Quanto à precipitação acumulada mediana, destaca-se a Monguba 2 (indivíduo arbóreo 4) como o indivíduo com menor valor, 4.6mm, e a Sibipiruna 1 (indivíduo arbóreo 6) com o maior, 10.2mm. Novamente, explica-se estas ocorrências devido às características arbóreas de cada indivíduo que, neste estudo, as Sibipirunas são as árvores com menores índices de área foliares (IAF) (Tabela 1), consequentemente tendo menor desempenho nas interceptações se comparadas às Mongubas ou Mangueiras, por exemplo, que possuem copas densas e folhas individuais de maiores áreas, promovendo assim melhores capacidades de interceptação.

O indivíduo arbóreo com melhor desempenho para interceptação foi o Oiti 2 (indivíduo arbóreo 9 - mediana de 5.8 mm) e o de pior foi a Sibipiruna 1 (indivíduo arbóreo 6 - mediana de 2.0mm). De modo geral, as interceptações medianas obtidas nos indivíduos arbóreos envolvidos na pesquisa, foram de 6.9mm (Figura 5b).

O desempenho das espécies, quanto à interceptação, está relacionado às suas características arbóreas, em especial ao volume da copa, índice e área foliar, que são elementos

que interferem diretamente, atuando como obstáculos naturais para interceptação das águas de chuvas pelas copas.



Legenda:
Indivíduo arbóreo 1 – Mangueira 1
Indivíduo arbóreo 2 – Mangueira 2
Indivíduo arbóreo 3 – Monguba 1
Indivíduo arbóreo 4 – Monguba 2
Indivíduo arbóreo 5 – Monguba Isolada
Indivíduo arbóreo 6 – Sibipiruna 1
Indivíduo arbóreo 7 – Sibipiruna 2
Indivíduo arbóreo 8 – Oiti 1
Indivíduo arbóreo 9 – Oiti 2

Figura 5 - *Box plot* das precipitações acumuladas sob as copas (PI) e interceptações (CI) em cada um dos 09 indivíduos arbóreos utilizados na pesquisa.

Os resultados aqui obtidos, diferem de outros estudos acerca da capacidade de interceptação por árvores urbanas individuais. Nos Estados Unidos, na Califórnia, pesquisas como as de Xiao et al. (1998), na Cidade de Sacramento, obtiveram interceptação média de 1.2mm em eventos com precipitação acumulada média de 6.2mm; em Modesto, a interceptação foi de 1.7mm para eventos de 7.7mm (McPHERSON et al., 1999); em Davis, foi de 2.8mm para eventos de 8.8mm (XIAO et al., 2000); e, em Santa Monica, a capacidade de interceptação de cada indivíduo arbóreo foi de 5.2mm para eventos de 10mm (XIAO; McPHERSON, 2002).

Nos estudos de Silva et al. (2010), desenvolvidos em Piracicaba, São Paulo, Brasil, em eventos com precipitações superiores a 20mm, as interceptações variaram entre 4.5mm e 10.3mm em duas espécies de indivíduos isolados.

As diferenças observadas entre os valores encontrados em outras pesquisas relacionadas à interceptação e os expressos nesse estudo, se devem, principalmente, às distintas metodologias das pesquisas, diferentes características arbóreas das espécies e meteorológicas das localidades de estudo, bem como pela disparidade de aspectos a serem observados nas chuvas.

Os valores registrados para as interceptações, pelas copas das árvores, tiveram influência direta da arquitetura da copa e da quantidade de área foliar que é determinada, principalmente, pelo tamanho das folhas e volume da copa. Os volumes de copa, índice e área foliar dos indivíduos de Sibipiruna aqui estudados representam, por exemplo, apenas 2% dos mesmos parâmetros dos exemplares de Monguba, Mangueira e Oiti, que foram as espécies que apresentaram melhores desempenhos quanto à interceptação. Em geral, os estudos de interceptação pouco relacionam as características arbóreas das espécies às suas capacidades de retenção das águas de chuva. Porém, ressalta-se que esta relação é intimamente ligada aos indivíduos envolvidos nas pesquisas, pois o volume e área das folhas são influenciados pelo estado de desenvolvimento e conservação da árvore, bem como pelas características do solo, ano de plantio e condições de manutenção.

Neste estudo, destaca-se que a capacidade de interceptação das espécies tende a ser inferior em eventos de maior intensidade e duração. Esta redução de interceptações, em função do aumento da intensidade, duração e precipitação do evento é esperado, pois nestas chuvas há um aumento do gotejamento da folha e da precipitação interna.

A proporção da chuva interceptada pelas copas, é limitada pela superfície de armazenamento, sendo fortemente controlada pela arquitetura das copas e pela quantidade de galhos e folhas. À medida que os eventos chuvosos se prolongam e permanecem com altas intensidades, as copas tendem a se saturar e terem menor capacidade de interceptação. Assim como nos estudos de Xiao et al. (1998), Xiao et al. (2000) e Silva et al. (2010) para os eventos de maior duração, as copas interceptaram somente uma proporção menor da precipitação e, consequentemente, a porcentagem média de interceptação decresce.

4. CONCLUSÃO

Os eventos chuvosos considerados nesta pesquisa, tiveram valores medianos de 16.7mm de precipitação acumulada total. E, as medianas de interceptações destes eventos encontradas nas espécies, foram: para as Mangueiras (*Mangifera indica*) – 8.0mm, as Mongubas (*Pachira aquatica*) - 7.4mm, os Oitis (*Licania tomentosa*) – 7.2mm, e as Sibipirunas (*Caesalpinia peltophoroides*) - 4.8mm.

O uso de pluviógrafos permitiu a particularização dos eventos chuvosos e, com isso, uma correlação entre os dados de interceptação às perdas iniciais do solo, permitindo a dedução de uma fórmula para futuros cálculos de estimativas de tais perdas.

Grande parte das pesquisas relacionadas a interceptações pelas copas de indivíduos arbóreos expressam seus resultados em porcentagens únicas, mas é notório que estes valores são variáveis para cada espécie, e também, em relação às características temporais dos eventos. Não havendo, assim, como se estabelecer taxas fixas.

Sumariamente, todas as espécies aqui estudadas, interferem positivamente na interceptação das águas de chuva, em especial as Mongubas, Mangueiras e Oitis. De fato, a arborização tem papel indispensável no equilíbrio hidrológico do meio urbano e não deve apenas ser tratada como um elemento estético ou que traga mais problemas do que benefícios aos ambientes em que se inserem.

As cidades devem ter no meio urbano e vias a presença das árvores, mas substituí-las por espécies puramente ornamentais, de pequeno porte, ou mesmo por pouca variedade de espécies, dando preferência àquelas que exigem menor manutenção, não é a saída mais eficaz para uma arborização eficiente quanto aos benefícios da interceptação.

A pesquisa confirma a interferência das características individuais das espécies na capacidade de interceptação de chuva por suas copas, ressaltando a necessidade de definição criteriosa das espécies que comporão a arborização urbana; atesta a existência de variações nas interceptações em relação aos eventos chuvosos e durante suas ocorrências; bem como, aponta dados quantitativos de redução de volume precipitado pela presença do indivíduo arbóreo no meio urbano. Essas reduções ocasionadas pela interceptação das copas amenizam, consequentemente, o volume de escoamento superficial urbano e contribuem para as ações de drenagem urbana.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor; Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo auxílio financeiro para a compra de equipamentos; e, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - Nível 2 ao segundo autor.

6. REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. **Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas** / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 2011.

ALMEIDA, J. R. de; BARBOSA, C. G. Diagnóstico da arborização urbana da cidade de Cacoal (RO). **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 5, n. 1, p. 61-81, 2010.

ALVES, P.L.; VENTUROLI, F.; TRALDI, M. A. B. (submetido) Modelo metodológico para estimativa da área foliar do Oiti (*Licania Tomentosa (Benth.) Fritsch*). **REVSBAU**, Piracicaba – SP, 2014. No prelo.

BARBIER, S.; BALANDIER, P.; GOSSELIN, F. Influence of several tree traits on rainfall partitioning in temperate and boreal forests: a review. **Annals of Forest Science**, v. 66, n. 6, p. 602 - 616. 2009.

BRENA, D. A. **Inventário Florestal Nacional: proposta de um sistema para o Brasil.** Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 226p. 1995.

CAPPIELLA, K.; SCHUELER, T.; WRIGHT, T. Urban Watershed Forestry Manual Part 1: Part 1: Methods for Increasing Forest Cover in a Watershed. **USDA Forest Service Northeastern Area State and Private Forestry**. NA-TP-04-05. Newtown Square, PA. 140p. 2005.

_____. Urban Watershed Forestry Manual Part 2: Conserving and Planting Trees at Development Sites. **USDA Forest Service Northeastern Area State and Private Forestry.** NA-TP-01-06. Newtown Square, PA. 100p. 2006.

CUFR, Center for Urban Forest Research. Fact Sheet #1: Benefits of the urban forest. Davis, CA: USDA Forest Service, **Pacific Southwest Research Station**. 2 p. 2001.

ENVIROCAST. Seeing the forests through the trees: Part 2, autumn leaf fall and the watershed. **Envirocast**, v. 12, n. 2, p. 1-4. 2003.

FAO, IDF. Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola – Guia para recolha de dados. **National Forest Monitoring and Assessment Working Paper** NFMA XX/P. Rome, Luanda. 2009.

FAZIO, J. R. How Trees Can Retain Stormwater Runoff. **Tree City USA Bulletin**, Nebraska City, NE. 2012.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia - Brasil. BDMEP , Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

LIMA, R. M. C.; JUNIOR, M. C. S. Inventário da arborização urbana implantada na década de 60 no plano piloto, Brasília, DF. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, v. 5, n. 4, p. 110-127, 2010.

LIMA, W.P. **Interceptação da chuva pela floresta**. São Paulo: USP, 123 p. 1986.

McPHERSON, E.G. Structure and sustainability of Sacrament's urban forest. **Journal of Arboriculture**, Davis, v.24, n.4, p.174-190, 1998.

OHNUMA JÚNIOR, A. A. **Cenários de Reuso de Água Pluvial e Controle da Drenagem Visando a Recuperação Ambiental da Micro-Bacia do Alto Tijuco Preto, São Carlos/SP.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 124p. 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da Mata Atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 9-15, nov. 2005.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA FILHO, D. F. da **Arborização urbana.** Boletim acadêmico UNESP/FCAV/FUNEP Jaboticabal-SP, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA/AGÊNCIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE DE GOIÂNIA (AMMA). **Plano Diretor de Arborização Urbana de Goiânia.** Goiânia-GO, 134, p. 2009.

SANTOS, N.R.Z. dos; TEIXEIRA, I.F. Avaliação qualitativa da arborização da cidade de Bento Gonçalves, RS. **Ciência Florestal**, v.1., n.1., p.88-99, 2001.

SILVA JÚNIOR, M.C.; CORREIA, C.R.M. A. **Arborização no campus da Universidade de Brasília**. In:Livro de Resumos, IX Encontro Nacional de Arborização Urbana, Brasília, DF, p.26, 2001.

SILVA, L.F. et al. Interceptação da chuva por duas espécies arbóreas em áreas verdes urbanas. **CERNE** (UFLA), v. 16, p. 547-555, 2010.

XIAO, Q.; McPHERSON, E.G. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. **Urban Ecosystems**, Davis, v. 6, p. 291-302, Sept. 2002.

XIAO, Q. et al. Rainfall interception by Sacramento's urban forest. **Journal of Arboriculture**, v. 24, n. 4, p.235–244, July 1998.

XIAO, Q. et al. Winter rainfall interception by two mature open-grow trees in Davis, California. **Hydrological Processes**, Davis, v. 14, p. 763-784, June 2000.

ARTIGO 2

INTERFERÊNCIAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NA INTERCEPTAÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS - IMPACTOS NO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

ALVES, Patrícia Layne[1]; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins[2]; TRALDI, Marco Antônio Borges[3]

RESUMO

A urbanização aumenta o pico e o volume de escoamento superficial, além de reduzir o tempo de concentração. Para controlar o impacto deste processo através da inserção das árvores no meio urbano, é necessário compreender como a arborização pode influenciar no caminho das águas no meio urbano. Neste estudo propomos avaliar a interceptação e seus impactos no tempo de concentração nas bacias urbanas. A pesquisa ocorreu em Uruaçu, Goiás durante o período de novembro de 2013 a março de 2014 e utilizou três indivíduos arbóreos. Para eventos com precipitações medianas de 20.7mm, nas três espécies encontraram-se os seguintes valores medianos para interceptação e escoamento pelo tronco, respectivamente: 5.7mm e 0.1mm para a *Mangifera indica*; 4.5mm e 0.2mm para a *Licania tomentosa*; e, 3.8mm e 0.3mm para a *Tabebuia ochracea*. O tempo de retardo mediano ocasionado pelas três espécies foi de 3min. O estudo comprova a interferência e os impactos positivos das árvores na interceptação das águas pluviais em ambiente urbano, indica a possibilidade de redução do escoamento em até 27% e, mostra que a arborização urbana pode reduzir o escoamento de águas pluviais e intensidade do volume escoado, bem como aumentar o tempo de concentração e tempo ao pico dos hidrogramas.

Palavras-chave: interceptação pelas copas; escoamento pelo tronco; escoamento de águas pluviais; tempo de concentração; hidrologia urbana.

---

[1]Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Rua Natal, n. 59, Apto. 902, Setor Alto da Glória, CEP 74-815-705, Goiânia - GO, email: patricialaynearq@yahoo.com.br.

[2]Universidade Federal de Goiás, Professor Assistente, Escola de Engenharia Civil, Praça Universitária, s/n, Bloco A, Sala 8, Setor Universitário, CEP:74605-220, Goiânia - GO, email: klebber.formiga@gmail.com.

[3]Tribunal de Contas do Estado de Goiás, Praça Dr. Pedro Ludovico Teixeira, 332, Centro, CEP: 74003-010, Goiânia, GO, email: mabtraldi@gmail.com.

INTERFERENCES OF ARBOREAL SPECIES IN THE INTERCEPTION OF URBAN STORMWATER – THE IMPACTS ON THE TIME OF CONCENTRATION

ABSTRACT

Urbanization increases the peak and the volume of runoff and reduce the time of concentration. To control the impact of this process through the integration of trees in urban areas, it is necessary to understand how trees can influence the path of water in urban area's. In this study we propose to evaluate the interception of pluvial water by the crows of the water and its impacts on the time of concentration in urban watersheds. The research carried out in Uruaçu, Goiás, during the period November 2013 to March 2014 and used three individual trees. For events with median rainfall of 20.7mm, the three species met the following median values for interception and stemflow, respectively: 5.7mm and 0.1mm for *Mangifera indica*; 4.5mm and 0.2mm for *Licania tomentosa*; and 3.8mm and 0.3mm for *Tabebuia ochracea*. The delay time of the surface runoff was on average 3min for the three species. The study proves the interference and the positive impacts of treetops and trunks on the interception of rainwater in an urban environment. It indicates the possibility of annual runoff reduction in up to 27% and shows that urban afforestation can reduce stormwater runoff and intensity of volume disposed, as well as increase the time of concentration and time to the peak of hydrographs, especially of small watersheds.

Keywords: intercept the tops; stemflow; stormwater runoff; time of concentration; urban hydrology.

1. INTRODUÇÃO

À medida que há uma urbanização desordenada das bacias hidrográficas, diversos desequilíbrios são ocasionados ao meio ambiente, bem como danos ao homem. A consequência da apropriação do espaço urbano, é um aumento nos volumes escoados e nas vazões de pico, ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração, provocando eventos de cheias cada vez mais críticos (URBONAS; STAHRE, 1993).

O aumento do escoamento pluvial pode produzir impactos nas áreas urbanas, ocasionando inundações de áreas ribeirinhas ou em outras localidades, estes processos podem ocorrer de forma isolada ou associados. As inundações, em decorrência dos efeitos da ocupação do espaço, se devem à impermeabilização do solo, canalização ou obstrução ao escoamento. Xiao et al. (2007) aponta algumas alterações ao meio urbano, provocadas pela urbanização que podem exacerbar a ocorrência de inundações: redução da infiltração no solo; aumento do volume e da velocidade do escoamento superficial; aumento das vazões máximas e antecipação de seus picos no tempo.

De acordo com Ha; Park; Park (2003), os hidrogramas para áreas que foram urbanizadas, de forma desordenada, apresentam menores tempos de concentração e, consequentemente, menores tempos de picos, provocando um aumento significativo no volume, além de maior duração de descarga com relação ao hidrograma natural.

Os fatores que influenciam o tempo de concentração são: a forma da bacia, a declividade média, a sinuosidade, cobertura do solo e a declividade do curso principal, entre outros (WONG, 2009). A busca por ampliações, nos tempos de concentração, é algo valioso para amenizar os impactos e custos das obras de sistemas de drenagem. Com isso, a arborização urbana constitui-se um fator importante a ser considerado em modelagens ambientais, especialmente em pequenas bacias, cujas interferências podem ocasionar alterações significativas como a ampliação do tempo ao pico do hidrograma, aumento no tempo de retardo e redução na intensidade do escoamento superficial.

Embora haja uma preocupação com os problemas ambientais urbanos e com o clima, a população ainda não se atém à capacidade de interceptação das chuvas pelas árvores. Xiao et al. (2000; 2007) e Wang; Endreny; Nowak (2008) apontam que a arborização desempenha um importante papel nos sistemas de drenagem das águas pluviais urbanas, através da interceptação pelas copas. O volume interceptado reduz portanto, a intensidade do pico dos fluxos de escoamento. E, segundo Johnson; Lehmann

(2006), neste processo, a arquitetura das árvores e as propriedades da casca influenciam grandemente nas proporções de precipitação, que podem ser interceptadas e escoadas pelos troncos.

Em geral, estudos relacionados à interceptação em ambientes urbanos, tais como os de Xiao et al. (2000), Xiao; Mcpherson (2002) e Livesley; Baudinette; Glover (2014), em que utilizaram pluviômetros ou recipientes graduados para armazenar as precipitações e quantificá-las. Procedendo desta forma, fica impossibilitada as análises da duração, tempo de ocorrência e intensidades dos eventos chuvosos. A necessidade de caracterizar as chuvas quanto à distribuição temporal, volume precipitado e variações de intensidades é de suma importância, pois sabe-se que as interceptações ocasionadas pelas copas das árvores não acontecem de maneira constante ao longo do evento chuvoso. Xiao et al. (1998) e Xiao et al. (2000) destacam que a interceptação também é variável, de evento para evento.

Ressalta-se que além das variações em relação às chuvas, nos sistemas urbanos, a cobertura pelas copas é descontínua, as árvores são frequentemente isoladas e há alto número de variação de espécies, tipo de copa/folha e de suas características, o que significa que a interceptação nestes ambientes é difícil de ser medida e, ainda, mais complexa de ser prevista (GUEVARA-ESCOBAR et al., 2007).

Xiao et al. (2000) desenvolveu um modelo tridimensional e estimou, em eventos de precipitação de 8.8mm, a interceptação em 1.1mm e 2.9mm para *Pyrus calleryana* e *Quercus suber*, respectivamente, e o escoamento pelo tronco em torno de 0.5mm e 1.1mm. Esta abordagem permitiu uma estimativa de boa qualidade, porém só pode ser aplicada a situações de pesquisa controlada e para copas sem a interferência de vegetações adjacentes ou estruturas construídas. Um método mais simples para a determinação da interceptação da copa/dossel e do escoamento pelo tronco foi desenvolvido por Livesley; Baudinette; Glover (2014) para a medição em ambientes urbanos reais, com árvores adultas, na Cidade de Melbourne, Victoria (Austrália). Desta pesquisa obteve-se, em eventos de precipitação média de 12mm, para duas espécies de eucalipto, *Eucalyptus nicholii* e *Eucalyptus saligna*, uma interceptação de 3.88mm e 3.03mm, respectivamente, e quanto ao escoamento pelo tronco, foi obtido um desempenho ínfimo para a *Eucalyptus nicholii* e a *Eucalyptus saligna*, por possuir casca mais lisa, só registrou cerca de 2mm.

Silva et al. (2010) em pesquisas em Piracicaba, São Paulo, Brasil, envolvendo duas espécies, concluíram que ambas possuem grande potencial para interceptação, principalmente em eventos mais duradouros e com precipitações superiores a 20mm, sendo que a *Caesalpinia pluviosa* ou Sibipiruna, obteve em média 4.5mm de interceptação e, a *Tipuana tipu* ou Tipuana, média de 10.3mm.

As diferentes características das copas (densa ou esparsa), das folhas (simples ou compostas, persistente ou caduca) e do tronco (liso ou áspero) influenciam na interceptação, na redistribuição e no escoamento das chuvas, e constitui parâmetros diferenciais para a simulação dos processos hidrológicos em uma bacia urbana.

No entanto, ainda são poucos os estudos que relacionam as interceptações das chuvas pelas árvores aos modelos hidrológicos de bacias. Os modelos de interceptações e a previsão de efeitos sobre o clima e recursos hídricos devem ser inseridas nas modelagens ambientais (ELLIOTT; TROWSDALE, 2007; CUO et al., 2008). Porém, para isso exige-se uma compreensão baseada no impacto das árvores e as particularidades sobre o processo de drenagem para a inserção das características de interceptação pelas copas das árvores em simulações computacionais, que utilizam modelos como UFORE-Hydro (WANG; ENDRENY; NOWAK, 2011), SWMM (BARCO; WONG; STENSTROM, 2008) e TOPLATS (BORMANN, 2006).

Wang; Endreny; Nowak (2008) afirmam que as árvores podem ser uma alternativa para a redução do escoamento urbano, pois a presença destas reduz significativamente o escoamento, principalmente em eventos de baixa intensidade e curta duração. Desta forma, a presença das árvores nos ambientes urbanos pode interferir no sentido de ampliar o tempo de concentração das bacias.

Com o intuito de avaliar a interceptação das águas pluviais ocasionada pela presença das árvores no meio urbano e os impactos ocasionados no tempo de concentração, no tempo ao pico e na intensidade do volume escoado em bacias urbanas, realizou-se uma pesquisa na Cidade de Uruaçu, Goiás. Para a coleta de dados, foram utilizados pluviógrafos e coletores no tronco em três espécies arbóreas diferentes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em uma área urbana da Cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil, com as coordenadas 14°31'6.23"S e 49° 8'11.16"O. De acordo com a classificação de

Köppen, a região climática é do tipo "Aw" com clima tropical, estação seca prolongada e chuvas concentradas no verão. Segundo o banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), a precipitação anual no município, é de aproximadamente 1006.8mm e, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura média dos meses mais quentes, é de 39.4ºC, enquanto a dos meses mais frios, é de 10.8ºC. Em 2013/2014 durante os cinco meses de medição, em relação aos dados pluviométricos, o mínimo mensal foi de 17.5mm (fevereiro de 2014) e o máximo mensal de 182.4mm (dezembro de 2013).

Três indivíduos arbóreos (Figura 1), sendo um em grupo (*Mangifera indica*) e dois isolados (uma *Tabebuia ochracea* e uma *Licania tomentosa*), foram selecionadas por serem os indivíduos com os maiores diâmetros a altura do peito (DAP[4]) entre os outros exemplares de espécies existentes no local da pesquisa; por suas características de copa, casca e folhagem; e, pelo fato de suas espécies serem amplamente empregadas na arborização urbana da região da área de estudo.

Os parâmetros arbóreos das espécies estão expressos na Tabela 1, foram necessários na análise das características dos indivíduos arbóreos e o desempenho quanto à interceptação.

Tabela 1 - Parâmetros arbóreos dos indivíduos estudados na pesquisa

Indivíduos arbóreos	**DADOS ARBÓREOS**												
	Idade (anos)	**Tipo de casca**	**Dap (m)**	**Htotal (m)**	**Hfuste (m)**	**G (m^2)**	**Cc (m)**	**Dmc (m)**	**Apc (m^2)**	**Vol (m^3)**	**% Copa (%)**	**IAF**	**Af (m^2)**
*Tabebuia ochracea (*Ipê amarelo)	26	Áspera	0.5	7.5	1.9	0.2	5.6	8.0	50.0	225.5	74.8	0.6	121.5
Mangifera indica (Mangueira)	26	Áspera	1.0	9.9	2.6	0.8	7.2	9.8	75.6	693.7	73.3	1.5	1040.9
Licania tomentosa (Oiti)	4	Lisa	0.3	6.7	1.6	0.1	5.1	6.6	33.8	217.5	75.6	0.7	148.9

Legenda: Idade (anos): idade de plantio do indivíduo; Dap (cm): diâmetro a altura do peito; Htotal (m): altura total da árvore; Hfuste (m): altura de fuste (tronco); G (m^2): área basal da árvore = (π*dap²)/4; Cc (m): comprimento de copa; Dmc (m): diâmetro médio de copa; Apc (m^2): área de projeção de copa = (π/4)*dmc²; Vol (m^3): volume de copa; % copa: percentagem de copa = (cc/htotal)*100; IAF: Índice de área foliar; Af (m^2): área foliar.

[4]O diâmetro do tronco da árvore (diâmetro a altura do peito – Dap) foi medido por cima da casca a uma altura de 1.30 m do solo (FAO, 2009).

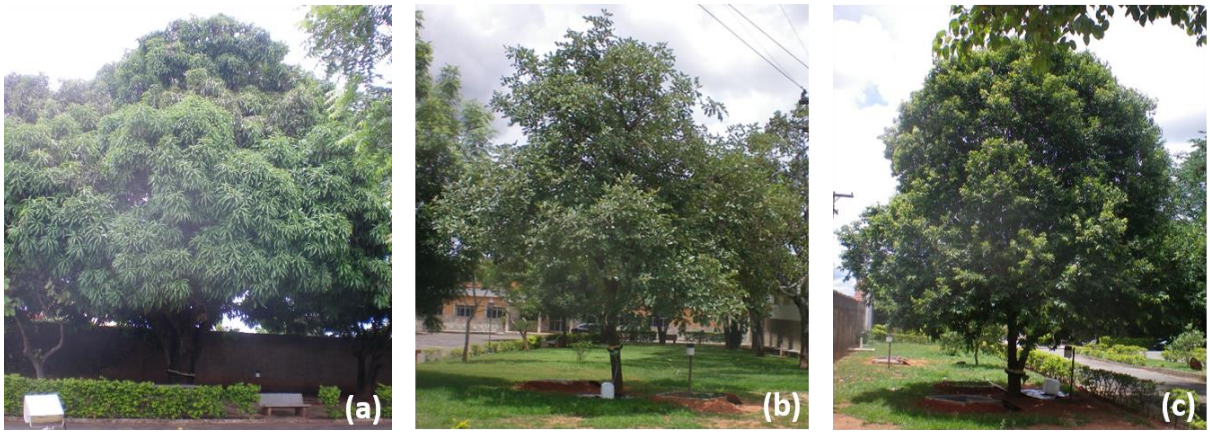


Figura 1 - Imagens dos indivíduos arbóreos estudados, sendo: (a) *Mangifera indica* (Mangueira), (b) *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo) e (c) *Licania tomentosa* (Oiti).

A precipitação bruta (PB) e a precipitação interna (PI) foram aferidas por quatro pluviógrafos do modelo RG3-M, marca Onset, instalados a 1.50m de altura do solo conforme padrão adotado pela Agência Nacional de Águas para instalação de estações hidrométricas (ANA, 2011), de modo que três ficaram posicionados sob as copas das árvores e um em campo aberto. Os equipamentos foram instalados durante o período de novembro de 2013 a março de 2014 e tiveram suas localizações sob as copas alteradas a cada 15 dias, de modo a obter dados mais representativos. Os registros dos pluviógrafos foram adquiridos com uma discretização do intervalo de tempo em 1 minuto.

O escoamento pelo tronco (ET) foi obtido por meio da construção de estruturas nas árvores, que desaguavam em galões com capacidade de 23litros (Figura 2). Tais estruturas, para captação das águas, foram executadas com calhas de borracha seladas ao tronco por meio da aplicação de espuma de poliuretano.

Figura 2 - Imagem de uma das estruturas para captação do escoamento pelo tronco (ET).

Seguindo a metodologia proposta por Livesley; Baudinette e Glover (2014), a interceptação pelas copas (CI), para cada evento chuvoso, foi calculada como:

$$CI = PB - (PI + ET) \quad \textbf{(1)}$$

Onde: CI – interceptação pelas copas

PB – precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento chuvoso medido no pluviógrafo em campo aberto) (mm)

PI – precipitação total acumulada sob a copa

ET – escoamento total pelo tronco

A medição temporal dos eventos chuvosos, com o uso dos pluviógrafos, permitiu análises a respeito do atraso para o registro do início do evento chuvoso sob as copas, nesta pesquisa denominado como tempo de retardo de início do evento chuvoso (R). E, também o tempo ao pico de cada evento, este corresponde o momento exato de maior registro de precipitação ao longo de cada chuva, o que seria o pico de precipitação da mesma.

Para a determinação das precipitações acumuladas em cada evento chuvoso (chuva), fez-se a padronização dos dados, considerando que as chuvas ocorridas sob a copa da árvore tivessem a mesma duração e momento de início e fim, que as chuvas ocorridas em campo aberto.

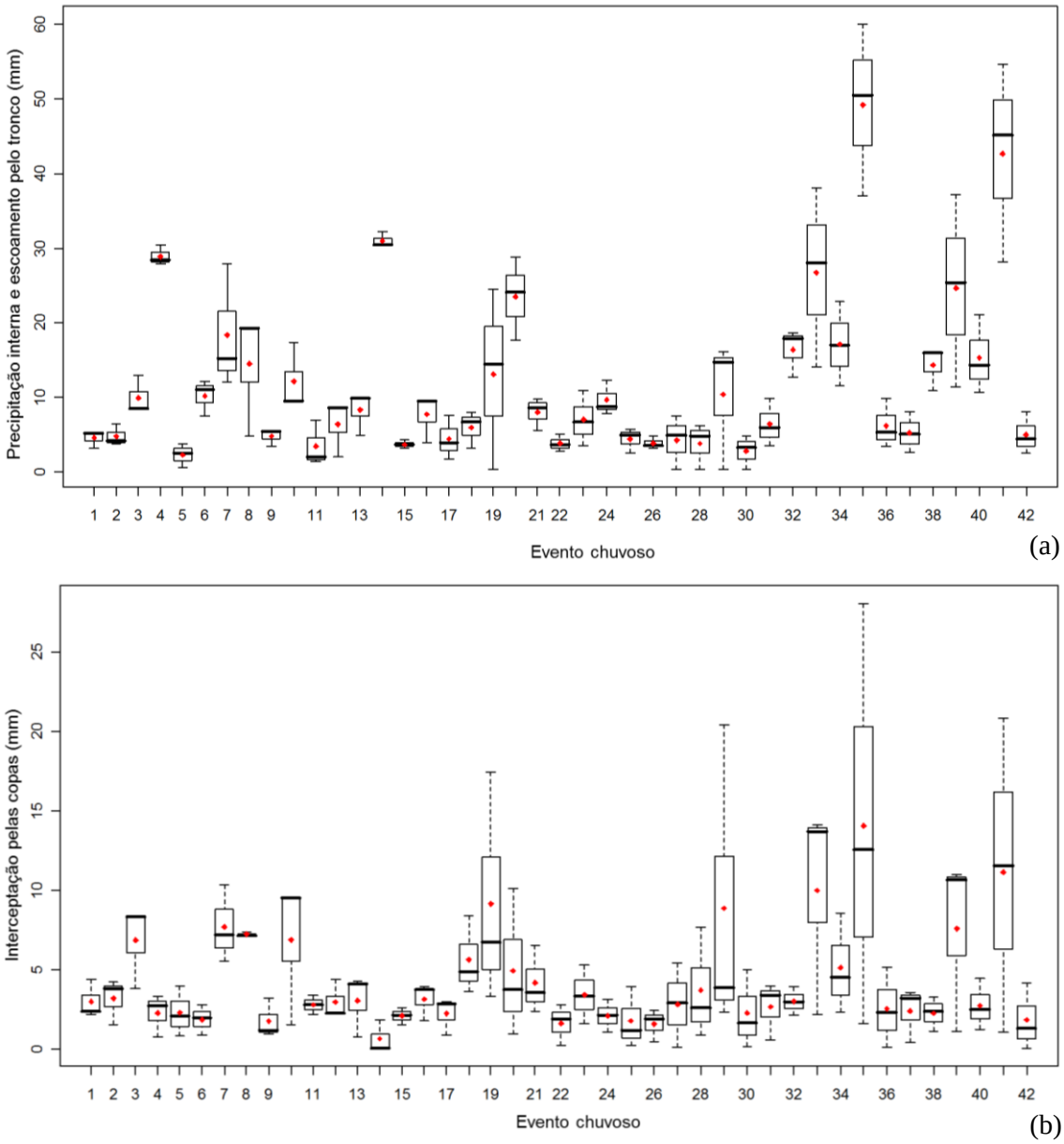
Durante o período experimental, foram registrados 104 eventos com variações de chuvas com intensidade média de 1.2mm.h^{-1} até 38mm.h^{-1}, e precipitação acumulada total variando entre 0.6mm e 68.4mm. Para este estudo, foram selecionados 42 eventos chuvosos, que tiveram precipitações bruta acima de 5mm.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, nota-se que há um comportamento variável entre PI + ET e CI nos eventos chuvosos considerados nas análises. Na Figura 3a fica evidente que poucos eventos chuvosos tiveram os valores medianos de PI+ET e CI superiores a 10mm. O evento 35 foi o de maior valor mediano de PI + ET, 57mm, em todos os espécimes estudados. A intensidade média, deste evento, foi de 27.2mm.h-1, precipitação acumulada

de 68.4mm, duração de 151 minutos e precipitação mediana acumulada sob as copas de 56.2mm.

Quanto à relação entre os eventos chuvosos e as interceptações pelas copas (CI) (Figura 3b), o evento 33 registrou a maior interceptação mediana, 13.3mm, em todos os indivíduos e teve intensidade média de 31.6mm.h-1, precipitação acumulada de 29mm, duração de 55 minutos e precipitação mediana acumulada sob as copas de 18.3mm.



Legenda:
Precipitação interna e Escoamento pelo tronco – PI + ET (mm)
Interceptação pelas copas – CI (mm)

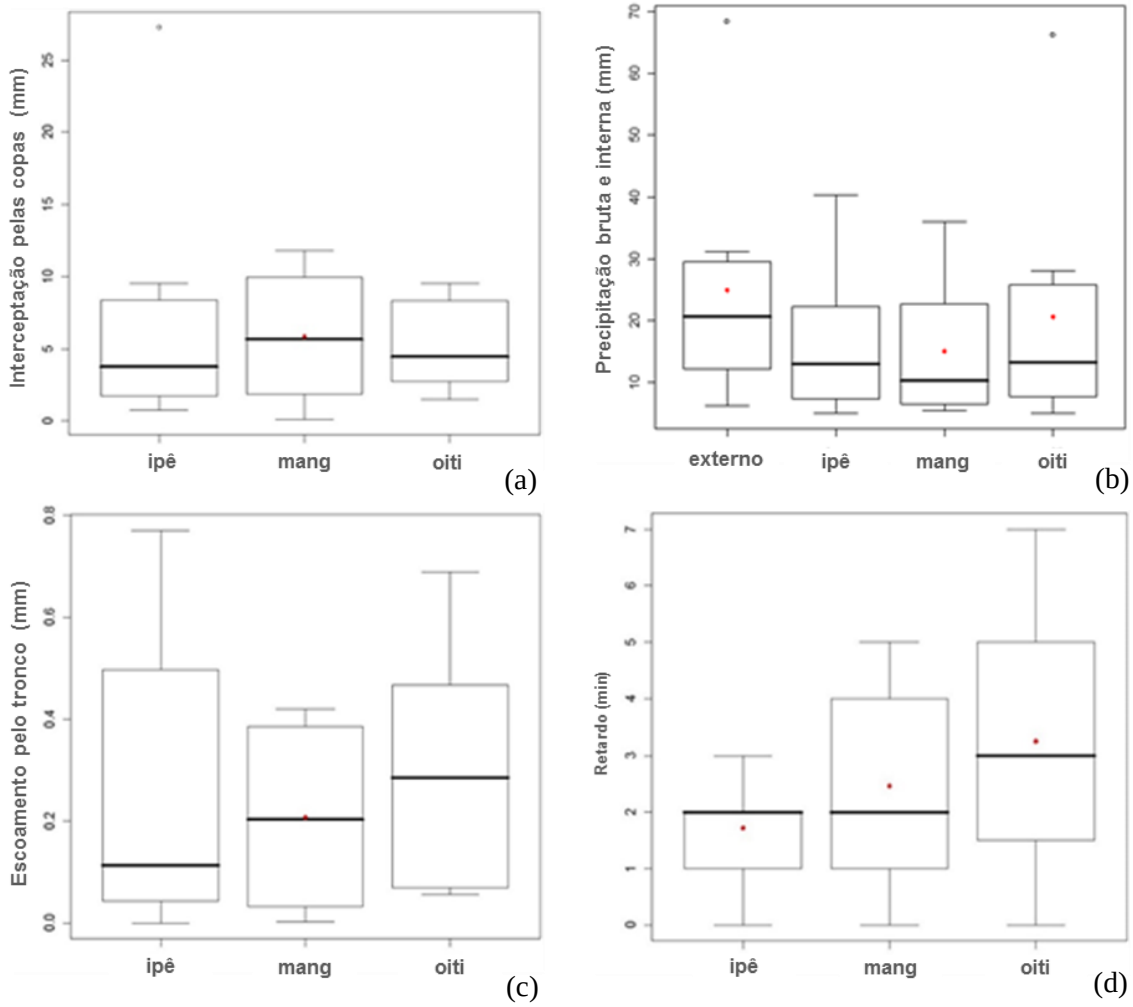
Figura 3 - *Box plot* das precipitações internas + escoamento pelo tronco e interceptações pelas copas nos três indivíduos arbóreos envolvidos na pesquisa, durante os 42 eventos chuvosos considerados nas análises.

Nos eventos chuvosos analisados quanto à CI, PB e PI, o desempenho das copas das árvores para interceptação (CI) (Figura 4a) obteve, valores medianos de 3.8mm, 4.5mm e 5.7mm para a *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo), a *Licania tomentosa* (Oiti) e a *Mangifera indica* (Mangueira), respectivamente. Na Figura 4b nota-se que a precipitação bruta (PB) aferida pelo pluviógrafo externo teve valor mediano de 20.7mm, enquanto que as precipitações internas (PI) das mesmas espécies foram de 13.0mm, 10.2mm e 13.3mm.

O escoamento pelo tronco (ET) (Figura 4c) foi na *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo) o menor valor mediano, 0.1mm, na *Mangifera indica* (Mangueira) de 0.2mm e na *Licania tomentosa* (Oiti) o maior valor obtido, 0.3mm.

Quanto ao retardo no tempo de início do evento chuvoso (R) (Figura 4d), este foi de 2 min para *Mangifera indica* (Mangueira) e *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo) e, de 3 min para a *Licania tomentosa* (Oiti).

A *Mangifera indica* (Mangueira) foi o indivíduo arbóreo que apresentou melhor desempenho quanto ao CI, e isso é explicado pelo fato do exemplar possuir o maior volume de copa, índice de área foliar e área foliar, entre as espécies estudadas (Tabela 1), estar em grupo e se caracterizar por folhas simples, permanente e glabras, e casca áspera. A *Licania tomentosa* (Oiti) tem características folhosas similares à Mangueira, porém, com casca lisa. Tal característica arbórea explica o melhor desempenho quanto ao escoamento pelo tronco, do mesmo modo que o melhor desempenho em relação ao retardo pode ser explicado por sua copa densa com folhas e galhos intensamente entrelaçados, favorecendo a retenção por maior tempo das águas de chuva por suas copas. A *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo), por sua vez, obteve o menor desempenho quanto a CI, PI e ET, o que é justificado pelo fato da espécie possuir folhas compostas e pilosas, e casca áspera, tais aspectos reunidos favorecem o armazenamento de água na copa (CI) e reduzem a PI e ET.



Legenda:
Interceptação pelas copas – CI (mm)
Precipitação bruta – PB (mm)
Precipitação interna – PI (mm)
Escoamento pelo tronco – ET (mm)
Retardo no tempo de início do evento chuvoso – R (min)

Figura 4 - *Box plot* dos 42 eventos chuvosos analisados em relação à CI, PB, PI, ET e R.

No evento chuvoso com maior PB do experimento (68.4mm) (Figura 5), a precipitação interna (PI) nos indivíduos arbóreos foi, respectivamente, de 40.4mm, 53mm e 66.2mm para o *Tabebuia ochracea*, a *Mangifera indica* e a *Licania tomentosa*. É perceptível que na *Licania tomentosa* (Oiti) e na *Mangifera indica* (Mangueira), os dados referentes aos registros de precipitação interna (PI) tiveram padrões semelhantes aos registros de precipitação bruta (PB), o que explica o fato de que em eventos com maior intensidade e duração a capacidade de interceptação das espécies tende a ser praticamente nula. Apenas no *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo) não há esta dinâmica, pois, este espécime possui a copa menos densa e com galhos mais esparsos, logo a sua saturação

não interfere sobremaneira em sua capacidade de interceptação, independente da intensidade e duração do evento chuvoso.

Para este evento de maior PB, em relação ao tempo de retardo para o início do evento chuvoso, o *Tabebuia ochracea* teve 2min de retardo, a *Mangifera indica* 3min e a *Licania tomentosa* 5min, não demonstrando relação direta entre R e a PB, PI e CI nas espécies estudadas.

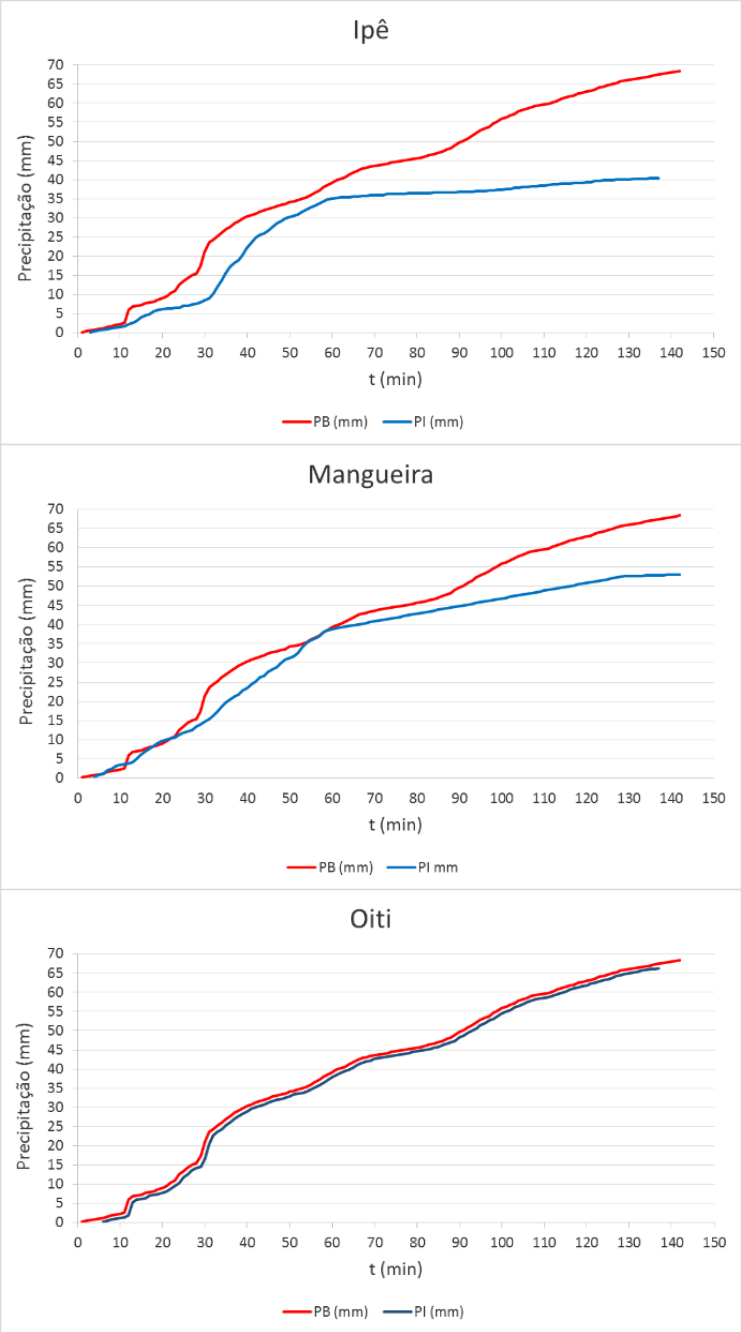


Figura 5 - Hietogramas do evento chuvoso ocorrido nos dias 03/03/14 a 04/03/14, de 22h50min a 1h20min, demonstrando o comportamento quanto a precipitação interna (PI - mm) e precipitação bruta (PB -mm).

Por meio da Figura 6 nota-se o registro do tempo ao pico no evento de maior PB (68.4mm) durante o período de coleta de dados. Nos hietogramas, é notória a diferença entre a precipitação bruta registrada pelo pluviógrafo externo (PB) e as precipitações internas aferidas sob as copas (PI).

O pico do evento de precipitação bruta (PB) ocorreu em campo aberto aos 30min, com precipitação de 3.8mm. Nos exemplares arbóreos, houve uma redistribuição deste valor máximo apenas no espécime de Ipê amarelo que houve registro de três outros sucessivos picos menores, com valores inferiores a 2mm ocorridos a 35min, 40min e 46min, respectivamente. Nos demais indivíduos, não houve pico significativo de precipitação. Tanto na Mangueira quanto no Oiti, os picos registrados são diversos e todos inferiores a 1.2mm. Logo, fica evidente a ampliação do tempo ao pico, bem como a redução da intensidade em todas as espécies.

A amplitude dos valores identificados na pesquisa, poderá ser expandida à medida que novos exemplares sejam associados em uma mesma área urbana, permitindo, assim, amortização de cheias e redução de diâmetros de tubulação dos sistemas de drenagem urbana.

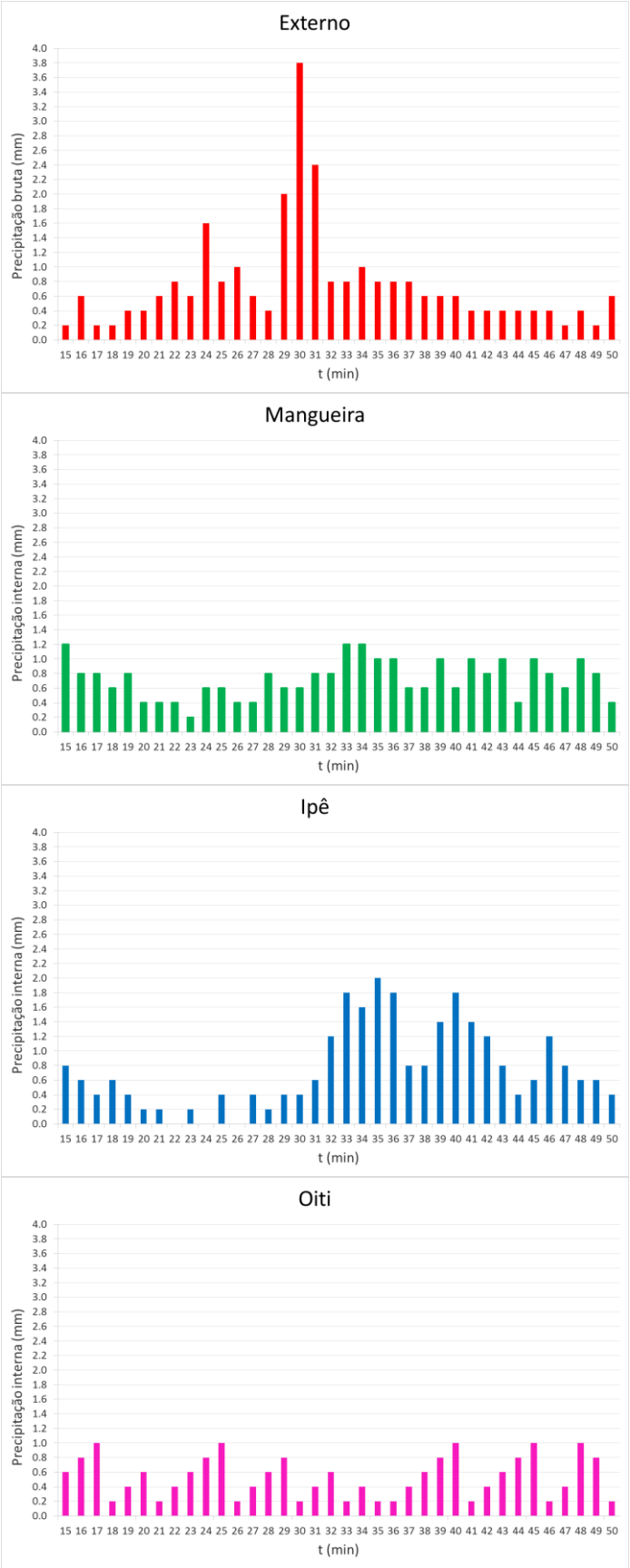


Figura 6 - Hietogramas de trecho do evento chuvoso ocorrido nos dias 03/03/14 a 04/03/14, de 22h50min a 1h20min, demonstrando o comportamento variável de tempo ao pico nas espécies arbóreas.

De modo geral, as interceptações medianas obtidas nos indivíduos arbóreos envolvidos na pesquisa, foram de 4.5mm. A *Mangifera indica* (Mangueira) teve melhor interceptação devido às características de arquitetura da copa, casca e folhas. Quanto ao retardo no tempo de início do evento chuvoso e o volume escoado pelo tronco, o Oiti obteve os maiores valores, devido ao fato de ser a única espécie aqui estudada, com casca lisa. Em geral, a interceptação das espécies foi diretamente relacionada às características arbóreas, em especial, a arquitetura da copa, particularidades das folhas e da casca.

A presença destas árvores, tem um grande significado em áreas urbanas pois, para o caso estudado, houve uma redução de até 27% do volume precipitado durante chuvas ocorridas no Município de Uruaçu, Goiás. Volume este que, sem a presença de árvores, escoaria diretamente para os sistemas de drenagem.

A capacidade de interceptação, por parte da arborização urbana, é ressaltada com os resultados aqui obtidos, por serem próximos aos registrados por Xiao et al. (2000), que em eventos de precipitação de 8.8mm, a interceptação média obtida foi de 2mm e o escoamento pelo tronco em torno de 0.8mm. Silva et al. (2010), também, concluíram que em eventos mais duradouros e com precipitações superiores a 20mm, as interceptações são em média 7.4mm.

O estudo evidencia que a arborização urbana faz com que as copas, ramos, troncos e raízes funcionem como obstáculos naturais para as águas das chuvas que, com uma retenção temporária, alcançam mais lentamente os corpos receptores, promovendo a ampliação do tempo de concentração, do tempo de retardo e consequentemente do tempo ao pico de vazão.

Uma das consequências da urbanização, é o aumento do volume escoado e das vazões de pico, ao mesmo tempo em que ocorre a redução do tempo de concentração, provocando eventos de cheias cada vez mais críticos (CHIESURA, 2004). As espécies arbóreas aqui estudadas, apresentaram um tempo de retardo mediano de 3min, podendo chegar em até 15 min em eventos com menor intensidade. E, ocasionaram uma redistribuição dos picos de vazão, ampliando o tempo ao pico, bem como a redução de intensidade. Estes dados demonstram que as árvores colaboram para o aumento no tempo de concentração nas bacias hidrográficas urbanas, podendo, assim, minimizar as cheias, inundações e os prejuízos resultantes.

Os valores aparentemente pequenos e relativos ao tempo de retardo são significativos, quando associados às pequenas bacias hidrográficas. Pois, em bacias cujo tempo de concentração é, por exemplo, em torno de 5min, uma redução de 2 ou 3min teria impactos relevantes nos sistemas de drenagem e corpos receptores.

4. CONCLUSÃO

Através do monitoramento contínuo de interceptação das copas e do escoamento pelo tronco, este trabalho comprovou a importância da presença das árvores para os ciclos hidrológicos urbanos. Para eventos com precipitação mediana de 20.7mm, a interceptação mediana ocasionada pelas espécies de *Mangifera indica, Tabebuia ochracea* e *Licania tomentosa* equivale a uma redução de até 27% das águas pluviais que atingiriam a superfície do solo.

A espécie que obteve melhor desempenho, foi a *Mangifera indica* e as demais ficaram bastante próximas em seus resultados. A interceptação pelas copas, juntamente com o escoamento pelo tronco, neste estudo, foi diretamente influenciada pela arquitetura da copa e características da casca e folhas.

A *Licania tomentosa,* por possuir casca lisa, foi a espécie que mais teve registros de escoamento pelo tronco. O volume escoado pelo tronco representa, de modo geral, ceraca de 5% do volume interceptado pelas copas dos espécimes estudados.

A presença das ávores no ambiente ocasionaram, um atraso mediano no início das chuvas de 3 minutos, e redistribuíram o pico dos hidrogramas, bem como propiciaram a redução da intensidade do volume de escoamento superficial. Estes resultados são dados relevantes para a implantação de maiores áreas destinadas à arborização em grandes centros urbanos.

As implicações à hidrologia urbana das interceptações pelas copas e escoamento pelo tronco, dependem do contexto da paisagem em que são inseridos. Em uma paisagem urbana com solo impermeável, com a cobertura arbórea de espécies semelhante às aqui estudadas, pode-se esperar uma redução significativa das águas pluviais que atingirão diretamente a superfície, reduzir o escoamento e aumentar os tempos de concentrações das bacias.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor; Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo auxílio financeiro para a compra de equipamentos; e, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - Nível 2 ao segundo autor.

6. REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. **Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas** / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 2011.

BARCO, J.; WONG, K. M.; STENSTROM, M. K. Automatic calibration of the US EPA SWMM model for a large urban catchment. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 134, p. 466-474, 2008.

BORMANN, H. Impact of spatial data resolution on simulated catchment water balances and model performance of the multi-scale TOPLATS model. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v. 10, p. 165-179, 2006.

CHIESURA, A. The role of urban parks for the sustainable city. **Landscape and Urban Planning**, v. 68, p. 129-138, 2004.

CUO, L. et al. Hydrological prediction for urban watersheds with the distributed hydrology–soil–vegetation model. **Hydrologic prediction, v.** 22, p. 4205-4213, 2008.

ELLIOTT, A. H.; TROWSDALE, S. A. A review of models for low impact urban stormwater drainage. **Environmental Modelling e Software**, v. 22, p. 394-405, 2007.

FAO, IDF. Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola – Guia para recolha de dados. **National Forest Monitoring and Assessment Working Paper** NFMA XX/P. Rome, Luanda. 2009.

GUEVARA-ESCOBAR, A. et al. Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1703–1716, 2007.

HA, S.R.; PARK, S.Y.; PARK, D. H. Estimation of urban runoff and water quality using remote sensing and artificial intelligence. **Water Science and Technology,** v. 47, p. 319–325, 2003.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia - Brasil. BDMEP, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

JOHNSON, M. S.; LEHMANN, J. Double-funneling of trees: stemflow and rootinduced preferential flow. **Ecoscience**, v. 13, p. 324-333, 2006.

LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stemflow by eucalypt street trees - The impacts of canopy density and bark type. **Urban Forestry e Urban Greening**, v. 13, p. 192-197, 2014.

LLORENS, P.; DOMINGO, F. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions - A review of studies in Europe. **Journal of Hydrology**, v. 335, p. 37-54, 2007.

SILVA, L.F. et al**.** Interceptação da chuva por duas espécies arbóreas em áreas verdes urbanas. **CERNE** (UFLA), v. 16, p. 547-555, 2010.

URBONAS, B.; STAHRE, P. Stormwater Best Management Practices and Detention. **Englewood Cliffs**, New Jersey, 440p. 1993.

WANG, J.; ENDRENY, T. A.; NOWAK, D. J. Mechanistic simulation of treee ffects in an urban water balance model. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 44, p. 74-85, 2008.

_____ iTree-Hydro: snow hydrology update for the urban forest hydrology model. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 47, p. 1211–1218, 2011.

WONG, T. S.W. Evolution of kinematic wave time of concentration formulas for overland flow. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 14, n. 7, p. 739-744, 2009.

XIAO, Q. et al. Hydrologic processes at the urban residential scale. **Hydrological Processes**, v. 21, p. 2174-2188, 2007.

XIAO, Q. et al. A new approach to modeling tree rainfall interception. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 105, p. 29173-29188, 2000.

XIAO, Q. et al. Rainfall interception by Sacramento's urban forest. **Journal of Arboriculture**, v. 24, n. 4, p.235–244, 1998.

ARTIGO 3

REDUÇÃO DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL E ATRASO NO PICO DE VAZÃO OCASIONADOS PELA PRESENÇA DA ARBORIZAÇÃO NO MEIO URBANO

ALVES, Patrícia Layne[1]; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins[2]

RESUMO

O solo impermeabilizado e sem cobertura arbórea produz maior volume de escoamento superficial, amplia o pico de vazão e reduz o tempo de retardo. A busca por alternativas para a diminuição do volume de escoamento superficial em áreas urbanas é importante para se obter respostas hidrológicas para os problemas ocasionados pelo processo de urbanização e, com isso, amenizar o risco de inundação. Neste artigo propõe-se estimar a redução do escoamento superficial e o atraso no pico de vazão ocasionados pela presença das árvores de três espécies (*Mangifera indica*, *Tabebuia ochracea* e *Licania tomentosa)* no meio urbano. Para isso, foram utilizados sensores de nível (linígrafos) para a quantificação do escoamento superficial em áreas com e sem a presença da cobertura arbórea, e em estruturas experimentais instaladas sobre solo impermeabilizado, semipermeável e permeável. Em eventos cujo valor mediano de precipitação bruta foi de 17.1mm, a presença dos indivíduos arbóreos propiciou, um atraso mediano no tempo ao pico de 3 minutos, uma redução do pico de vazão de 0.8 mm/min e do escoamento superficial de 4.7mm/min. O estudo permitiu a quantificação e análise do desempenho de espécies arbóreas na redução do escoamento urbano; correlacionou os parâmetros arbóreos com a capacidade de redução do escoamento; bem como averiguou se há redução e atraso nos picos de vazão. Os benefícios provenientes da interceptação das águas pluviais pelas árvores precisam ser ponderados e garantidos nos planos diretores de arborização e de drenagem urbana, de modo a se alcançar a mitigação dos prejuízos provocados pelo descaso com as águas urbanas.

Palavras-chave: árvores urbanas; benefícios arbóreos; escoamento pluvial.

---

[1]Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Rua Natal, n. 59, Apto. 902, Setor Alto da Glória, CEP 74-815-705, Goiânia - GO, email: patricialaynearq@yahoo.com.br.

[2]Universidade Federal de Goiás, Professor Assistente, Escola de Engenharia Civil, Praça Universitária, s/n., Bloco A, Sala 8, Setor Universitário, CEP:74605-220, Goiânia - GO, email: klebber.formiga@gmail.com.

PEAK FLOW DELAY OF RAIN CAUSED BY THE PRESENCE OF AFFORESTATION IN URBAN AREA

ABSTRACT

The waterproof soil and without an arboreal coverage produces more volume of surface runoff, enlarges the peak flow and reduces the delay time. The search for alternatives to reduce the volume of surface runoff in urban areas is important to get the hydrological answers to the problems caused by the urbanization process and with that, to reduce the risk of flooding. This article proposes to estimate the reduction of runoff and the delay in peak flow caused by the presence of three species of trees (*Mangifera indica, Tabebuia ochracea and Licania tomentosa*) in urban areas. For this, level sensors were used (limnigraphs) to quantify the surface runoff in areas with and without the presence of arboreal coverage, and in experimental structures set on waterproof, semipermeable and permeable soil. For events with an average value of gross precipitation of 17.1mm, the presence of arboreal individuals favored an average time delay up to the peak of 3 minutes, an average reduction of peak flow of 0.8 mm/min and it contributed to an average reduction of surface runoff of 4.7mm/min. The study allowed the quantification and performance analysis of tree species in reducing urban runoff; the arboreal parameters correlated with the flow capacity reduction; and examined whether there is a reduction and delay in peak flows. The benefits from the interception of storm water for trees need to be pondered and guaranteed in afforestation master plans and urban drainage in order to reach the mitigation of damage caused by the neglect of urban water.

Keywords: urban trees; arboreal benefits; storm water runoff.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a extensão da crise hídrica provocada pelo aumento do consumo e deterioração dos mananciais - com capacidades finitas - exige alternativas imediatas para sua mitigação e/ou resolução. A comunidade científica, por sua vez, busca incessantemente soluções para essa problemática, no intuito de encontrar caminhos que poupem os recursos naturais limitados e, ao mesmo tempo, minimizem os sucessivos desastres relacionados às inundações, enchentes urbanas e degradação da qualidade da água.

A falta de planejamento em áreas urbanas provoca o aumento da cobertura impermeável do solo, prejudica a infiltração de águas pluviais e amplia significativamente o escoamento superficial, causando enchentes urbanas, erosões nos canais e problemas de poluição difusa (PAUL; MEYER, 2008).

Em se tratando de áreas impermeabilizadas, a exemplo das cidades, a produção do escoamento ocorre com maior intensidade e em menor período de tempo (PARIKH et al., 2005). Nas superfícies impermeabilizadas há o aumento do fluxo, do pico e da velocidade do escoamento superficial direto, bem como a diminuição do tempo de concentração em decorrência de superfícies menos rugosas e sem obstáculos naturais para a detenção da água (HU et al., 2010). Os principais fatores que exercem influência no escoamento superficial são relacionados à precipitação e decorrentes da ação antrópica, tais como o uso do solo e realização de obras hidráulicas no rio e no seu entorno (BEREZOWSKI et al., 2012; AMPE et al., 2012).

Ter o conhecimento quanto aos impactos da impermeabilização do solo e da evolução do uso da terra, é fundamental para uma abordagem eficaz no planejamento de bacias hidrográficas (BRABEC, 2009). Com isso, estudos como os de Verbeiren et al. (2013), por meio de aplicação de modelos computacionais, utilizando dados da cidade de Dublin, Irlanda, constataram um aumento do escoamento superficial de 33mm/mês (áreas pouco urbanizadas) para 75mm/mês (áreas urbanizadas), concluindo que este crescimento do escoamento é, em média, 40%. Gumindoga et al. (2014), em pesquisas com duas bacias no Zimbábue, África, constataram um aumento de vazão média de 6.03 m^3/mês em 1970, para 30.1m^3/mês em 2006, para áreas cujo crescimento urbano foi de 600%.

As atividades humanas inadequadas, durante o processo de urbanização, podem contribuir com os frequentes eventos de inundação nas cidades e poluição das águas. Gao

et al. (2013) indicam que alternativas como *Best Management Practices* (BMPs) e *Low Impact Development* (LID) propiciam uma resposta hidrológica positiva para os problemas ocasionados pela ocupação territorial acelerada, reduzindo o risco de inundação e desastre. Essas técnicas de controles estruturais são utilizadas para gerenciar a quantidade e qualidade do escoamento de águas pluviais, com o incentivo da permanência de áreas com cobertura vegetal, de modo a favorecer o escoamento natural e a proteção do solo (AHIABLAME et al., 2012).

No propósito de reduzir o escoamento superficial em áreas densamente urbanizadas, pesquisas apontam a arborização urbana como uma alternativa. Assim, é relevante reconhecer a importância das árvores na medida em que proporcionam benefícios para a gestão das águas pluviais urbanas (MACO; McPHERSON, 2002). A interceptação pelas copas das árvores, é um importante componente no ciclo hidrológico urbano, pois influencia na redistribuição da água da chuva, no amortecimento, no direcionamento e na retenção das águas que chegam ao solo, beneficiando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração (WANG; ENDRENY; NOWAK, 2008).

Pesquisas realizadas nos Estados Unidos, como a desenvolvida por Sanders (1986) em área com cobertura florestal urbana na Cidade de Dayton, Ohio, apresentaram 7% de redução do escoamento para um evento chuvoso de alta intensidade. Em áreas densamente florestadas de Baltimore, Maryland, a redução anual do escoamento foi de 26% (NEVILLE, 1996) e, na Cidade de Los Angeles, Califórnia, o plantio de árvores ocasionou redução do escoamento de águas pluviais em 8% (McPHERSON et al., 2011).

Poucos são as pesquisas que em suas metodologias procuraram aferir diretamente a redução do escoamento superficial urbano ocasionado pelas árvores. Em geral, os dados são obtidos de maneira indireta ou associados a pesquisas para a determinação da capacidade de interceptação dos indivíduos arbóreos ou da cobertura florestal urbana. Das águas precipitadas, não há uma medição direta do volume escoado sob as copas. No presente estudo, a redução do escoamento superficial de águas pluviais foi determinada com a utilização de sensores de nível (linígrafos), que aferiram o escoamento em área com e sem a presença da cobertura arbórea.

As informações referentes à redução do escoamento superficial ocasionados pela presença das árvores na cidade, em geral, pouco são correlacionadas às características

arbóreas das espécies, tais como particularidades de copa e folha. Estes parâmetros são essenciais para a melhor distinção dos resultados de pesquisas relacionadas ao tema. Eles são dados imprescindíveis para a realização de modelagens e simulações, podem fundamentar tecnicamente diretrizes à arborização urbana e gerar parâmetros para a reaplicação das pesquisas em localidades diversas, permitindo o estudo comparativo entre os resultados alcançados.

Neste artigo foram elencadas as características arbóreas das espécies com o intuito de indentificar a relação entre os indivíduos e seus desempenhos na redução do escoamento superficial. Propõe-se estimar a redução do escoamento superficial e o atraso no pico de vazão ocasionados pela presença da arborização no meio urbano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em uma área urbana da Cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil, com as coordenadas 14°31'6.23"S e 49° 8'11.16"O. De acordo com a classificação de Köppen, a região climática é do tipo "Aw" com clima tropical, estação seca prolongada e chuvas concentradas no verão. Segundo o banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), a precipitação anual no município, é de aproximadamente 1006.8mm e, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura média dos meses mais quentes, é de 39.4ºC, enquanto a dos meses mais frios, é de 10.8ºC. Quanto aos dados pluviométricos, durante os cinco meses de medições realizadas em 2013/2014, registraram-se precipitações com o valor mínimo mensal de 17.5mm (fevereiro de 2014) e máximo mensal de 182.4mm (dezembro de 2013).

Três indivíduos arbóreos (Figura 1), sendo um em grupo (*Mangifera indica*) e dois isolados (uma *Tabebuia ochracea* e uma *Licania tomentosa*), foram selecionadas por serem os indivíduos com os maiores diâmetros a altura do peito (DAP[3]) entre os outros exemplares de suas espécies existentes no local da pesquisa; por suas características de copa, casca e folhagem; e, pelo fato de suas espécies serem amplamente empregadas na arborização urbana da região da área de estudo.

[3]O diâmetro do tronco da árvore (diâmetro a altura do peito – Dap) foi medido por cima da casca a uma altura de 1.30 m do solo (FAO, 2009).

Os parâmetros arbóreos das espécies estão expressos na Tabela 1, foram necessários na análise das características dos indivíduos arbóreos e desempenho quanto à interceptação. Destaca-se que, dos indivíduos aqui pesquisados, apenas a *Licania tomentosa* (Oiti) possui casca lisa, as demais cascas ásperas.

Tabela 1 - Parâmetros arbóreos dos indivíduos estudados na pesquisa

Indivíduos arbóreos	**DADOS ARBÓREOS**												
	Idade (anos)	**Tipo de casca**	**Dap (m)**	**Htotal (m)**	**Hfuste (m)**	**G (m^2)**	**Cc (m)**	**Dmc (m)**	**Apc (m^2)**	**Vol (m^3)**	**% Copa (%)**	**IAF**	**Af (m^2)**
*Tabebuia ochracea (*Ipê amarelo)	26	Áspera	0.5	7.5	1.9	0.2	5.6	8.0	50.0	225.5	74.8	0.6	121.5
Mangifera indica (Mangueira)	26	Áspera	1.0	9.9	2.6	0.8	7.2	9.8	75.6	693.7	73.3	1.5	1040.9
Licania tomentosa (Oiti)	4	Lisa	0.3	6.7	1.6	0.1	5.1	6.6	33.8	217.5	75.6	0.7	148.9

Legenda: Idade (anos): idade de plantio do indivíduo; Dap (cm): diâmetro a altura do peito; Htotal (m): altura total da árvore; Hfuste (m): altura de fuste (tronco); G (m^2): área basal da árvore = (π*dap^2)/4; Cc (m): comprimento de copa; Dmc (m): diâmetro médio de copa; Apc (m^2): área de projeção de copa = (π/4)*dmc^2; Vol (m^3): volume de copa; % copa: percentagem de copa = (cc/htotal)*100; IAF: Índice de área foliar; Af (m^2): área foliar.

Figura 1 - Imagens dos indivíduos arbóreos estudados, sendo: (a) *Mangifera indica* (Mangueira), (b) *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo) e (c) *Licania tomentosa* (Oiti).

A precipitação bruta (PB) e a precipitação interna (PI) foram aferidas por quatro pluviógrafos do modelo RG3-M, marca Onset, instalados a 1.50m de altura do solo conforme padrão adotado pela Agência Nacional de Águas para instalação de estações hidrométricas (ANA, 2011), de modo que três ficaram posicionados sob as copas das árvores e um em campo aberto. O pluviógrafo instalado, em campo aberto, teve a função de registrar a quantidade e intensidade pluviométrica ocorridas no município/local do

experimento, serviu de referência para a comparação com os registros coletados pelos demais equipamentos instalados sob as copas.

Os equipamentos ficaram instalados durante o período de novembro de 2013 a março de 2014, e tiveram suas localizações sob as copas alteradas a cada 15 dias, de modo a obter dados mais representativos. Os registros dos pluviógrafos foram adquiridos com uma discretização do intervalo de tempo em 1 minuto.

O escoamento pelo tronco (ET) foi obtido por meio da construção de estruturas fixadas às árvores que desaguavam em galões com capacidade de 23litros. Tais estruturas, para captação das águas, foram executadas com calhas de borracha seladas ao tronco por meio de espuma de poliuretano.

Seguindo a metodologia proposta por Livesley; Baudinette e Glover (2014), a interceptação pelas copas (CI), para cada evento chuvoso, foi calculada como:

$$CI = PB - (PI + ET) \quad \textbf{(1)}$$

Onde: CI – interceptação pelas copas

PB – precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento chuvoso medido no pluviógrafo em campo aberto) (mm)

PI – precipitação total acumulada sob a copa (mm)

ET – escoamento total pelo tronco (mm)

Considerou-se que as chuvas ocorridas sob as copas das árvores, tiveram a mesma duração e momento de início e fim, que as chuvas ocorridas em campo aberto. Esta padronização e análise só foram possíveis graças às medições proporcionadas pelos pluviógrafos que aferem a duração, tempo exato de ocorrência e variação das intensidades durante os eventos chuvosos.

As lâminas de água, decorrentes do escoamento superficial direto (Q), foram obtidas através dos dados mensurados por linígrafos do modelo U20-001-01-Ti Data Logger, marca Onset, instalados em tubos de PVC (DN 200mm) enterrados a 1,80m de profundidade no solo (Figura 2). Estes equipamentos aferiram o escoamento superficial em áreas experimentais de 1m² cada, isoladas por folhas de zinco e com cobertura do solo impermeabilizada (argamassa simples de cimento e areia), semipermeável (pavimentos permeáveis) e permeável (solo natural). Os diversos tipos de cobertura do solo, foram

contemplados nas 8 localidades de experimento (2 em campo aberto e 2 sob cada copa dos três indivíduos arbóreos envolvidos no estudo), para posterior comparação entre os dados.

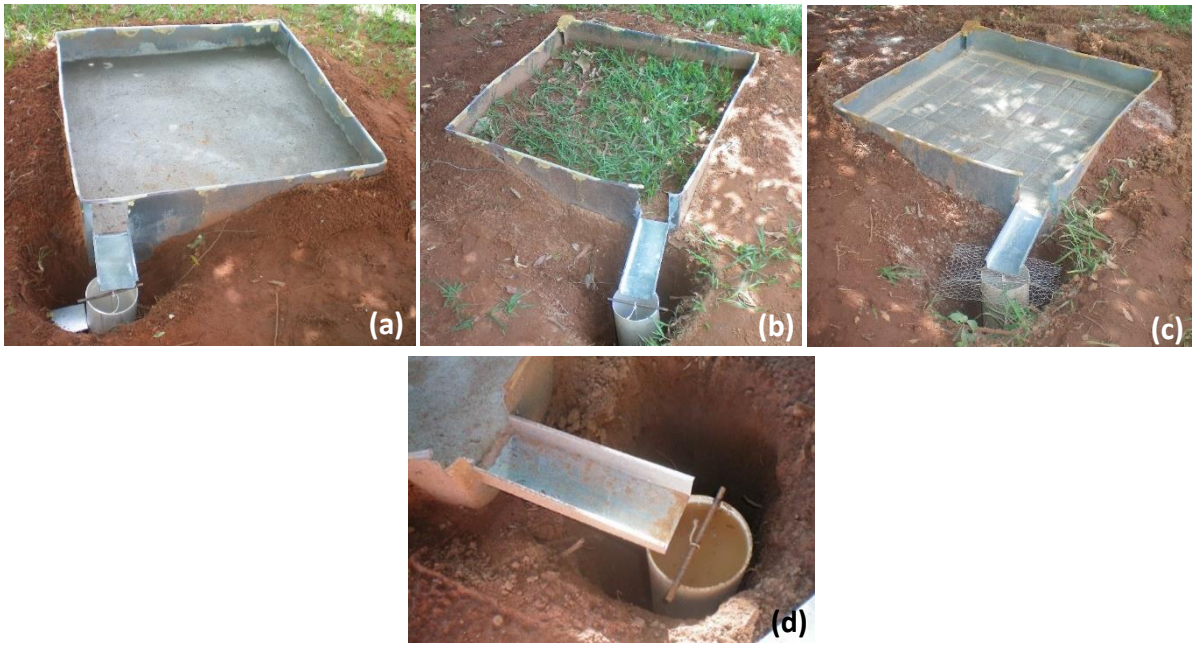


Figura 2 - Imagens das áreas experimentais de 1m² com cobertura do solo impermeabilizado (a), permeável (b), semipermeável (c), e instalação dos linígrafos (d).

Os dados registrados pelos linígrafos, também, foram discretizados em intervalos de tempo de 1 minuto.

Para o cálculo dos coeficientes de produção de escoamento superficial (C1 - %), que expressam a relação entre o escoamento superficial direto e a precipitação pluvial total do evento, foi adotada a equação:

$$C1 = \frac{Q}{PB} \qquad \textbf{(2)}$$

Sendo: Q – lâminas de água decorrentes do escoamento superficial direto (mm)

PB – precipitação bruta (precipitação acumulada total em cada evento chuvoso aferido pelo pluviógrafo instalado em campo aberto) (mm)

Seguindo o método de *Soil Conservation Service (SCS)*, adaptado por Setzer; Porto (1979), para o cálculo dos coeficientes de infiltração (CN), considerou-se a expressão:

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25,6}} \quad \textbf{(3)}$$

Onde: S – potencial máximo de retenção de água no solo, após o início do escoamento superficial (mm)

Para as áreas experimentais, em campo aberto, o valor de S foi determinado a partir da equação 4:

$$Q = \frac{(PB - 0,2S)^2}{(PB + 0,8S)} \quad \textbf{(4)}$$

Conforme indicado por Ponce; Hawkins (1996), o valor para a estimativa das perdas iniciais (Ia) pode variar de 0.0S a 0.3S. Neste estudo, considerou-se para as áreas experimentais do campo aberto, tanto com cobertura impermeável quanto com semipermeável/permeável, que as perdas inicias do escoamento superficial foram nulas, não havendo armazenamento em depressões do solo.

Sob as copas das árvores, foram consideradas como perdas iniciais, as interceptações ocasionadas pelas copas. Logo, deduziu-se uma função para o cálculo de Ia, a partir dos dados de interceptação como sendo:

$$Ia = \frac{a * PB}{(b * PB + c)} \quad \textbf{(5)}$$

Em que os parâmetros “a”, “b” e “c” foram ajustados, partindo dos dados de interceptação obtidos para cada espécie.

A dedução da fórmula do Ia foi possível somente a partir do uso de pluviógrafos nesta pesquisa. Por meio da caracterização mais detalhada dos eventos, pôde-se avaliar o desempenho da interceptação nas árvores e, assim, ajustar a equação para o cálculo de Ia.

E, para as áreas sob as copas, o valor de S foi determinado a partir de:

$$Q = \frac{(PB - Ia)^2}{(PB + S - Ia)} \quad \textbf{(6)}$$

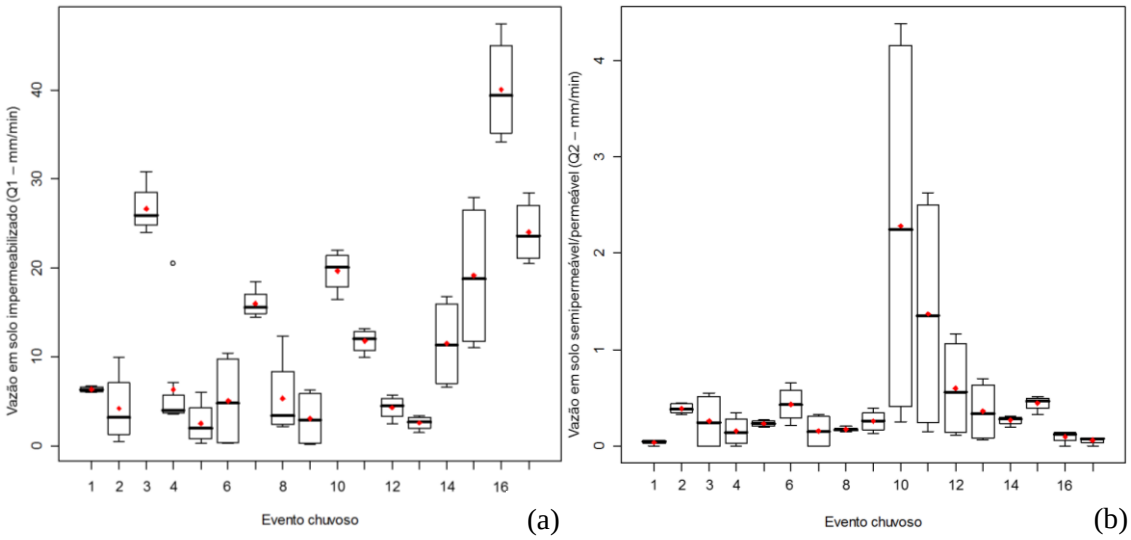
Durante o período experimental, foram registrados 104 eventos chuvosos com variações de intensidade média entre 1.2mm.h^{-1} e 38.0mm.h^{-1}, precipitação acumulada

total entre 0.6mm e 68.4mm, volume de escoamento superficial em solo impermeável entre 0.2mm e 47.4mm e, em solo permeável/semipermeável, no máximo de 37.6mm. Para este estudo, foram selecionados os 17 eventos chuvosos que tiveram precipitações brutas acima de 10mm, e consequente produção de escoamento significativa para as análises aqui propostas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3a fica evidente que, em solo impermebilizado, poucos eventos chuvosos tiveram seus valores medianos de vazão de escoamento superiores a 20mm. Destacando apenas o evento 16, que obteve o maior valor mediano de Q1 (vazão de escoamento em solo impermeabilizado), 39.4mm/min. Calculou-se para o evento, valor mediano de C_1 (produção de escoamento superficial) igual a 58%, de CN (coeficientes de infiltração), igual a 93.7 e de Ia (perdas iniciais), igual a 14.3mm. A intensidade pluviométrica média deste evento, foi de 27.2mm.h^{-1}, a precipitação bruta foi de 68.4mm, e duração de 151 minutos.

Quanto à relação entre os eventos chuvosos e as vazões de escoamento em solo semipermeável/permeável (Q2) (Figura 3b), as medianas mantiveram-se em grande parte com valores abaixo de 2mm/min, sendo que em apenas alguns eventos chuvosos houve comportamento diferente. Se destaca o evento 10, que obteve o maior valor mediano de Q2, igual a 2.3mm/min. O evento apresentou valor mediano de C_1 igual a 8%, de CN, 49.7, e de Ia igual a 6.9mm. A intensidade média deste evento foi de 8.5mm.h^{-1}, precipitação bruta de 27.8mm, e duração de 197 minutos.



Legenda:
Vazão de escoamento em solo impermeabilizado – Q1 (mm/min)
Vazão de escoamento em solo semipermeável/permeável – Q2 (mm/min)

Figura 3 - *Box plot* das vazões de escoamento em solo impermeabilizado, semipermeável/permeável nos três indivíduos arbóreos, durante os 17 eventos chuvosos considerados nas análises.

Os valores medianos para a vazão de escoamento (Q) (Figura 4a e Tabela 2), em geral, ficaram inferiores a 10mm/min nas áreas experimentais com cobertura de solo impermeabilizado, e não ultrapassaram 0.5mm/min nas áreas com cobertura de solo permeável e semipermeável.

Nos coeficientes de produção de escoamento superficial (C_1) (Figura 4b), nota-se que os maiores valores foram observados nas áreas experimentais com cobertura do solo impermeabilizado (argamassa de cimento e areia - áreas 1, 3, 5 e 7), independente se estavam em campo aberto ou sob as copas das árvores. A área experimental 1 foi a que obteve maior valor mediano de C_1, 84%, enquanto que área experimental 6, foi a que obteve o menor valor mediano de C_1, 1.1%. Tal comportamento era previsível, tendo em vista que as áreas permeáveis e semipermeáveis possibilitam a infiltração de grande parte do volume precipitado.

Os coeficientes de infiltração (CN) calculados (Figura 4c e Tabela 2), assim como o C_1, também apresentaram valores medianos superiores nas áreas experimentais que correspondem à cobertura do solo impermeabilizado (argamassa de cimento e areia - áreas 1, 3, 5 e 7), o que era esperado, já que nestas áreas consideraram-se nulas as taxas de infiltração em função das propriedades da argamassa de cimento e areia aplicada sobre o solo. Para as áreas impermeabilizadas, as medianas dos valores de CN variaram de 92.9

(área experimental sob o Ipê - 3) a 100.1 (área experimental sob a Mangueira - 5). E, nas áreas experimentais permeáveis e semipermeáveis, os valores medianos de CN ficaram entre 28.8 e 37.8 (área experimental sob o Ipê - 4 e área experimental campo aberto - 2, respectivamente).

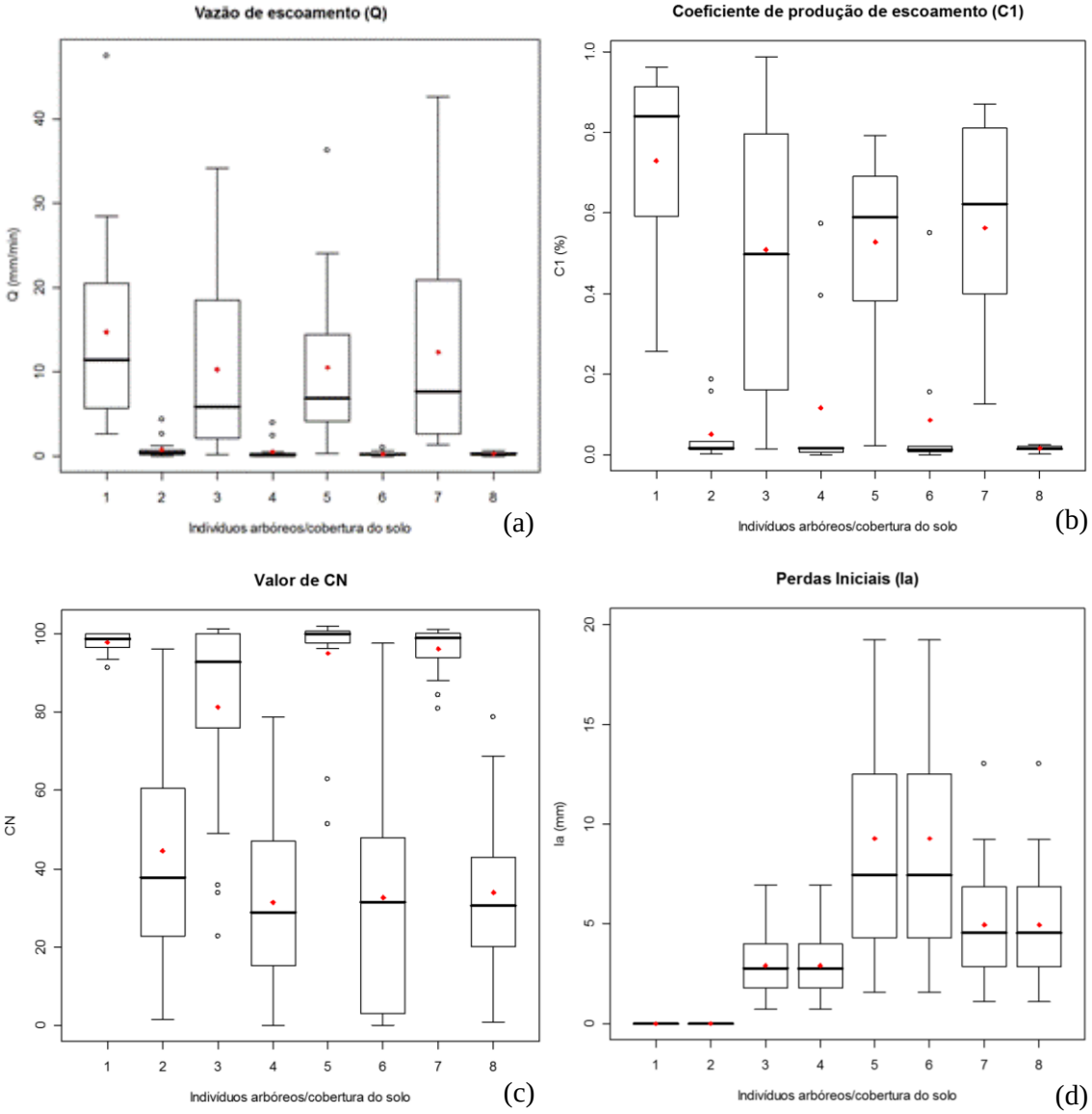
As quantidades estimadas para as perdas iniciais (I_a) (Figura 4d e Tabela 2) devido à interceptação inicial, infiltração, armazenamento na superfície, evapotranspiração e outros fatores, variaram entre os indivíduos arbóreos estudados na pesquisa. Em campo aberto, as perdas iniciais foram desconsideradas. Sob as copas, as estimativas para as perdas iniciais foram calculadas a partir de inferências das interceptações dos indivíduos arbóreos, podendo se destacar a influência da capacidade de interceptação das espécies. As perdas iniciais foram iguais para todas as tipologias de cobertura do solo, merecendo destaque os maiores e menores valores medianos correspondentes às áreas sob a Mangueira (7.4mm) e sob o Ipê (2.8mm), respectivamente.

Nas áreas com cobertura de solo natural, ou com pavimentos permeáveis, praticamente todo o volume precipitado foi infiltrado, não havendo produção de escoamento superficial significativo. Como exposto pelos dados de C_1, CN e Q (Figura 4 e Tabela 2), as áreas experimentais em campo aberto, em decorrência da ausência de interceptação pelas copas das árvores, registraram o maior volume de escoamento superficial.

A produção de escoamento superficial está diretamente relacionada à tipologia de casca da espécie. A *Licania tomentosa* (Oiti) foi o exemplar com maior produção de escoamento superficial, e ela não é a espécie mais antiga (idade = 4 anos de plantio), com maior volume de copa (Vol. = 217.5m²), índice de área foliar (IAF = 0.7) ou área foliar (Af. = 148.9m²) (Tabela 1). Porém, é o único exemplar que possui casca lisa e fina, característica que favorece o escoamento das águas de chuva pelo tronco, aumentando, assim, o volume escoado para as áreas sob as copas deste indivíduo.

O exemplar de *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo) foi o indivíduo com produção oposta a do Oiti, porém possui características arbóreas similares. Seu volume de copa é de 225.5m², índice de área foliar de 0.6 e área foliar de 121.5m² (Tabela 1). Logo, justifica-se seus baixos registros de escoamento superficial sob a copa, e também pela tipologia de sua casca. A espécie assim como a Mangueira, possui a casca áspera e espessa, logo, neste trabalho considera-se que esta característica contribui para a retenção

de parte das águas que escoam por elas. Portanto, o Oiti e a Mangueira obtiveram desempenhos semelhantes quanto às produções de escoamento (49.9% e 59%, respectivamente, no solo com cobertura impermeável) (Figura 4 e Tabela 2).



Legenda:
Área experimental 1 - em campo aberto com cobertura do solo impermeabilizado
Área experimental 2 - em campo aberto com cobertura do solo semipermeável/permeável
Área experimental 3 - sob o Ipê com cobertura do solo impermeabilizado
Área experimental 4 -sob o Ipê com cobertura do solo semipermeável/permeável
Área experimental 5 - sob a Mangueira com cobertura do solo impermeabilizado
Área experimental 6 - sob a Mangueira com cobertura do solo semipermeável/permeável
Área experimental 7 - sob o Oiti com cobertura do solo impermeabilizado
Área experimental 8 - sob o Oiti com cobertura do solo semipermeável/permeável

Figura 4 - *Box plot* das vazões de escoamento (Q), dos coeficientes de produção de escoamento superficial (C_1), valor de CN, e estimativas das Perdas iniciais (I_a) em cada uma das 08 áreas experimentais.

Tabela 2 - Valores medianos dos parâmetros relacionados ao escoamento superficial

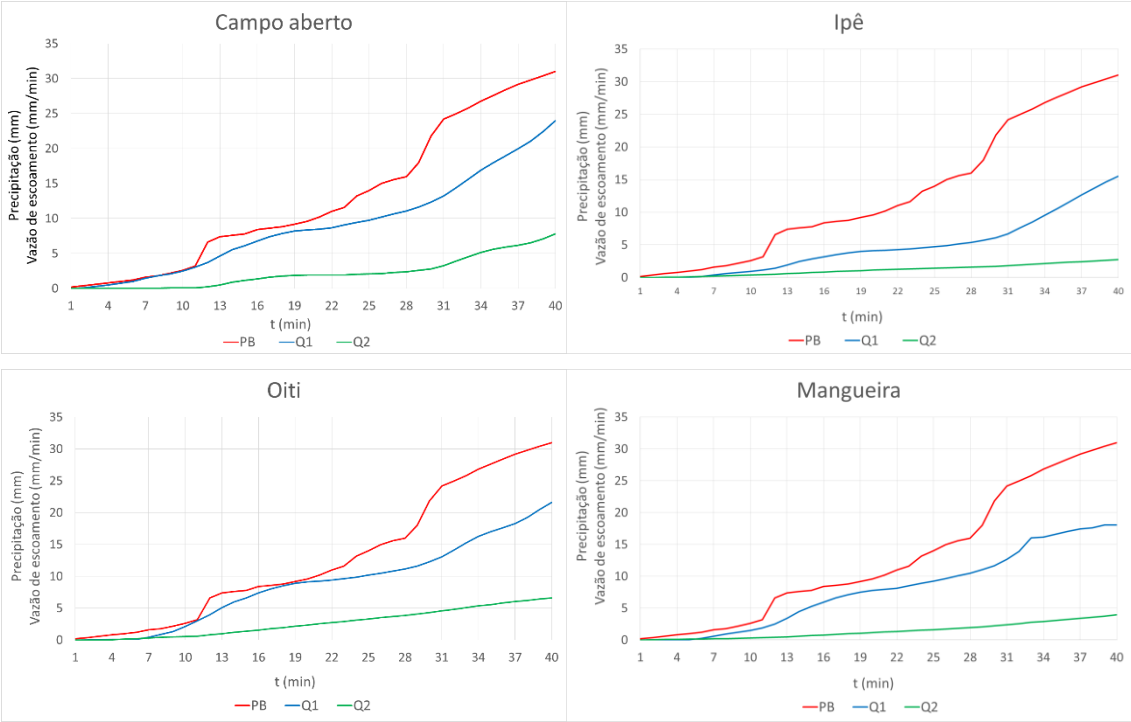
ÁREAS EXPERIMENTAIS	Q (mm/min)	C1 (%)	CN	Ia (mm)	PB
1- Área experimental em campo aberto com cobertura do solo impermebilizado	11.4	84.0	98.7	0.0	17.1
2- Área experimental em campo aberto com cobertura do solo semipermeável/permeável	0.4	1.8	37.8	0.0	
3- Área experimental sob o Ipê com cobertura do solo impermebilizado	5.8	49.9	92.9	2.8	
4- Área experimental sob o Ipê com cobertura do solo semipermeável/permeável	0.2	1.8	28.8	2.8	
5- Área experimental sob a Mangueira com cobertura do solo impermebilizado	6.8	59.0	100.1	7.4	
6- Área experimental sob a Mangueira com cobertura do solo semipermeável/permeável	0.2	1.1	31.5	7.4	
7- Área experimental sob o Oiti com cobertura do solo impermebilizado	7.6	62.2	99.0	4.6	
8- Área experimental sob o Oiti com cobertura do solo semipermeável/permeável	0.3	1.6	30.6	4.6	

Legenda: vazão de escoamento (Q – mm/min); coeficiente de produção de escoamento superficial (C1); valor de CN; estimativas das perdas iniciais (Ia - mm); e precipitação bruta (PB – mm).

No evento chuvoso com PB de 31mm (Figura 5), as vazões de escoamento em solo impermeabilizado (Q_1) totalizaram 15.5mm/min, 18.1mm/min e 21.6mm/min para o *Tabebuia ochracea* (Ipê amarelo), para a *Mangifera indica* (Mangueira) e para a *Licania tomentosa* (Oiti), respectivamente. E, os valores de vazão em solo permeável/semipermeável (Q_2), nos exemplares arbóreos, foram iguais a 2.8mm/min, 4mm/min e 6.6mm/min, respectivamente.

Nota-se na Figura 5, que nas três espécies estudadas, os dados referentes aos registros de vazão em solo impermeabilizado (Q_1) e em solo permeável/semipermeável (Q_2) tiveram registros bem inferiores aos de precipitação bruta (PB), o que explica o desempenho destes indivíduos quanto à boa capacidade de infiltração e redução da produção de escoamento superficial.

Destaca-se, que em solo permeável/semipermeável (Q_2), a redução foi ainda maior em todas as espécies, sendo notório que, a redução da produção de escoamento superficial pode ser ampliada, com a associação entre a presença da árvore + solo permeável sob suas copas.



Legenda:
PB – precipitação bruta (mm)
Q1 – vazão de escoamento em solo impermeabilizado (mm/min)
Q2 – vazão de escoamento em solo permeável/semipermeável (mm/min)

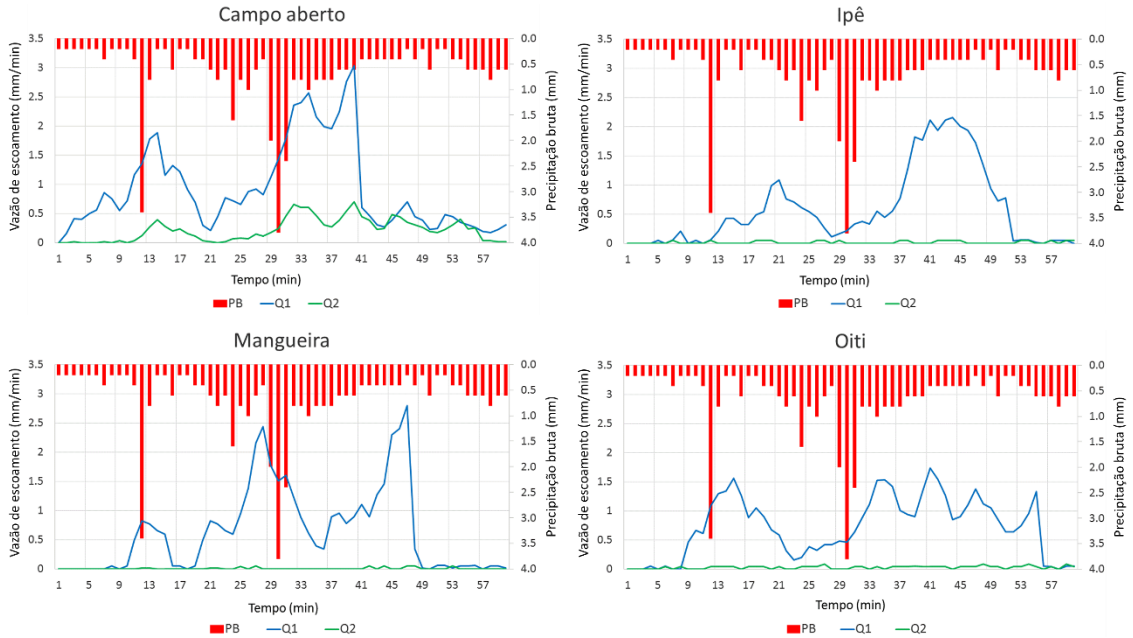
Figura 5 - Gráficos do evento chuvoso ocorrido no dia 04/03/14, de 9h15min as 9h55min, apresentando o comportamento em campo aberto e sob a copa de todos os indivíduos arbóreos.

A Figura 6 expõe o comportamento do pico de vazão de um trecho do evento de maior precipitação bruta (PB), que é de 68.4mm, ocorrido durante a fase de monitoramento. No trecho selecionado, destaca-se a diferença entre PB e as vazões de escoamento em solo com cobertura impermeabilizada (Q1) e permeável/semipermeável (Q2) registradas sob as copas dos indivíduos arbóreos envolvidos na pesquisa.

A Tabela 3 demonstra os valores de cada vazão de pico e seus respectivos tempos de ocorrência. O maior pico de precipitação do evento (PB) ocorreu aos 30min com 3.8mm. Em campo aberto, o comportamento do escoamento superficial traduziu-se em um pico da vazão em 3.0mm/min, ocorrido 40min após o início do evento. Nas áreas experimentais, sob as copas das árvores, a maior vazão de pico registrada foi de 2.8mm/min, ocorrida aos 47min sob a Mangueira.

Nota-se que os registros de vazão, referentes ao escoamento superficial nas áreas experimentais com cobertura do solo permeável e semipermeável, foram ínfimos, com maior valor em 0.09mm/min sob a copa do Oiti. E, nestas áreas não houve picos de vazão, registrando-se apenas uma redistribuição do pico em sucessivos “picos” menores.

Quanto ao atraso na ocorrência dos picos de vazão, a Mangueira foi a espécie que melhor atrasou a ocorrência do pico de escoamento superficial, 7min. Enquanto que o Oiti foi o indivíduo com menor interferência no tempo de ocorrência da vazão de pico, apenas 1min.



Legenda:
PB – precipitação bruta (mm)
Q1 – vazão de escoamento em solo impermeabilizado (mm/min)
Q2 – vazão de escoamento em solo permeável/semipermeável (mm/min)

Figura 6 - Hietogramas e hidrogramas de trecho do evento chuvoso ocorrido nos dias 03/03/14 a 04/03/14, de 22h50min a 1h20min, demonstrando o comportamento variável do pico de vazão em campo aberto e sob as espécies arbóreas.

Tabela 3 - Valores dos picos de precipitação bruta e vazão ocorridos no trecho do evento chuvoso, coletados nos dias 03/03/14 a 04/03/14, de 22h50min a 1h20min

ÁREA/ESPÉCIE ARBÓREA	Pico Q1 (mm/min)	t pico Q1 (min)	Pico Q2 (mm/min)	t pico Q2 (min)	Pico PB (mm)	t pico PB (min)
Campo aberto	3.0	40	0.7	40	3.8	30
Tabebuia ochracea (Ipê amarelo)	2.2	43	0.05	-		
Mangifera indica (Mangueira)	2.8	47	0.05	-		
Licania tomentosa (Oiti)	1.7	41	0.09	-		

Legenda: pico Q1 (mm/min) – vazão de pico ocorrida em solo impermeabilizado; t pico Q1 (min) – tempo da ocorrência da vazão de pico em solo impermeabilizado; pico Q2 (mm/min) – vazão de pico ocorrida em solo permeável/semipermeável; t pico Q2 (min) – tempo da ocorrência da vazão de pico em solo permeável/semipermeável; pico PB (mm) – pico da precipitação bruta; t pico PB (min) – tempo da ocorrência do pico da precipitação bruta.

Nos eventos analisados o valor mediano de precipitação bruta foi de 17.1mm. Nas espécies estudadas, comparando-se a produção de escoamento superficial sob as copas das árvores e em campo aberto, a redução de escoamento ocasionada pela presença dos indivíduos arbóreos foi, em solo impermeabilizado, na ordem de 5.6mm/min, 4.6mm/min e 3.8mm/min para o *Tabebuia ochracea*, a *Mangifera indica* e a *Licania tomentosa*, respectivamente, e em solo permeável e semipermeável, de 0.2mm/min para a *Tabebuia ochracea* e a *Mangifera indica* e, de 0.1mm/min para a *Licania tomentosa*. Do total de 264.6mm/min escoados em solo impermeabilizado, durante os 17 eventos considerados no estudo, em média as três espécies arbóreas reduziram 66.4mm/min.

Os resultados registrados foram próximos a estudos semelhantes. Sanders (1986), em sua pesquisa, obteve uma variação na redução de 4 mm/min a 13mm/min, dependendo da intensidade e duração do evento, bem como da ocupação do solo e área da cidade. Neville (1996) e Day; Dickinson (2008) obtiveram uma redução máxima de 26% do escoamento anual equivalente a cerca de 94.6mm. É importante destacar que estes dados foram alcançados de maneira indireta ou em conjunto com pesquisas voltadas à capacidade de interceptação dos indivíduos arbóreos ou da cobertura florestal urbana, não tendo sido aferido o escoamento diretamente sob a copa das árvores.

O coeficiente de produção de escoamento superficial (C_1) é maior nas áreas impermeabilizadas, porém, nota-se uma redução significativa deste coeficiente, se compararmos o C_1 referente a área impermeabilizada em campo aberto (84.0%) e o C_1 relativo às áreas impermeabilizadas sob as copas das árvores (57.0% em média). Pesquisas como as de Tucci (2000), Verbeiren et al. (2013) e Gumindoga et al. (2014) apontam que para cada 10% de aumento de área impermeabilizada ocorre cerca de 100% de aumento no coeficiente de escoamento de cheia e no volume de escoamento superficial, o que ratifica experimentos acerca das influencias da vegetação e cobertura do solo sobre o escoamento de águas pluviais urbanas.

4. CONCLUSÃO

Durante o período de cinco meses de monitoramento, o valor mediano de precipitação bruta foi de 17.1mm nos eventos chuvosos analisados. A presença dos indivíduos arbóreos propiciou um atraso mediano de tempo ao pico de 3 minutos, uma redução mediana de pico de vazão de 0.8 mm/min e contribuiu com uma redução mediana

de 4,7mm/min do escoamento superficial no solo com cobertura impermeabilizada, e de 0.2mm/min no solo com cobertura permeável e semipermeável. Apesar dos registros de escoamento superficial nas áreas experimentais com cobertura de solo permeável e semipermeável, estando em campo aberto ou sob as copas das árvores, terem sido baixos, a cobertura vegetal, por meio das árvores, mostrou sua relevância para a redução do volume de escoamento, do valor de pico de vazão, bem como do aumento do atraso na ocorrência deste.

O desempenho das espécies foi variável em cada critério analisado neste estudo. As espécies que mais reduziram o escoamento superficial foram a Mangueira e o Ipê por possuírem casca áspera. Quanto ao atraso na ocorrência dos picos de vazão, a Mangueira foi a espécie que melhor influenciou, enquanto que o Oiti foi o indivíduo com menor interferência. A redução do pico de vazão, por sua vez, foi maior no Oiti e menor na Mangueira. As perdas iniciais foram diretamente relacionadas à capacidade de interceptação das espécies.

As características de copa, casca e folha, influenciam diretamente na capacidade de interceptação dos indivíduos arbóreos, porém, em relação ao escoamento superficial, a relação direta ocorre apenas com as características de casca dos indivíduos.

Observa-se de fato que, com a presença das árvores, independente de qual espécie, há uma considerável redução da produção de escoamento superficial, e quanto à capacidade do solo de infiltração e retenção de água, esta ocorre de maneira semelhante nas áreas permeáveis e semipermeáveis em campo aberto e sob as copas das árvores.

Os resultados aqui obtidos, são provenientes de um experimento de campo com área, tipo de solo e número de espécies arbóreas limitados e, mesmo assim, as influências benéficas de uma arborização urbana e planejada são facilmente notadas, quando valorizado o aspecto relacionado à drenagem urbana. Assim, os benefícios provenientes da interceptação das águas pluviais pelas árvores, precisam ser ponderados e garantidos nos planos diretores de arborização urbana, assim como nos planos de drenagem urbana.

Para alcançar uma maior redução de escoamento superficial, deve-se ampliar as pesquisas quanto à diversidade de espécies, características de casca e tipologia da cobertura do solo. A presente pesquisa evidencia os benefícios das árvores à drenagem urbana, e eles serão ampliados ao se garantir a permeabilidade do solo sob as copas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor; Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo auxílio financeiro para a compra de equipamentos; e, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - Nível 2 ao segundo autor.

6. REFERÊNCIAS

AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, n. 7, p. 4253-4273, 2012.

AMPE, E. M. et al. Impact of urban land-cover classification on groundwater recharge uncertainty. Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, **IEEE Journal**, v. 5, n. 6, p. 1859-1867, 2012.

ANA, Agência Nacional De Águas - Brasil. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

ANA, Agência Nacional de Águas - Brasil. **Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas** / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - Brasília: ANA, SGH, 2011.

BEREZOWSKI, T. et al. Impact of remotely sensed land-cover proportions on urban runoff prediction. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 16, p.54-65, 2012.

BRABEC, E.A. Imperviousness and land-use policy: toward an effective approach to watershed planning. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 14, n. 4, p. 425–433, 2009.

DAY, S.D.; DICKINSON, S.B. (eds.) **Managing Stormwater for Urban Sustainability Using Trees and Structural Soils**. 2008.

FAO, IDF. Monitorização e Avaliação de Recursos Florestais Nacionais de Angola – Guia para recolha de dados. **National Forest Monitoring and Assessment Working Paper** NFMA XX/P. Rome, Luanda. 2009.

GAO, C. et al. Review of Current Research on Urban Low-impact Development Practices. **Research Journal of Chemistry and Environment**, v. 17, n. S1, p. 209-214, 2013.

GUMINDOGA, W. et al. Hydrological Impacts of Urbanization of Two Catchments in Harare, Zimbabwe. **Remote Sensing**, v. 6, n. 12, p. 12544-12574, 2014.

HU, W.X. et al. Review of urban storm water simulation techniques. **Advances in Water Science**, v. 21, n. 1, p. 137-144, 2010.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia - Brasil. BDMEP, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

LIVESLEY, S. J.; BAUDINETTE, B.; GLOVER, D. Rainfall interception and stemflow by eucalypt street trees - The impacts of canopy density and bark type. **Urban Forestry e Urban Greening**, v. 13, p. 192-197, 2014.

MACO, S.E.; McPHERSON, E.G. Assessing canopy cover over streets and sidewalks in street tree populations. **J. Arboricult, v.** 28, p. 270–276, 2002.

McPHERSON, E. G. et al. Million trees Los Angeles canopy cover and benefit assessment. **Landscape and Urban Planning**, v. 99, n. 1, p. 40-50, 2011.

NEVILLE, L. R. **Urban watershed management: the role of vegetation**. PhD. Diss. SUNY, College of Environmental Science and Forestry, Syracuse.1996.

PARIKH, P. et al. Application of market mechanisms and incentives to reduce stormwater runoff. An integrated hydrologic, economic and legal approach. **Environmental Science & Policy**, v. 8, p. 133–144, 2005.

PAUL, M.J.; MEYER, J.L. Streams in the urban landscape. Annu. **Rev. Ecol. Syst.,** v.32, p. 333–365, 2001.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff curve number: has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, v.1, n.1, p.11-19, 1996.

SANDERS, R. A. Urban vegetation impacts on the hydrology of Dayton, Ohio. **Urban Ecology, v.** 9, p. 361–376, 1986.

SETZER, J.; PORTO, R.L.L. Tentativa de Avaliação do Escoamento Superficial de acordo com o solo e o seu recobrimento vegetal nas condições do Estado de São Paulo. **Boletim Técnico DAEE**, v.2, n.2, p. 81-104, 1979.

TUCCI, C. E. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

VERBEIREN, B. et al. Assessing urbanisation effects on rainfall-runoff using a remote sensing supported modelling strategy. International **Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 92-102, 2013.

WANG, J.; ENDRENY, T. A.; NOWAK, D. J. Mechanistic simulation of treee ffects in an urban water balance model. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 44, p. 74-85, 2008.

ARTIGO 4

INFLUÊNCIAS DA ARBORIZAÇÃO, DO PLANEJAMENTO URBANO E DO LID NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE ÁGUAS PLUVIAIS: MEDIÇÃO, ANÁLISE E MODELAGEM

ALVES, PatríciaLayne[1]; FORMIGA, Klebber Teodomiro Martins[2]

RESUMO

A recorrência de enchentes indica a necessidade de alterações na forma de planejar e projetar o solo urbano. No intuito de avaliar as influências da arborização urbana, do planejamento urbano e do LID no escoamento superficial, estudou-se uma bacia de 32.33ha com duas propostas de urbanização. Uma convencional, seguindo os parâmetros urbanísticos exigidos pelos instrumentos legais do Município de Uruaçu, Goiás e a outra, conforme as premissas de uma cidade arborizada, com práticas de desenvolvimento de baixo impacto (LID), e com maior mobilidade urbana. Foram empregadas como práticas de LID a arborização, as bacias de detenção e os pavimentos permeáveis. Através de simulações utilizando o EPA SWMM 5.1 EUA, com o cenário em que o planejamento urbano arborizado agregava todas as técnicas de LID aqui empregadas, conseguiu-se atingir a redução das vazões de pico em 3.42m³/s, em relação ao projeto convencional; permitindo o armazenamento de um volume de água de 4470.59m³ nas estruturas de infiltração locais propostas; e, retardar os picos de vazão em até 6 minutos. A pesquisa comprovou que, isoladamente, as técnicas de LID causam pouca redução no volume e vazão e, pouco retardo no tempo ao pico do escoamento, enquanto que somadas contribuem de forma significativa à drenagem. O presente estudo agrega ao SWMM a inserção dos benefícios arbóreos na simulação hidrológica. Pesquisas relacionadas ao uso das práticas de LID são necessárias para subsidiar os municípios com alternativas para os problemas ambientais, para buscar a multidisciplinaridade em projetos e planejamentos, para poupar recursos públicos e priorizar a gestão das águas pluviais em prol da redução de enchentes e inundações.

Palavras-chave: proposta de urbanização; árvores urbanas; gestão de águas pluviais.

---

[1]Universidade Federal de Goiás, Programa de Doutorado em Ciências Ambientais, Rua Natal, n. 59, Apto. 902, Setor Alto da Glória, CEP 74-815-705, Goiânia - GO, email: patricialaynearq@yahoo.com.br.

[2]Universidade Federal de Goiás, Professor Assistente, Escola de Engenharia Civil, Praça Universitária, s/n., Bloco A, Sala 8, Setor Universitário, CEP:74605-220, Goiânia - GO, email: klebber.formiga@gmail.com.

INFLUENCES FROM URBAN FORESTRY, URBAN PLANNING AND LID ON STORMWATER RUNOFF: MEASUREMENT, ANALYSIS AND MODELING

ABSTRACT

The recurrence of floods indicates the need for changes in the way of planning and designing urban land. To assess the influences from urban forestry, urban planning and LID on stormwater runoff, we studied a watershed of 32.33ha with two urbanization proposals. The first was a conventional one, following the urban parameters required by legal instruments of the city of Uruaçu, Goiás and the other in accordance with the premises of a wooded city, with low impact development practices (LID) and with larger urban mobility. As practices of LID were employed afforestation, detention watersheds and permeable pavements. Through simulations, utilizing the EPA SWMM 5.1 USA, with the scenario in which the wooded urban planning combined with all the techniques of LID here researched, managed to achieve the reduction of peak flow in 3.42m³/s in relation to the conventional project. That enabled a water volume storage of 4470.59m³ in local infiltration structures proposed and the peak flow delay up to 6 minutes. The research proves that singly the techniques of LID cause slight reduction on volume and flow and, slight delay on the runoff peak time; while together, they significantly contribute to the drainage. This study adds the inclusion of arboreal benefits in hydrological simulation to SWMM. Researches involving the use of LID practices are necessary to subsidize municipalities with alternatives to their environmental problems, to seek the multidisciplinarity in their projects and planning, to save public resources and prioritize stormwater management towards the reduction of floods and flooding.

Keywords: urbanization proposal; urban trees; stormwater management.

1. INTRODUÇÃO

As problemáticas urbanas e ambientais passam a existir desde o momento em que o homem se considera no pleno direito de modificar os recursos naturais, e deles usufruir para viabilizar o desenvolvimento da sociedade humana. Desta forma, o planejamento urbano tem a função de associar os processos de produção, estruturação e apropriação do espaço urbano.

A busca por um planejamento alternativo da cidade surgiu como opção para a redução dos impactos negativos ocasionados pela urbanização exacerbada (USEPA, 2001; MOGLEN; GABRIEL; FARIA, 2003). Neste contexto, a arborização urbana surge como elemento importante na estrutura da cidade com os seus próprios valores econômicos, ecológicos e estéticos. As árvores fornecem benefícios sociais, psicológicos e econômicos por meio da promoção do bem-estar, redução da temperatura, da poluição e transformações nos processos hidrológicos. Xiao; McPherson (2002) apontaram que a presença das árvores no meio urbano, pode ocasionar uma redução significativa do volume de escoamento de águas pluviais, bem como retardar o pico das cheias.

Além da arborização, nos últimos anos surgiram abordagens inovadoras no que diz respeito ao manejo das águas pluviais urbanas, tais como os *Low Impact Development* (LID) (COFFMAN; FRANCE, 2002). O princípio básico do LID é a capacidade natural de infiltração do solo, a partir da descentralização dos fluxos pluviais, para permitir e otimizar de forma natural o fluxo das águas, resgatando os níveis de escoamento e infiltração do solo referentes ao período de pré-urbanização (USEPA, 2000), diferentemente dos métodos atuais aplicados nas cidades, em que grandes dutos e detenções a partir da canalização dos rios, já não são eficientes para o controle das águas.

As práticas urbanas de LID têm sido utilizados com sucesso para gerenciar escoamento de águas pluviais, melhorar a qualidade da água e proteger o meio ambiente (AHIABLAME; ENGEL; CHAUBEY, 2012). As técnicas de baixo impacto possibilitam a continuidade do desenvolvimento urbano, permite a modulação do sistema de drenagem em função do crescimento da ocupação territorial, além do tratamento combinado dos problemas de drenagem pluvial com as questões urbanísticas e paisagísticas.

Em bacias urbanas, as práticas de LID ocasionam uma redução do escoamento superficial quando comparadas bacias hidrográficas com e sem qualquer consideração de LID em seus planejamentos. Conforme demonstrado em simulações realizadas por

Selbig; Bannerman (2008) com uma bacia de 67ha no Texas, Estados Unidos, a redução média é de 998m³ do volume total escoado e de 2.6m³/s do pico de vazão. Bedan; Clausen, (2009) obtiveram em Waterford, Irlanda, a redução total de 280m³ e 4.8m³/s no pico, em uma bacia com aproximadamente 10ha. Wang et al. (2010) conseguiram reduzir em 6.4m³ do volume total escoado com uma área de 3ha em Ohio, Estados Unidos. Zimmerman et al. (2010) encontraram 5m³/s de redução para uma área de 3ha em Massachusetts, Estados Unidos, e Tavanti; Barbassa (2012) com pesquisas em uma bacia de 8.95ha em São Paulo, Brasil, atingiram redução de 0.36 m³/s da vazão de pico, e 227 m³ do volume total.

Ferramentas computacionais de modelagens que simulam a ocupação territorial e seus impactos no comportamento das águas pluviais, têm sido aplicados desde os anos de 1960 (JANG et al., 2007). Muitos modelos evoluíram, mas nenhum foi construído, especificamente, para avaliar os efeitos das árvores sobre as águas pluviais, e favorecer o desenvolvimento de planos de manejo florestal urbano. Wang et al. (2008) destacam que modelos como o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) e TR-55, por exemplo, limitaram-se ao uso de uma infiltração baseada no método *Soil Conservation Service* (SCS), e, portanto, não considerou, explicitamente, a contribuição da interceptação da vegetação. Enquanto que o programa de simulação hidrológica *Storm Water Management Model* (SWMM) exige numerosos parâmetros de entrada e, ainda, não permite simulação adequada para o processo de interceptação.

O SWMM é um modelo amplamente empregado em estudos relacionados a quantificação e avaliação da qualidade do escoamento em bacias que passam pelo processo de urbanização. Sendo que o modelo permite em sua interface a consideração de diversas técnicas de LID (JANG et al., 2007).

Para o Brasil, estudos e adoção de estratégias para integração entre LID e planejamento urbano seriam eficazes para a mitigação dos problemas relacionados às enchentes e inundações. Para isso, os parâmetros urbanísticos devem-se ater a um zoneamento adequado, partindo do reconhecimento dos vetores da expansão urbana e das áreas que tendem a ser ocupadas. A legislação urbanística brasileira, infelizmente ainda permite a supressão de parcela significativa da vegetação natural, ignora as limitações topográficas e a existência de nascentes, canaliza corpos d'água e impermeabiliza excessivamente os solos. As exigências legais são mínimas e em grande parte se atém à questões técnicas, os projetos de parcelamento territorial não consideram a qualidade de

vida e sustentabilidade ambiental como princípios, fazendo com que o empreendedor deixe de agregar valor à área construída.

Atualmente, a arborização e as áreas verdes no ambiente construído, realçam argumentos positivos para o mercado imobiliário: tranquilidade, qualidade de vida e lazer com a família; o que atribui a tais áreas valor agregado superior a proximidade de um imóvel a um equipamento urbano, como um *shopping center* ou redes de supermercado, por exemplo (ROCHA, 2001).

Na busca por valorizar a arborização urbana além de seus benefícios estéticos, o presente estudo propõe avaliar as influências das árvores, do planejamento urbano e de técnicas de LID no escoamento superficial de águas pluviais. Para isso, efetuou-se a inserção de dados de interceptação na simulação de escoamento em uma bacia urbana real. E, os resultados de vazão foram correlacionados com as tipologias de planejamento territorial urbano, aqui propostas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área escolhida para o estudo, localiza-se na Cidade de Uruaçu, Goiás, Brasil, com as coordenadas de 14°31'25.41"S e 49°09'43.19"O. Segundo a Lei n. 1.050 (URUAÇU, 1999) que dispõe sobre o Plano Diretor Integrado do Município, a área está na zona de expansão urbana, possui 32.33ha e é limítrofe aos bairros de Vila Primavera e Vila Mandacaru (Figura 1).

De acordo com a classificação de Köppen, a região climática é do tipo “Aw” com clima tropical, estação seca prolongada e chuvas concentradas no verão. Segundo o banco de dados Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), a precipitação anual no município é de aproximadamente 1006,8mm e, conforme o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a temperatura média dos meses mais quentes é de 39,4ºC, enquanto a dos meses mais frio é de 10,8ºC. No período chuvoso de 2013/2014, os dados pluviométricos foram: mínimo mensal de 17.5mm (fevereiro de 2014), e máximo mensal de 182.4mm (dezembro de 2013).

Figura 1 – Área de estudo selecionada na Cidade de Uruaçu – GO.

2.2 Proposta de Planejamento Urbano

Convencionalmente, no Brasil, o parcelamento do solo urbano segue parâmetros estabelecidos pela lei n. 6.766 (BRASIL, 1979), com suas alterações posteriores e pelas leis municipais de Uso e Ocupação do Solo e Plano Diretor, quando houver. A lei n. 6.766 (BRASIL, 1979) deixa a cargo das leis municipais, a definição para cada zona em que se divida o território do Município, os usos permitidos e os índices urbanísticos de parcelamento e ocupação do solo, que incluirão, obrigatoriamente, as áreas mínimas e máximas de lotes e os coeficientes máximos de aproveitamento. Nas leis municipais, ficarão expressas as parcelas das glebas que serão de uso institucional (destinadas às áreas públicas, como sistemas de circulação, de equipamento urbano e espaços livres de uso público), bem como a porcentagem da gleba referente às áreas verdes.

No presente estudo, são propostas duas tipologias de planejamento urbano para a área a ser estudada, a primeira foi delineada a partir dos parâmetros urbanísticos estabelecidos pela Lei n. 1.050 (URUAÇU, 1999) e pelo Código de Obras do Município, Lei n. 29 (URUAÇU, 1984), sendo aqui denominada de “Planejamento Convencional” e, a segunda, “Planejamento com LID”, insere algumas técnicas de LID, melhorias na mobilidade e na arborização urbana (Figura 2). Para este estudo considerou-se que as práticas de LID implementadas na segunda proposta de planejamento não alteraram

fisicamente o traçado urbano, apenas modificaram as taxas de área permeável, favorecendo a infiltração no solo e a interceptação da água de chuva.

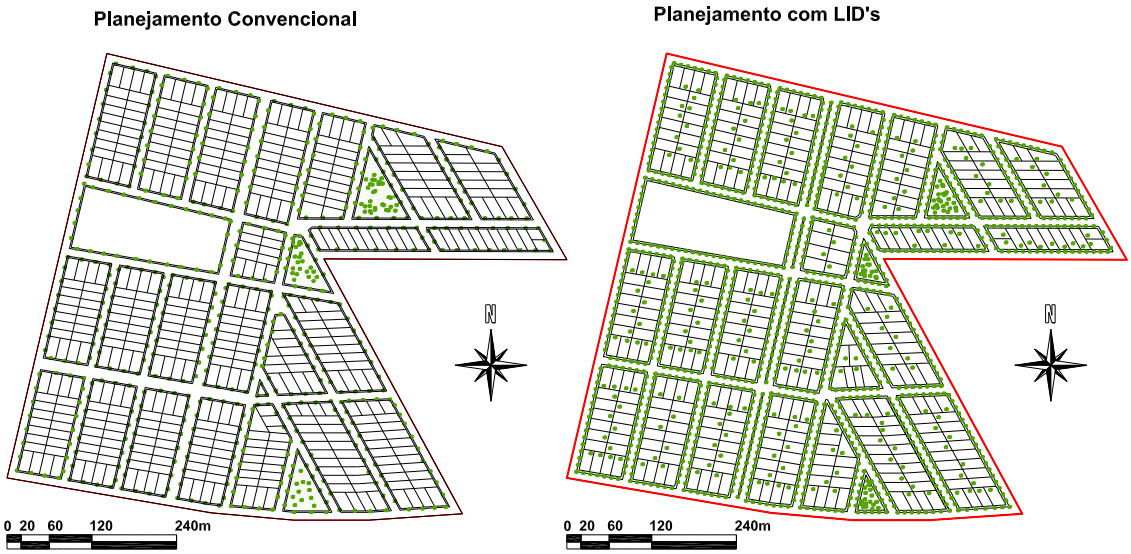


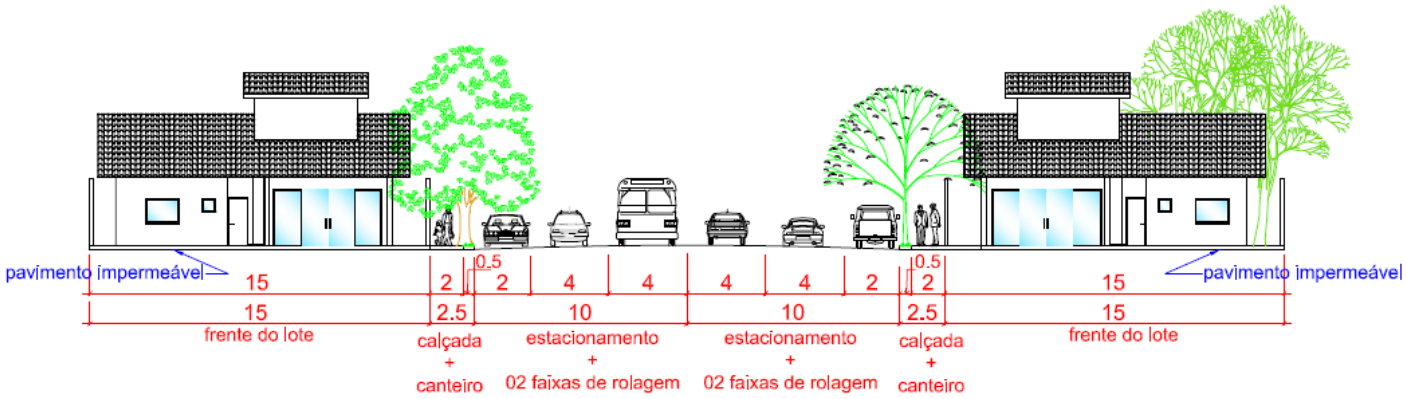
Figura 2 - Planta das duas propostas de planejamento urbano previstas para a área em estudo, sendo uma o "Planejamento Convencional" (conforme parâmetros do PDIU) e o outro "Planejamento com LID" (inserção de práticas dos LID, maior arborização e mobilidade urbana).

Em ambas propostas, a área total foi de 32.33ha e os parâmetros urbanísticos para cada uma estão expressos na Tabela 1. Ressalta-se que além dos parâmetros indicados na Tabela, a proposta de "Planejamento com LID" teve como objetivo ampliar as áreas permeáveis e de cobertura arbórea do loteamento, além de inserir no projeto elementos destinados a atender as questões de mobilidade urbana, tais como ciclovias, calçadas e vias mais largas (Figura 3). O aumento da cobertura arbórea foi obtido pela redução da distância de plantio entre os indivíduos do "Planejamento Convencional" para o "Planejamento com LID", bem como um maior número de árvores presentes nas praças públicas. Quanto à arborização no interior dos lotes, esta foi estimada em 5% para a proposta do "Planejamento com LID" e desconsiderada no "Planejamento Convencional".

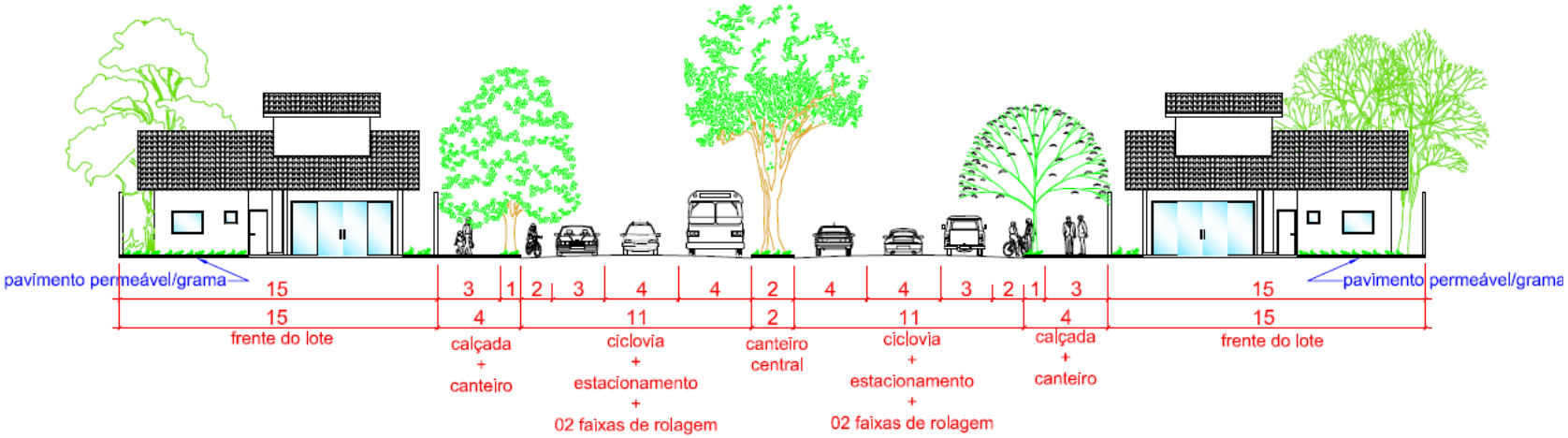
Tabela 1 - Parâmetros urbanísticos respeitados pela proposta de planejamentos urbano convencional e com LID

PARÂMETROS URBANÍSTICOS CONSIDERADOS NAS PROPOSTAS DE PLANEJAMENTO URBANO		
Aspectos considerados	**Planejamento Convencional**	**Planejamento com LID**
Dimensionamento dos lotes*	Área mín. – 360m² Frente mín. – 12m	Área mín. – 450m² Frente mín. – 15m
Área máxima construída nos lotes*	70%	70%
Área institucional (%)*	Mín. de 30% e máx. 50% da gleba	Mín. de 30% e máx. 50% da gleba
Dimensionamento de avenidas**	Largura mín, de 20m	Largura mín, de 30m
Dimensionamento de ruas locais**	Largura mín, de 15m	Largura mín, de 20m
Arborização vias***	Indivíduos arbóreos distanciados em 20m	Indivíduos arbóreos distanciados em 10m

Legenda: Para o Planejamento Convencional, seguiu-se a * Lei n. 1.050 (URUAÇU, 1999) – Art.58 que trata das dimensões mínimas dos lotes, seus usos, seus índices multiplicadores e recuos obrigatórios das edificações para todos os loteamentos novos do município; e, ** Lei n. 1.050 (URUAÇU, 1999) – Art.4 que trata da estrutura viária e suas dimensões.
***Os parâmetros arbóreos foram adotados pelo presente estudo, estes não estão estabelecidos em Lei.



Corte esquemático da via principal - Planejamento convencional
Obs.: Cotas em m



Corte esquemático da via principal - Planejamento Com LID
Obs.: Cotas em m

Figura 3 - Cortes esquemáticos da via principal (avenida) considerada nos “Planejamento Convencional e com LID”.

2.3 *Low Impact Development* (LID) aplicados à pesquisa

Neste estudo, foram utilizadas as bacias de detenção, os pavimentos permeáveis e a arborização como práticas de LID. As bacias ou reservatórios de detenção têm seu princípio fundamentado na captação de águas pluviais, visando retardar sua chegada à rede de drenagem. Amortecendo, assim, o pico dos hidrogramas e ocasionando a diminuição da vazão máxima para jusante.

O pavimento permeável é atualmente a técnica de LID mais investigada e de maior aplicação, cujo objetivo é a retenção e infiltração do escoamento superficial no local de origem. Aqui, foram utilizados como alternativas para os pavimentos impermeáveis tradicionais, sendo aplicados tanto na pavimentação de vias e calçadas públicas, reduzindo, desse modo, o volume e a velocidade do escoamento.

A arborização urbana foi inserida neste estudo nas práticas propostas pelo LID. Pois, considerou-se que a presença das árvores ocasiona a redução do escoamento, a interceptação das águas de chuva e contribuem para a evaporação e infiltração no solo.

2.4 Modelagem

Nesta pesquisa, propõe-se a utilização do modelo de domínio público EPA SWMM 5.1 EUA, para quantificar o escoamento gerado em cenários sugeridos a partir dos planejamentos urbanos, aqui propostos, para uma bacia hidrográfica natural. Os cenários considerados para as simulações, seguem abaixo caracterizados com parâmetros urbanísticos expressos na Tabela 1:

a) Cenário 1 – planejamento convencional seguindo a Lei n. 1.050 (URUAÇU, 1999);
b) Cenário 2[3] – planejamento com mobilidade urbana + arborização;
c) Cenário 3[4] – cenário 2 + todas as vias públicas e calçadas do loteamento com pavimentação permeável;

[3]Planejamento com LID conforme parâmetros urbanísticos expressos na Tabela 1.

[4]Foram consideradas para a construção do Cenário 2, que todas as vias públicas e calçadas do loteamento tiveram cobertura do solo permeáveis (pavimento permeável).

d) Cenário 4[5] – cenário 3 + a utilização de pavimentos permeáveis, também, dentro dos lotes;

e) Cenário 5[6] – cenário 3 + a utilização de bacias de detenção dentro dos lotes;

f) Cenário 6[7] – cenário 2 + cenário 3 + cenário 4 + cenário 5.

O dimensionamento das áreas impermeabilizadas, permeáveis e de arborização considerados, bem como suas porcentagens em relação a área total da bacia (32.33ha) para cada cenário é explicitado pela Tabela 2**.**

Tabela 2 - Parâmetros para comparação das áreas permeáveis, impermeabilizadas e de cobertura arbórea nos diferentes cenários propostos para o planejamento urbano

Cenários	**DADOS DOS CENÁRIOS PROPOSTOS PARA O PLANEJAMENTO URBANO**							
	Ai (ha)	**% Ai**	**Ap (ha)**	**% Ap**	**Aarb (ha)**	**% Aarb**	***Alterações nas vias e áreas públicas**	****Técnicas de LID (lotes)**
Cenário 1	25.45	78.83	4.85	15.02	2.00	6.19	----	----
Cenário 2	20.8	64.5	7.5	23.5	3.94	12.19	Arborização	----
Cenário 3	12.43	38.52	15.92	49.32	3.94	12.19	Arborização + Pav. Perm.	----
Cenário 4	10.00	30.99	18.35	56.86	3.94	12.19	Arborização + Pav. Perm.	Pavimento permeável
Cenário 5	12.43	38.52	15.92	49.32	3.94	12.19	Arborização + Pav. Perm.	Bacia de detenção
Cenário 6	10.00	30.99	18.35	56.86	3.94	12.19	Arborização + Pav. Perm.	Pav. Pern. + Bacia de

Legenda: Ai (ha) – área impermeável em hectares; % Ai – porcentagem de área impermeável em relação a área total da gleba; Ap (ha) – área permeável em hectares; % Ap – porcentagem de área permeável em relação a área total da gleba; Aarb (ha) – área de cobertura arbórea em hectares; % Aarb – porcentagem de área de cobertura arbórea em relação a área total da gleba; *Alterações aplicadas as vias e áreas públicas; **LID aplicados em cada lote urbano.

[5] Foi acrescido ao Cenário 3 a utilização de pavimentos permeáveis também dentro dos lotes.

[6] Foi acrescido ao Cenário 3 a utilização de bacias de detenção dentro dos lotes.

[7] Foram acrescidas ao Cenário 3 a utilização de pavimentos permeáveis e de bacias de detenção dentro dos lotes.

Para as simulações, adotou-se que as bacias de detenção tiveram capacidade de retenção de 4.5m³ para uma área de 500m² (PROSAB, 2009). Para os pavimentos permeáveis, foram considerados os parâmetros utilizados por García Haba (2001), sendo eles:

a. Superfície: coeficiente de rugosidade Manning de 0.017 e inclinação de 0.5%;
b. Pavimento: espessura de 120mm, índice de vazios de 0.21 (correspondendo a uma porosidade de 18%), taxa de percolação de 4320mm/h, fração de superfície impermeável e fator de colmatação nulos;
c. Sub-base ou armazenamento: espessura de 25mm, índice de vazios de 0.67 (correspondendo a uma porosidade de 40%), condutividade hidráulica e fator de colmatação nulos;
d. Drenagem interna: coeficiente de descarga igual a 0.114mm/h, valor do expoente 0.5 e altura do dreno nula.

E, para a cobertura arbórea, foi admitido que esta teve a capacidade de interceptação de 17.8mm para o evento considerado na simulação conforme pesquisas de Alves; Formiga; Traldi (No prelo).

As simulações foram realizadas com os 6 cenários, para uma chuva natural (ocorrida em campo) que teve a duração de 142min e precipitação acumulada total de 68.4mm. Também foi utilizada uma chuva de projeto, com características da precipitação determinadas por meio da equação das curvas "i-d-f" proposta para a Cidade de Uruaçu por Costa; Siqueira; Menezes Filho (2007). Considerou-se um tempo de retorno de 5 anos, para este caso, aplicou-se a **(1)**

válida para 1 ano ≤ T ≤ 8 anos.

$$i = \frac{B1 * (T^{\alpha + \frac{\beta}{T^{\gamma}}})^{\delta}}{(t + c)^{b}} \quad \textbf{(1)}$$

Em que:

i - intensidade pluviométrica (mm/min)

T - período de retorno (anos)

t - duração da precipitação (min)

Para a mesma bacia de 32.33ha foram realizadas 24 simulações, sendo 6 com os cenários propostos pela pesquisa para um evento de chuva natural na bacia toda, 6 para

um evento de chuva natural em uma sub bacia da área de estudo, 6 para uma chuva de projeto na bacia toda, e 6 para uma chuva de projeto em uma sub bacia da área. A sub bacia corresponde a uma parcela da gleba, uma quadra da proposta de parcelamento da bacia, com aproximadamente 1.5ha, declividade de 3%, e os mesmos parâmetros correspondentes aos cenários propostos para as simulações que estão explicitados na Tabela 2.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos pelas simulações são apresentados na Tabela 3 e indicam que quanto maior a porcentagem de área impermeabilizada da bacia, maior é a produção de escoamento e a vazão de pico, e menor o tempo de ocorrência deste. Tanto na bacia quanto na sub bacia analisada, este comportamento se repetiu. A parcela de área permeável esteve diretamente relacionada a presença das árvores/cobertura arbórea e aplicação de pavimentos permeáveis nas vias públicas e no interior dos lotes urbanos.

Notou-se que à medida que a proposta de planejamento urbano incluiu maiores parcelas de áreas permeáveis, arborização e aplicação de técnicas do LID, todos os parâmetros hidrológicos observados em relação à vazão e volume, tiveram seus valores reduzidos e os de tempo ao pico, ampliados. Tal padrão ocorreu na chuva natural e de projeto, na bacia e na sub bacia. O Cenário 1 que corresponde ao Planejamento Convencional, coincidente com a maioria das cidades brasileiras, em especial, as de pequeno e médio porte, foi o que obteve valores de parâmetros hidrológicos mais impactantes. O oposto ocorreu no Cenário 6, que corresponde ao planejamento com maior área arborizada, maior área com cobertura permeável e aplicação dos LID no interior dos lotes.

A vazão de pico foi acrescida do Cenário 1 para o Cenário 6 na chuva natural em 3.42m³/s na bacia, e em 0.45m³/s na sub bacia, na chuva de projeto, o acréscimo foi de 1.83m³/s na bacia e 0.39m³/s na sub bacia. O volume escoado total foi acrescido para os mesmos cenários na chuva natural em 4470.59m³ na bacia, e em 883.2m³ na sub bacia, na chuva de projeto, o acréscimo foi de 878.75m³ na bacia e 346.6m³ na sub bacia.

A diferença da ocorrência do tempo ao pico do Cenário 1 para o Cenário 6 foi na chuva natural de 6min para bacia e 5min na sub bacia, e na chuva de projeto de 2min para bacia e 6min para sub bacia.

De modo geral, observando as alternativas de parcelamento territorial, separadamente, nota-se que na bacia, com evento de chuva natural, a aplicação da arborização apenas reduziu em 0.23m³/s da vazão de pico, em 2125.45m³ do volume total escoado, e retardou em 2 min a ocorrência do tempo ao pico. Somando à arborização as vias permeáveis, a redução passou a ser de 1.8m³/s da vazão de pico, de 4036.41m³ do volume total escoado, e retardo de 4 min da ocorrência do tempo ao pico. Ao acrescentarmos ao cenário anterior as bacias de detenção dentro dos lotes, os valores foram de 1.94m³/s da vazão de pico, de 4095.07m³ do volume total escoado e, ainda assim, o retardo se manteve. E, finalmente, se considerarmos a arborização, as vias públicas permeáveis, bacias de detenção e pavimentos permeáveis, dentro dos lotes, a redução foi de 3.42m³/s da vazão de pico, de 4470.59m³ do volume total escoado, e o retardo passou para 6 min.

Tabela 3 - Dados de escoamento obtidos a partir das simulações no SWMM, para os 06 cenários propostos para o planejamento urbano com um evento de chuva natural e chuva de projeto

Cenários	**CHUVA NATURAL**					
	Bacia			**Sub bacia**		
	Vazão de pico (m³/s)	**Tempo ao pico (min)**	**Volume total ecoado (m³)**	**Vazão de pico (m³/s)**	**Tempo ao pico (min)**	**Volume total ecoado (m³)**
Cenário 1	4.19	32	4681.06	0.50	32	912.60
Cenário 2	3.96	34	2555.61	0.38	33	448.80
Cenário 3	2.39	36	644.65	0.15	36	115.80
Cenário 4	2.32	36	555.18	0.14	34	93.60
Cenário 5	2.25	36	585.99	0.14	35	101.20
Cenário 6	0.77	38	210.47	0.05	37	29.40

Cenários	CHUVA DE PROJETO					
	Bacia			Sub bacia		
	Vazão de pico (m^3/s)	Tempo ao pico (min)	Volume total ecoado (m^3)	Vazão de pico (m^3/s)	Tempo ao pico (min)	Volume total ecoado (m^3)
Cenário 1	4.51	12	1176.72	0.63	9	434.20
Cenário 2	4.30	13	799.78	0.51	15	324.60
Cenário 3	3.80	14	635.47	0.41	15	225.00
Cenário 4	3.62	13	629.14	0.36	15	213.00
Cenário 5	3.10	14	471.96	0.34	15	151.20
Cenário 6	2.68	14	297.97	0.24	15	87.60

Legenda de Cenários:
1 – proposta de planejamento convencional
2 – proposta de planejamento mobilidade + arborização
3 – proposta de planejamento mobilidade + arborização + vias permeáveis
4 - proposta de planejamento mobilidade + arborização + vias permeáveis + LID (pavimento permeável)
5 - proposta de planejamento mobilidade + arborização + vias permeáveis + LID (bacia de detenção)
6 - proposta de planejamento mobilidade + arborização + vias permeáveis + LID (pavimento permeável + bacia de detenção)

Nos hidrogramas da Figura 4, nota-se que tanto na chuva de projeto quanto na chuva natural para bacia e sub bacia, houve uma redução da vazão e um retardo no pico de vazão, à medida que o planejamento territorial considera a arborização e aplica os conceitos do desenvolvimento de baixo impacto.

Porém, na chuva natural, houve uma redução significativa da ocorrência dos picos do Cenário 1 para o Cenário 6, na proposta de planejamento convencional ocorreram 03 sub picos de vazão, enquanto que na proposta com maior arborização e aplicação de todas as técnicas de LID aqui estudadas, foi notada a ocorrência de apenas 01 pico.

Por meio dos hidrogramas, fica evidente que a presença das árvores, a utilização de pavimentos permeáveis e de bacias de detenção, atenuam as vazões ocorridas em uma bacia hidrográfica urbana. É por meio destes elementos, que as águas precipitadas são retidas por mais tempo no início da ocorrência do evento, gerando um menor volume e reduzindo a velocidade do escoamento superficial a jusante da bacia.

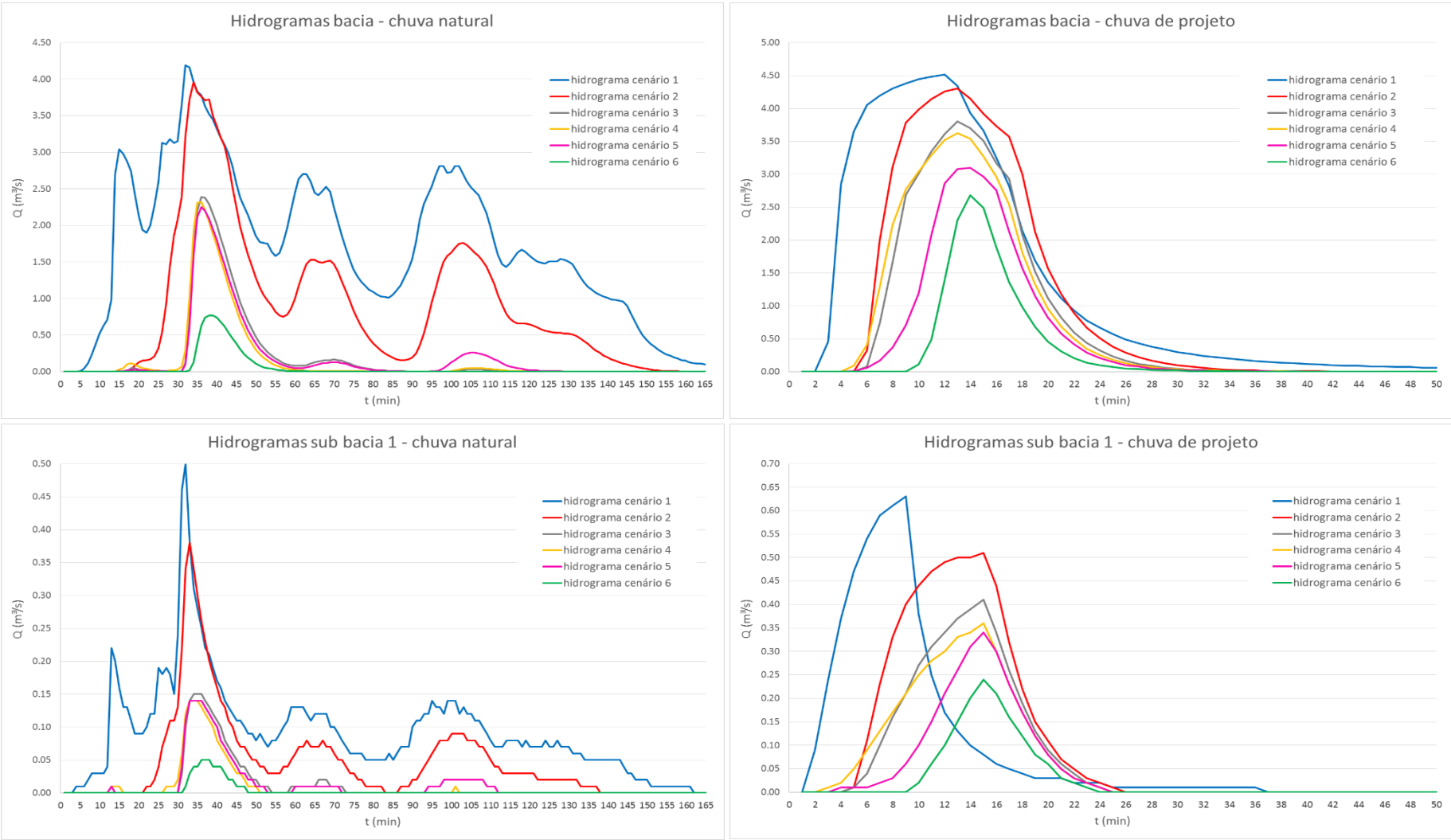


Figura 4 - Hidrogramas da bacia e sub bacia na chuva natural e de projeto.

A Figura 5 expõe o comportamento da produção de escoamento ocorrida na bacia e em uma sub bacia da área estudada, durante um evento de chuva natural e outro de projeto. Observou-se pouca diferença ao compararmos a produção do escoamento durante a chuva natural ocorrida na sub bacia e na bacia, como um todo. O mesmo aconteceu com a chuva de projeto que apresentou comportamento semelhante na bacia e sub bacia.

Durante a chuva natural, a produção de escoamento ocorreu até meados dos 150min, tanto na bacia quanto na sub bacia. Já no evento de projeto, a estabilização da produção de escoamento foi antecipada para 30min após o início do evento. Este comportamento refletiu as variações de intensidade e duração dos eventos chuvosos, podendo ter sido influenciado pelo uso do modelo matemático com seus parâmetros estabelecidos previamente.

Ao correlacionarmos a produção do escoamento ao uso das propostas de parcelamento territorial, ficou evidente a redução do volume total escoado com a inserção das árvores, dos pavimentos permeáveis e das técnicas de LID, tanto para a chuva natural quanto para a chuva de projeto, semelhante ao comportamento dos hidrogramas (Figura 4).

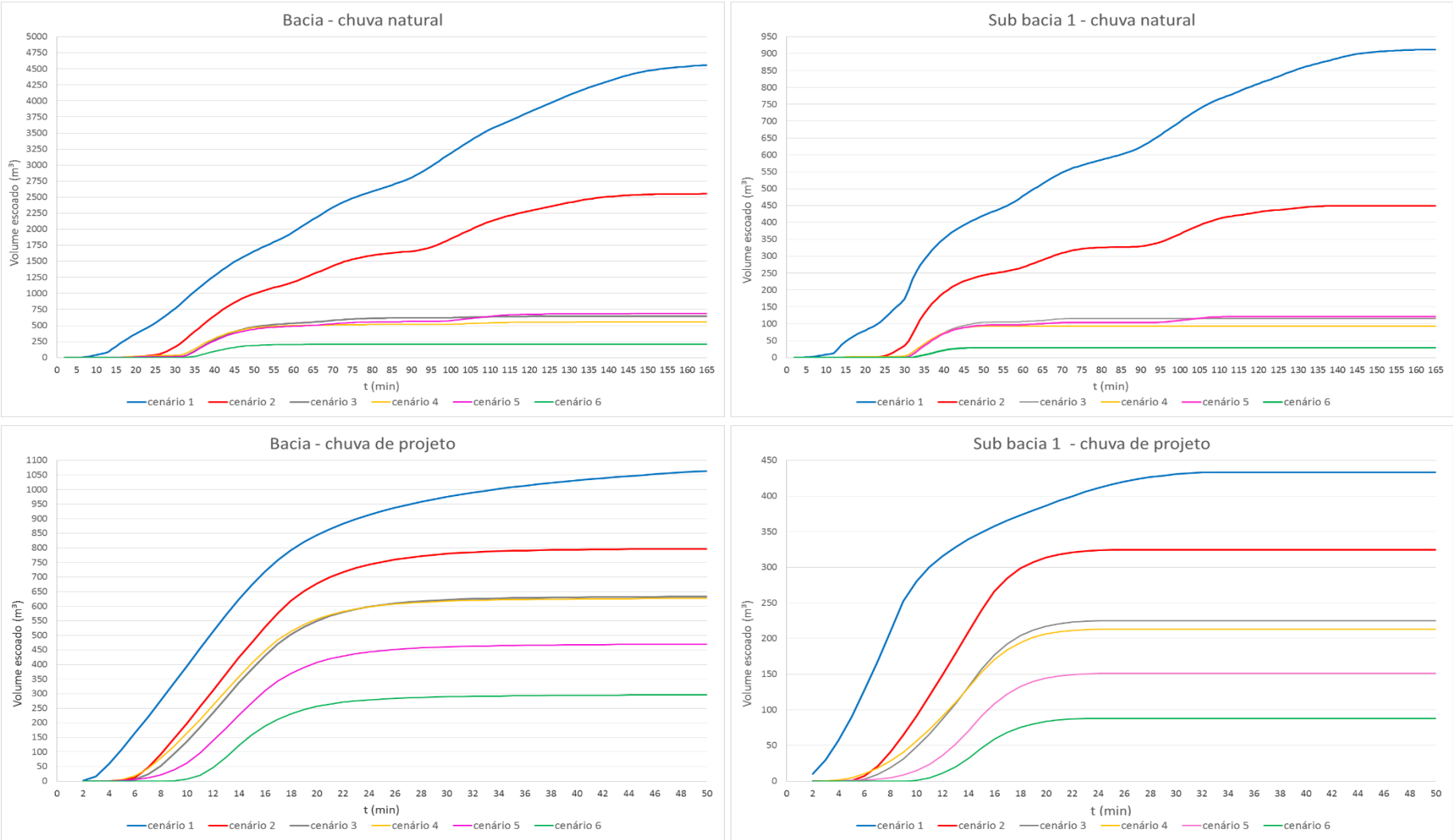


Figura 5 - Gráfico da produção de volume escoado (m³) da bacia e sub bacia na chuva natural e de projeto.

A presença das árvores, dos pavimentos permeáveis e das bacias de detenção em conjunto com um planejamento territorial destinado a atender à mobilidade urbana, ocasionou uma redução na produção de escoamento: na bacia, em evento natural, de 4470.59m³ e, em evento de projeto, de 878.75m³/s; na sub bacia, em evento natural, de 883.2m³ e, em evento de projeto, de 346.6m³. Quanto à redução da vazão de pico, esta foi: na bacia, em evento natural, de 3.42m³/s e, em evento de projeto, de 1.83m³/s; na sub bacia, em evento natural, de 0.45m³/s e, em evento de projeto, 0.39m³/s.

O retardo na ocorrência dos picos de escoamento foram: na bacia, em chuva natural, de 6 minutos e, em chuva de projeto, de 2 minutos; na sub bacia, em chuva natural, de 5 minutos e, em chuva de projeto, de 6 minutos. A sub bacia na chuva de projeto teve maior impacto no tempo ao pico, este comportamento pode ser justificado pelo fato de que as interferências benéficas dos LID foram significativas, também, em áreas pontuais.

Pesquisas relacionadas à aplicação de LID em bacias urbanas apontam: uma redução média de 998m³ do volume total escoado e de 2.6m³/s do pico de vazão em uma bacia de 67ha (SELBIG; BANNERMAN, 2008); de 280m³ do volume total e 4.8m³/s do pico de vazão para uma bacia com aproximadamente 10ha (BEDAN; CLAUSEN, 2009); de 364m³ do total escoado em uma bacia de 3ha (WANG et al., 2010); de 635m³ em uma bacia de 3ha (ZIMMERMAN et al., 2010); e, de 0.36 m³/s da vazão de pico e 227 m³ do volume total de uma bacia de 8.95ha (TAVANTI; BARBASSA, 2012). Ao confrontar os resultados aqui obtidos, com valores provenientes destas outras pesquisas, pode-se justificar a diversidade pelas técnicas de LID empregados e pelas características de ocupação urbana, de solo e hidrológicas que influenciam diretamente na redução do escoamento superficial de águas pluviais.

4. CONCLUSÕES

Os resultados provenientes das simulações realizadas nesta pesquisa, indicam que a aplicação de cada técnica de LID (arborização, pavimento permeável e bacias de detenção) de forma isolada, causa pouca redução na vazão e pouco retardo no tempo ao pico do escoamento. Individualmente, as interferências dos LID foram pouco expressivas,

entretanto, a sua relevância passa a ser percebida a partir do momento em que são associadas entre si e ao parcelamento do solo com maior mobilidade.

Através do planejamento urbano agregando todos os LID aqui pesquisados, conseguiu-se atingir a redução das vazões de pico de 4.19m³/s para 0.77m³/s, em relação ao projeto convencional; permitindo o armazenamento de um volume de água de 4470.59m³ nas estruturas de infiltração locais propostas; e retardar as vazões de pico em até 6 minutos.

A aplicação de técnicas de LID, como o aumento da cobertura arbórea, o aumento das áreas permeáveis nas vias públicas, nas calçadas e no interior dos lotes urbanos por meio da utilização de pavimentos permeáveis e, a construção de bacias de detenção em cada lote urbano, mostraram-se como soluções eficazes para a retenção do escoamento superficial de águas pluviais na fonte. Ainda que em eventos de baixa intensidade, estas soluções podem fornecer resultados favoráveis para a gestão de escoamento no sistema de origem, contribuindo, assim, para a redução do escoamento a jusante.

Os benefícios ocasionados pelos LID e arborização só são plenamente alcançados, à medida que o planejamento urbano o é favorável. Sem a destinação adequada de áreas para instalação de técnicas de LID, bem como para o plantio de árvores no meio urbano, estas alternativas de infraestrutura verde passam a ser inexequíveis.

A pesquisa propõe a construção de uma nova leitura do parcelamento do solo convencional, existente, na maioria, das cidades brasileiras, buscando alternativas eficientes para a redução da produção de escoamento superficial urbano, e corroborando, assim, com uma drenagem mais eficiente.

O presente estudo integra ao SWMM a inserção das interceptações arbóreas na simulação hidrológica, comprovando, desta forma, mais um benefício das árvores ao meio urbano. Instiga-se novas pesquisas ao uso das práticas de LID, a fim de subsidiar os municípios para que procurem alternativas para seus problemas ambientais, busquem a multidisciplinaridade em seus projeto e planejamento, poupem recursos públicos em ações de recuperação, priorizem a gestão das águas pluviais em prol da redução de enchentes e inundações.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) por conceder uma bolsa de estudo para o primeiro autor; Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo auxílio financeiro para a compra de equipamentos; e, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de Bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora - Nível 2 ao segundo autor.

6. REFERÊNCIAS

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M.; TRALDI, M. A. B. Interferências de espécies arbóreas na interceptação das águas pluviais urbanas - impactos no tempo de concentração. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, 2015. No prelo.

ANA, Agência Nacional De Águas - Brasil. HidroWeb: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

AHIABLAME, L. M.; ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. Effectiveness of low impact development practices: literature review and suggestions for future research. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 223, n. 7, p. 4253-4273, 2012.

BEDAN, E. S.; CLAUSEN, J. C. Stormwater runoff quality and quantity from traditional and low impact development watersheds. **Journal of the American Water Resources Association**, 4, p. 998–1008, 2009.

BRASIL. Lei n. 6.766, de 19 de Dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. **Brasília:** Presidência da República Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1979. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

CORBUSIER, Le; GIRAUDOUX, J. **A carta de Atenas**. Hucitec, 1993.

COFFMAN, L. S.; FRANCE, R. L. Low-impact development: an alternative stormwater management technology. **Handbook of water sensitive planning and design**, p. 97-123, 2002.

COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E. Q.; MENEZES FILHO, F. C. M. Curso Básico de Hidrologia Urbana: nível 3. Brasília: ReCESA, 130p., 2007.

GARCÍA HABA, E. **Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos.** Tese de mestrado. Universidad Politecnica de Valencia, Espanha. 2011.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia - Brasil. BDMEP, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 23 de novembro de 2014.

JANG, S. et al. Using SWMM as a tool for hydrologic impact assessment. **Desalination**, v. 212, n. 1, p. 344-356, 2007.

MOGLEN, G. E.; GABRIEL, S. A.; FARIA, J. A. A framework for quantitative smart growth in land development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 39, n. 4, p. 947–959, 2003.

PROSAB. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**/Antônio Marozzi Righetto (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2009.

ROCHA, M. E. da M. **A nova retórica do grande capital: a publicidade brasileira em tempos neoliberais.** Tese de Doutorado. São Paulo: USP, 2001.

SELBIG, W.R.; BANNERMAN, R.T. A comparison of runoff quantity and quality from two small basins undergoing implementation of conventional- and low-impactdevelopment (LID) strategies: Cross Plains, Wisconsin, water years 1999–2005. U.S. **Geological Survey Scientific Investigations Report**, 2008–5008, p. 57, 2008.

TAVANTI, D. R.; BARBASSA, A. P. Análise dos Desenvolvimentos Urbanos de Baixo Impacto e Convencional. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** v. 17, n.4, p. 17-28, 2012.

URUAÇU. Lei n. 1.050, de 28 de junho de 1999. Dispõe sobre a criação do Plano Diretor Integrado da cidade de Uruaçu e dá outras Providências. **Uruaçu:** Secretaria de Administração e Finanças. Câmara Municipal de Uruaçu. Estado de Goiás, 1999. Disponível em: http://ibeg.org.br/wp-content/uploads/2014/09/PLANO-DIRETOR-INTEGRADO-DA-CIDADE-DE-URUA%C3%87U.pdf. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

_____. Lei n. 29, de 30 de novembro de 1984. Institui o Código de Obras e dá outras Providências. **Uruaçu:** Câmara Municipal de Uruaçu. Estado de Goiás, 1984. Disponível em: http://ibeg.org.br/wp-content/uploads/2014/09/C%C3%93DIGO-DE-OBRAS.pdf. Acesso em: 05 de janeiro de 2015.

USEPA (US Environmental Protection Agency). Low impact development (LID). A literature review. **Washington, D.C: Office of Water**. EPA-841-B-00-005. 2000.

USEPA (US Environmental Protection Agency). **Our built and natural environments: a technical review of the interactions between land use, transportation, and environmental quality.** p. 4. 2001.

WANG, J.; ENDRENY, T. A.; NOWAK, D. J. Mechanistic simulation of tree effects in an urban water balance model. J. Am. Water Resour. Assoc., v. 44, n. 1, p. 75-80, 2008.

WANG, X. et al. Low impact development designintegrating suitability analysis and site planning for reduction of post-development stormwater quantity. **Sustainability**, 2(8), 2467–2482, 2010.

XIAO, Q.; McPHERSON, E. G. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. **Urban Ecosystems**, v. 6, n. 4, p. 291-302, 2002.

ZIMMERMAN, M.J. et al. Effects of selected low-impact-development (LID) techniques on water quality and quantity in the Ipswich River Basin, Massachusetts—field and modeling studies. U.S. **Geological Survey Scientific Investigations Report**, 2010–5007, p. 113, 2010.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o período de coleta de dados de 2012/2013, os eventos chuvosos tiveram mediana de 16.7mm de precipitação acumulada. Neste período, os valores medianos de interceptação foram: *Mangifera indica* – 8.0mm; *Pachira aquatica* - 7.4mm; *Licania tomentosa* – 7.2mm; e, *Caesalpinia peltophoroides* - 4.8mm. No período de coleta dados referente a 2013/2014, as precipitações medianas dos eventos chuvosos foram de 20.7mm, e os valores medianos para interceptação e escoamento pelo tronco, foram respectivamente: 5.7mm e 0.1mm para a *Mangifera indica*; 4.5mm e 0.2mm para a *Licania tomentosa*; e, 3.8mm e 0.3mm para a *Tabebuia ochracea*. O retardo mediano no início das chuvas ocasionado pelas espécies arbóreas foi de 3min. A presença dos indivíduos arbóreos propiciou, um atraso mediano no tempo ao pico de 3 minutos, uma redução do pico de vazão de 0.8 mm/min e do escoamento superficial de 4.7mm/min.

Através de simulações, com o cenário em que o planejamento urbano arborizado agregava todas as técnicas de LID neste estudo empregadas, conseguiu-se atingir a redução das vazões de pico em 3.42m³/s, em relação ao projeto convencional; permitindo o armazenamento de um volume de água de 4470.59m³ nas estruturas de infiltração locais propostas; e, retardar os picos de vazão em até 6 min.

Esta tese confirma a interferência das características individuais das espécies na capacidade de interceptação de chuva por suas copas e na redução do escoamento superficial, ressaltando a necessidade de definição criteriosa das espécies que comporão a arborização urbana; atesta a existência de variações nas interceptações em relação aos eventos chuvosos e durante suas ocorrências; bem como, aponta dados quantitativos de redução de volume precipitado e escoado pela presença do indivíduo arbóreo no meio urbano. A pesquisa comprovou que, isoladamente, a arborização e as técnicas de LID causam pouca redução no volume e vazão e, pouco retardo no tempo ao pico do escoamento, enquanto que somadas contribuem de forma significativa à drenagem.

O presente estudo se difere pela utilização de pluviógrafos e linígrados para a aferição de precipitações e escoamento superficial diretamente sob as copas de indivíduos arbóreos em ambiente urbano; e, agrega ao SWMM a inserção dos benefícios arbóreos na simulação hidrológica.

O estudo contribuiu para atualizar o corpo de conhecimento existente, fazendo novas ligações entre as áreas de pesquisa e disciplinas, em que a interação entre

hidrologia, drenagem pluvial, arborização e urbanismo colaboraram para a construção de uma nova leitura da arquitetura da paisagem existente e do desenho urbano, em busca de drenagens eficientes configurando, desta forma, uma perspectiva da formação de novos conhecimentos.

Um modelo para inserção das interceptações das árvores nas simulações do SWMM foi testado, demonstrando que esta metodologia pode ser replicada e ampliada por outras pesquisas em diferentes localidades e espécies arbóreas diversas. As reiterações dos benefícios arbóreos à drenagem urbana contribuem para a compreensão do seu papel essencial nos centros urbanos, bem como da necessidade de práticas que favoreçam o seu plantio em ambientes menos hostis.

Ressalta-se que a principal restrição à arborização urbana é a falta de espaço e do ponto de vista organizacional, a falta de recursos. As principais ameaças às árvores são o seu manejo indevido, os padrões de ocupação e parcelamento do solo desordenados e, a falta de consciência quanto aos benefícios arbóreos à drenagem urbana por parte dos gestores e atores envolvidos no processo de planejamento urbano.

Propõe-se o planejamento da arborização urbana em conjunto com o planejamento/parcelamento urbano. Mas, para que isso realmente ocorra, deve-se, antes de qualquer coisa, diagnosticar a situação existente (inventário quali-quantitativo da arborização pré-existente), conhecer as características dos vegetais que poderão ser utilizados na arborização futura e exigir, por meio legal, a aplicação de uma arborização eficiente.

Sendo assim, ratifica-se a necessidade de consideração dos efeitos da arborização sobre enchentes na definição de medidas de planejamento de uso e ocupação do solo. Aos gestores cabe o entendimento de que o enfretamento das questões relacionadas à degradação dos recursos hídricos, em áreas densamente urbanizadas, não será resolvido, apenas, com o aporte de obras emergenciais. A efetiva utilização de técnicas de Engenharia articuladas com iniciativas integradas de planejamento do uso do solo, alternativas de desenvolvimento de baixo impacto (incluindo arborização urbana) e gestão de recursos hídricos, poderá representar enormes avanços na conservação e proteção de mananciais e no controle de inundações urbanas.