AUMENTO DA VAZÃO DE PICO NA ÁREA DE IMPLANTAÇÃO DE UM LOTEAMENTO NO MUNICÍPIO DE CATALÃO-GOIÁS

Eliane Aparecida Justino [1] ; Heber Martins de Paula [2] & Antover Panazzolo Sarmento [3]

RESUMO – O aumento de ocorrência de enchentes nas cidades brasileiras nos últimos anos motivou o desenvolvimento deste trabalho, no qual é analisado o efeito do aumento da impermeabilização dos solos urbanos no crescimento do escoamento superficial. Para simular os avanços da urbanização foi escolhido um loteamento, pertencente ao Município de Catalão, no estado de Goiás, sobre a qual foram construídos e analisados dois cenários de ocupação distintos: pré- urbanização e pós-urbanização, sendo o cenário de pré-urbanização considerado como o de referência. As simulações mostraram que para um aumento de 74% de área impermeável, a vazão de pico sofre um aumento de 65,26% considerando a vazão de pico do cenário de pré-urbanização, o que mostra a necessidade do uso de medidas alternativas para o controle do escoamento superficial, já que, as áreas de baixadas do município já sofrem com a ocorrência de inundações.

ABSTRACT– The increase of the inundations occurrence in the Brazilian cities in the last years motivated the development of this work, in which the effect of the impermeable urban area increase in the runoff growth is analyzed. To simulate urbanization a watershed was chosen a neighborhood in Catalão city, located in the Goiás State. Then two different occupation sceneries were analyzed: pre-urbanization and post-urbanization, being the pre-urbanization scenery the reference scenery. The simulations showed that for an increase of 74% in the index of impermeable area, the peak discharge suffers an increase of 65,26,53% on the peak discharge of the pre-urbanization scenery, making necessary the use of alternative measures for controlling the runoff, since the low areas of the city already suffering with the inundations.

Palavras-Chave – aumento de vazão de pico; escoamento superficial.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente tornou-se frequente a ocorrência de inundações nos período de chuvas intensas. Tal problema não acontece somente no Brasil, mas no mundo inteiro, e vem aumentando a cada ano. As inundações urbanas são causadas pelos transbordamentos dos corpos hídricos e pelo aumento do escoamento superficial sob o substrato terrestre, provocado pelas alterações das condições dos solos, efeito direto das mudanças provocadas pelo aumento desordenado da malha urbana. Hoje, o Brasil é afetado diretamente pelas inundações, pois, além das causas citadas anteriormente, tem-se uma legislação e controle ambiental ainda bem falho neste aspecto. Sendo

1) Universidade Federal de Goiás - Avenida Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, Setor Universitário, Catalão/GO CEP: 75704-020 - Fax: (64) 3441-5300 – Fone☹64)3441-5325 – eliane_civ@hotmail.com
2) Universidade Federal de Goiás - heberdepaula@hotmail.com
3) Universidade Federal de Goiás- antoverps@hotmail.com

assim, os leitos maiores dos rios são densamente ocupados por construções, e os solos dos centros urbanos são cada vez mais impermeabilizados, impossibilitando a infiltração da água pluvial, o que expõe a comunidade a todos os riscos decorrentes das inundações.

As consequências diretas das inundações urbanas são perdas materiais, perdas de vidas humanas e diversos impactos ambientais. As perdas de vidas humanas, diferentemente dos danos materiais, não podem ser monetariamente mensuradas, constituindo-se, assim, no maior problema decorrente das inundações.

Durante os últimos anos a cidade de Catalão, no estado de Goiás, teve um crescimento considerável, e é por isso que Pedrosa (2001) chama a atenção para o fato de que expansão urbana desordenada e sem as devidas ofertas de infraestruturas adequadas, tem criado mecanismos que, futuramente, desencadeará processos de degradação ambiental e social acelerados, fazendo emergir áreas de riscos, comprometendo a qualidade de vida da população e podendo causar sérios danos materiais e sociais. Essa situação já acontece em varias cidades de grande e médio porte que não tiveram um estudo sobre o crescimento urbano, sendo este o caso de Catalão que está próximo de se tornar uma cidade de médio porte. Esse crescimento pode trazer desconforto alterando profundamente a vida da população, tanto de ordem ambiental como social. Uma cidade precisa de um planejamento e de uma importante participação das políticas publicas para que a cidade se transforme em um bom lugar para se viver.

As condições climáticas e ambientais de cidades com atividades urbanas tais como as de Catalão, ainda não são adequadamente pesquisadas, de maneira que não se pode determinar ainda verdadeiramente, os impactos da ação humana no espaço urbano. Isso dificulta a elaboração de políticas de (re)ordenamento da malha urbana, bem como não permite a elaboração de programas voltados para a melhoria das condições de qualidade de vida da população, quando isto depende, por exemplo, de se investigar os níveis de poluição do ar e da água, dentre outros. Pedrosa (2001) diz que deve ser dispensada atenção a isso por parte dos legisladores, administradores públicos e dos órgãos fiscalizadores ambientais.

Preocupado com estas questões, os autores deste trabalho vem desenvolvendo um Projeto de Pesquisa, no qual este trabalho faz parte, que tem o objetivo de analisar o sistema de drenagem de água pluvial do município de Catalão e traçar diretrizes para elaborações futuras de sistemas de drenagem eficientes, com o intuito de minimizar e preveni ocorrências de inundações. E sendo uma das principais causas de ocorrência de inundações o aumento da vazão de pico efeito direto do crescimento da malha urbana, que leva à impermeabilização do solo, outrora coberto por vegetações, analisaremos o aumento da vazão de pico na área de implantação do loteamento Alto da Boa Vista 1 no município, uma vez que, o escoamento superficial proveniente deste contribuirá para

o aumento da vazão nas áreas de baixadas do município, que já vem sofrendo com a ocorrência de inundações.

2. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Para realização deste trabalho foi escolhido para análise do aumento da vazão de pico o loteamento Alto da Boa Vista 1 com uma área total de 323.523,72 m^2, sendo 192.307,43 m^2 de área de lotes, 70.590,63 m^2 de sistema viário, 32.679,28 m^2 de área verde, 16720,14 de área institucional e 11.226,24 de área da faixa de proteção, este está apresentado na figura 1.

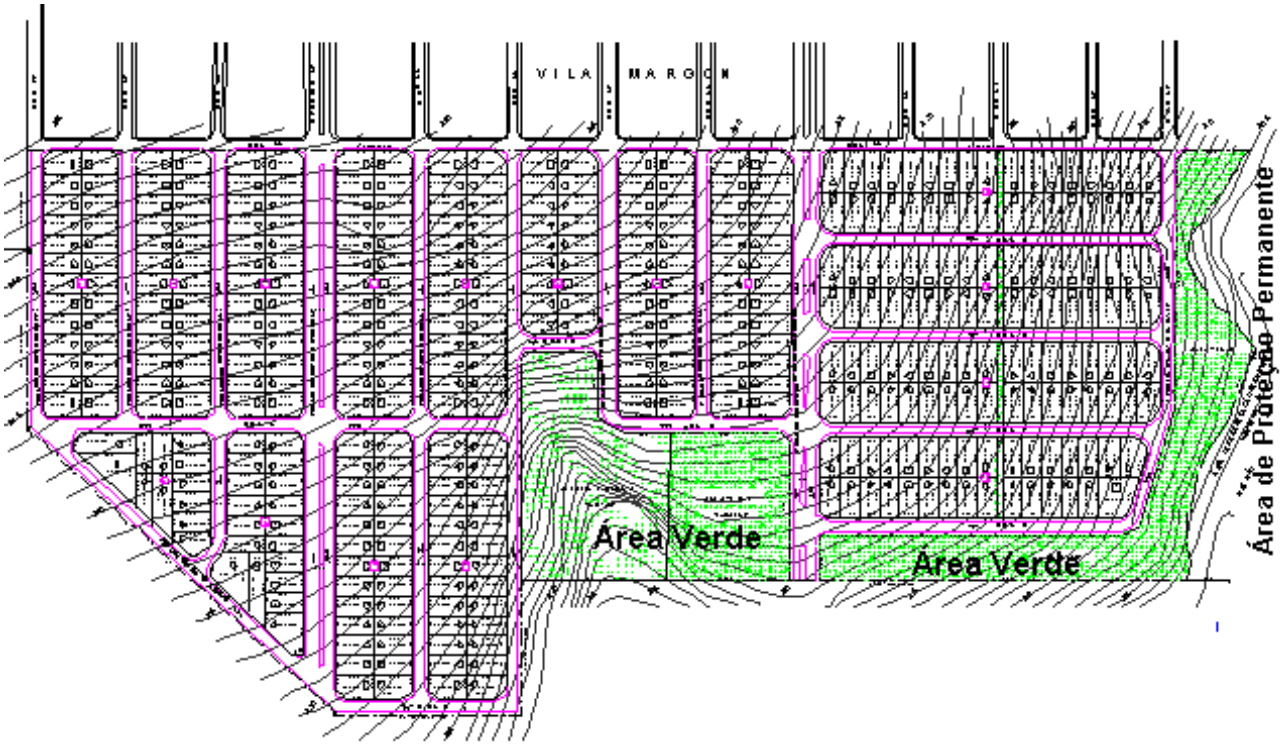

Figura 1 – Loteamento Alto da Boa Vista 1

O loteamento está implantado no município de Catalão, estado de Goiás, localizado à latitude 18° 9' 57" sul e à longitude 47° 56' 47" oeste e à altitude de 835 metros, pertencente a bacia hidrográfica do Ribeirão Pirapitinga, que tem uma área de 39,19 km^2. O loteamento se encontra atualmente em processo de ocupação. A figura 2 mostra a localização do loteamento dentro do município de Catalão.

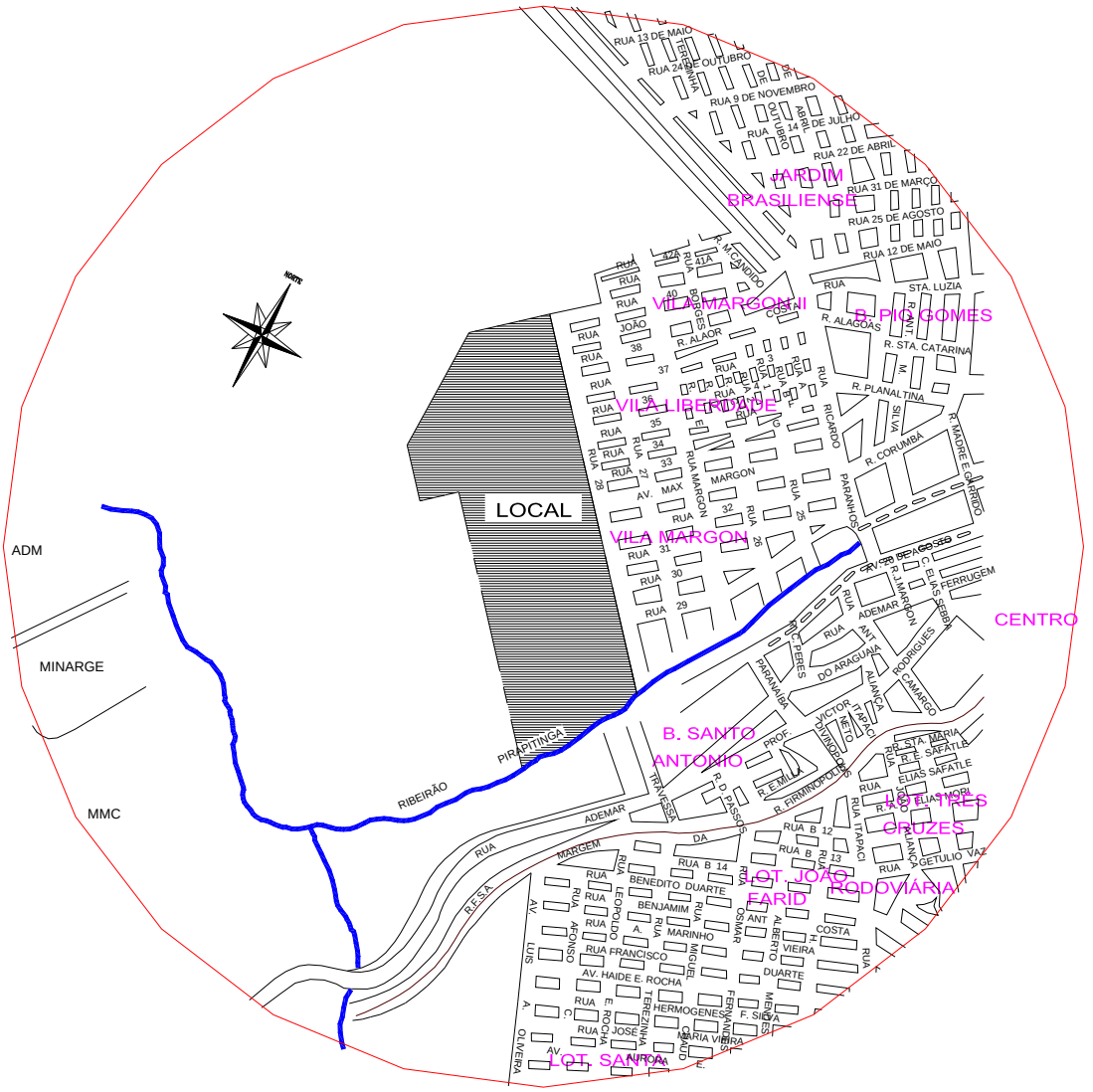

Figura 2 – Localização do loteamento Alto da Boa Vista 1 no município de Catalão

Considerando as etapas de realização do trabalho, primeiramente, foram determinados as características físicas e os parâmetros hidrológicos do local antes da implantação do loteamento, sendo este considerado o cenário de referência. Posteriormente, foram determinados as características físicas e os parâmetros hidrológicos do cenário já urbanizado, considerando o loteamento totalmente ocupado, seguindo a Lei nº 2.211, de 05 de agosto de 2.004, que dispõe sobre o uso e ocupação do solo urbano do município de Catalão-GO. Finalizando com a simulação do efeito da impermeabilização sob o aumento do escoamento superficial, através de hidrogramas de vazão, proposto pelo Método SCS TR-55 (Soil Conservation Service - Technical Release 55), apresentado em 1986 pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, através do Natural Resources Conservations Services (NRCS), esse método é empregado em bacias urbanas (até 250 km^2) para determinação do pico de descarga através de método gráfico.

2.1 Análise da Expansão da Malha Urbana

Nos últimos 10 anos na cidade de Catalão foram implantados 22 novos loteamento, sendo estes: Jardim Athenas, Jardim Ipê, Village, Jardim Europa, Maria Amélia, Parque Imperial, Eveline Nour 1 e 2, Estrela, Leblon, Flamboyant, Lis, Dona Matilde, Vale do Pirapitinga, Geraldo Evangelista, Santa Mônica, Vereda do Buritis, Dona Sofia, Parati, Eldorado, Margon 3 e Alto da Boa Vista 1. A criação destes loteamentos é consequência do grande crescimento econômico da cidade, reflexo da implantação de grande e micro empresas e também pelos novos cursos oferecidos pela Universidade Federal de Goiás.

A tabela 1 mostra um crescimento acelerado da cidade de Catalão nos últimos 10 anos, havendo um crescimento populacional de aproximadamente 55%, porém o número de membros por domicilio vem diminuindo, ou seja, a malha urbana da cidade tem crescido mais que o número de membros por domicílio. Isto reflete a vinda de novas mãos de obras para atender a demanda do município.

Tabela 1- Dados do crescimento populacional de Catalão

Ano	Habitantes	Membros por domicílio	Taxa de crescimento anual
1991	54525	3,85	3,05
1996	58453	3,58	1,40
2000	64347	3,41	1,87
2007	75623	3,18	2,45
2010	84396	3,12	2,75

Fonte: IBGE 2010

O crescimento da malha urbana reflete diretamente no setor de saneamento básico da cidade, sendo uns deles drenagem de água pluvial, que envolve alterações fluviométricas, vegetativas, topográficas, geotécnicas entre outras. Neste contexto, o município tem sofrido com a ocorrência de inundações, a figura 3 mostra o problema de inundação que ocorre no entorno da parte canalizada do corpo receptor de drenagem do município, o Ribeirão Pirapitinga.

Figura 3 – Ocorrência de inundações no município de Catalão-GO

.

2.2 Características do Local antes da Implantação do Loteamento

Em termo de vegetação o local de implantação do Loteamento Alto da Boa Vista 1 encontrava-se quase que exclusivamente no complexo dos cerrados: vegetação de cerrado típico, campo cerrado, cerradão e veredas. No que diz respeito à classificação do solo, segundo Predosa (2001) nesse local e em toda a porção central do município de Catalão, há uma área de predominância de cambissolos háplicos, em associação com vários tipos de latossolos, inclusive com uma pequena porção em que estes, na sua apresentação é vermelhos amarelos distrófica, com porcentagem de argila superior a 30%.

O número de curva de run-off CN do SCS, que também é chamado de coeficiente superficial ou número de deflúvio CN, pode ser determinado de três maneiras: características geológicas do solo; pesquisas feitas no país, nos estados ou cidades; e capacidade mínima de infiltração. Neste trabalho para determinação do CN, foram consideradas as características geológicas do solo. Como este apresenta teores de argila superior a 30%, segundo a classificação apresentada por Porto (1999) e Tucci (1993) apresentada na tabela 2, o local de implantação do loteamento encontra-se no grupo D.

Tabela 2 - Grupo de solos e características do solo

Grupo de solo	Características do solo
A	Solos arenosos com baixo teor de argila tota, inferior a 8%, naõ havendo rocha nem camada argilosas e nem mesmo densifica até a profundidade de 1,5 . O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1 % (PORTO, 1979 e 1995) Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila (TUCCIet all, 1993)
B	Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graça à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, a 1,2 e 1,5 %. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superfical (PORTO, 1979 e 1995) Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média (TUCCI et all. 1993)
C	Solos barrentos com teor total de argila de 20% a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundiadade 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem se de 40% e 1,5 . Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que o Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade (PORTO, 1979 e 1995) Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capaciadade de infitração abaixo da mpeda, contendo percentagaem considerável de argila e pouco profundo (TUCCI et all, 1993)
D	Solos argilosos (30% a 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como do gurpo B, mas com camada argilosa quase impermeável ou horizonte de seixos rolados (PORTO, 1979 e 1995) Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capaciade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial (TUCCI et all, 1993)

Fonte: (Porto, Setzer 1979) e (Porto, 1995) e (Tucci et all, 1993) apud Tomaz, 2002

Determinado o grupo do solo em que pertence o local, procedeu-se a determinação do CN, levando-se em consideração a cobertura do solo, segundo tabela 3, sendo esta pastagem ou terreno em más condições, tem-se CN igual a 89.

Tabela 3 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Utilização ou cobertura do solo		**Grupo do solos**			
		A	**B**	**C**	**D**
Zonas cultivadas: sem conservação do solo		72	81	88	91
Zonas cultivadas: com conservação do solo		62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios em boas condições		39	61	74	80
Prados em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Florestais: cobertura boa		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfes, cemitérios, boas condições					
Com relva em mais de 75% da área		39	61	74	80
Com relva de 50% a 75% da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residendias					
Lotes de (m^2)	% média de impermeável				
< 500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84
Parques de estaconamentos, telhados, viadutos, etc		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltamento e com drenagem de água pluviais		98	98	98	98
Paralelepípedos		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Fonte: Tucci et al. apud Tomaz (2002)

O período de retorno considerado é o de 5 anos, visto que, no local analisado, após a implantação do Loteamento, a única preocupação que se teve em termo de drenagem de água pluvial foi estabelecer declividades apropriadas nos leitos viários, portanto sendo uma medida a nível de microdrenagem.

O tempo de concentração foi calculado utilizando a Formula Califórnia Culverts Practice, apresentado por Freitas (1984) expressa por:

$$t_c = 57.L^{1,155}H^{-0,385} \quad (1)$$

Sendo t_c tempo de concentração (minutos), L comprimento do talvegue (km) e H diferença de cota (m).

Tem-se 976,55 m de comprimento de talvegue e 54 metros de diferença de cota, portanto:

$$t_c = 57.0{,}97655^{1{,}155}54^{-0{,}385} = 11{,}94 \text{ minutos}$$

2.3 Característica do Local Após a Implantação do Loteamento

O cenário urbanizado foi elaborado com intuito de retratar a ocupação prevista para o loteamento a partir da a Lei nº 2.211, de 05 de agosto de 2.004, que dispõe sobre o parcelamento e zoneamento do uso e ocupação do solo do Município de Catalão, no estado de Goiás. Partindo do critério do plano Diretor de Desenvolvimento e Urbanização (PDDU), que estabelece para as Unidades Territorial Residenciais (UTR) da Zona Residencial tipo 2 (ZR2) uma taxa de impermeabilização dos lotes de 80 %.

Com isto, pode-se determinar o total de impermeabilização da área após a implantação do Loteamento, como apresentado na tabela 4.

Tabela 4 – Levantamento da área de impermeabilização do Loteamento Alto da Boa Vista 1

Tipo de Uso	Área Ocupada (m^2)	Impermeabilização (%)	Área Impermeabilizada (m^2)
Área de lotes	192.307,43	80	153.845,94
Sistema viário	70.590,63	100	70.590,63
Área verde	32.679,28	0	0
Área institucional	16.720,14	80	13.376,11
Faixa de Proteção	11.226,24	0	0
Total	323.523,72	0,74	237.812,68

Quando a área apresenta porcentagem de impermeabilização maior que 30% da área total, o valor de CN é dado pela soma composta do coeficiente da área permeável, CNp, e da área impermeável, com o peso correspondente da fração da área impermeável, este coeficiente é chamado de CNw composto. Na área impermeável, o número CN do solo é 98, e a expressão para obtenção de CNw é dada por:

$$CN_w = CN_p(1 - f) + f(98) \quad (2)$$

Sendo CNp é igual 89, já determinado no item 2.2 , e f = fração da área impermeável do loteamento em estudo, tem-se:

$$CN_w = 89(1 - 0{,}74) + 0{,}74(98) = 96$$

O tempo de concentração considerando a área após a implantação do Loteamento será calculado pela expressão determinado por Germano *et al*. (1998), que estabelece correlações entre o comprimento do talvegue e a percentagem de impermeabilização da área analisada, dada por:

$$tc = \frac{18{,}628.\,L_{tal}{}^{0{,}882}}{IMP^{0{,}272}} \qquad (3)$$

Sendo tc o tempo de concentração em minutos, Ltal o comprimento do talvegue em Km e IMP a porcentagem de área impermeável, tem-se:

$$tc = \frac{18{,}628.\,(0{,}97655)^{0{,}882}}{(74)^{0{,}272}} = 5{,}65\ minutos$$

2.4 Análise das Relações Intensidade-Duração-Frequência de Chuvas

Na análise das relações intensidade-duração-frequência foram examinados os valores máximos das precipitações intensas de Catalão, considerando o Posto Pluviométrico de Catalão, latitude 18º11'00" e longitude 47º57'00', localizado na Bacia do Rio Pirapitinga, com informações pluviométricas do ano de 2000 à 2009. Esta análise tem como propósito atualizar a equação de chuvas do município, empregando as séries anuais, e utilizando-se o método das relações de durações pela Distribuição de Gumbel, seguindo o trabalho de Tomaz (2002). A tabela 5 apresenta os dados de precipitações máximas diárias anuais.

Tabela 5 – Precipitações máximas diárias anuais de Catalão-GO

PRECIPITAÇÃO MÁXIMA DIÁRIA ANUAL (mm)										
	Anos									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Máxima	69	73	83,1	45,5	93,8	72,2	69,4	58,7	58,7	70,4
Média	**69,38**									
Desvio	**13,35**									

A distribuição de Gumbel, segundo Righeto (1998) tem como parâmetros:

$$\beta = 6^{0{,}5}S/\pi \qquad (4)$$

$$\alpha = (\mu - 0{,}577.\,\beta) \qquad (5)$$

Sendo S o desvio padrão igual a 13,35 mm e μ a média igual a 69,38 mm, obteve-se, os parâmetros α e β, α = 63,3 e β = 10,41.

Segundo Tomaz (2002) na distribuição de Gumbel, a precipitação de um dia é obtida pela relação:

$$\frac{P(1dia;T)-\alpha}{\beta} = \ln\left[\ln\left(1/F\left(P(dia;T)\right)\right)\right] \quad (6)$$

Sendo T o período de retorno e ln o logaritmo neperiano.

Como os valores de α e β são constantes, pode-se calcular os valores de P(1 dia, T) para período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, e 100 anos. Os valores encontrados estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Determinação das precipitações máximas de 1 dia usando Distribuição de Gumbel

Variáveis	**Valores obtidos usando variação de Gummbel**							
Beta (b)	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41	10,41
Alfa (a)	63,37	63,37	63,37	63,37	63,37	63,37	63,37	63,37
Período de retorno T	2,00	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00	50,00	100,00
F (1 dia;T)	0,50	0,80	0,90	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99
1/(F (1 dia; T)	2,00	1,25	1,11	1,07	1,05	1,04	1,02	1,01
ln (F (1 dia;T)	0,69	0,22	0,11	0,07	0,01	0,04	0,02	0,01
P(1 dia;T) (mm)	67,19	78,98	86,80	91,20	94,29	96,67	103,00	111,26

Como existe relação de qualquer chuva com a chuva de 1 (um) dia, pode se encontrar a altura pluviométrica para outros valores de duração. As precipitações encontradas, utilizando-se as relações entre durações de chuvas, estão apresentadas na tabela 7.

Tabela 7 – Altura pluviométrica média da cidade de Catalão

Duração da chuva	Relação entre chuvas	Altura puviométrica média de Catalão (mm)							
		Período de retorno (anos)							
		2	5	10	15	20	25	50	100
5 minutos	0,34	11,04	12,98	14,27	14,99	15,50	15,89	17,09	18,29
10 minutos	0,532	17,28	20,31	22,32	23,46	24,25	24,86	26,75	28,61
15 minutos	0,693	22,51	26,46	29,08	30,55	31,59	32,39	34,84	37,27
20 minutos	0,817	26,53	31,20	34,28	36,02	37,24	38,18	41,07	43,94
25 minutos	0,918	29,81	35,05	38,52	40,48	41,85	42,90	46,15	49,38
30 minutos	0,74	32,48	38,18	41,96	44,09	45,58	46,73	50,27	53,79
1 hora	0,573	43,89	51,60	56,70	59,58	61,60	63,15	67,94	72,69
2 horas	1,119	49,11	57,74	63,45	66,67	68,93	70,67	76,02	81,33
6 horas	0,78	59,74	70,24	77,19	81,11	83,85	85,97	92,48	98,94
8 horas	0,821	62,88	73,93	81,24	85,37	88,26	90,48	97,34	104,14
10 horas	0,855	65,49	76,99	84,61	88,91	91,91	94,23	101,37	108,46
12 horas	0,883	67,63	79,51	87,38	91,82	94,92	97,32	104,69	112,01
24 horas	1,14	76,59	90,05	98,96	103,98	107,50	110,21	118,56	126,85
1 dia *	1	67,19	78,99	86,80	91,21	94,30	96,68	104,00	111,27

*Chuva de um dia obtida da distribuição de Gumbel

A intensidade média de precipitação foi obtida do quociente entre a altura pluviométrica e a duração da chuva. Os valores encontrados estão representados na tabela 8.

Tabela 8 - Intensidade média de precipitação da Estação Climatológica da Cidade de Catalão

Duração da chuva	Relação entre chuvas	Intensidade pluviométrica média de Catalão (mm/minuto)							
		Período de retorno (anos)							
		2	5	10	15	20	25	50	100
5 minutos	0,34	2,21	2,60	2,85	3,00	3,10	3,18	3,42	3,66
10 minutos	0,532	1,73	2,03	2,23	2,35	2,43	2,49	2,67	2,86
15 minutos	0,693	1,50	76,00	1,94	2,04	2,11	2,16	2,32	2,48
20 minutos	0,817	1,33	1,56	1,71	1,80	1,86	1,91	2,05	2,20
25 minutos	0,918	1,19	1,40	1,54	1,62	1,67	1,72	1,85	1,98
30 minutos	0,74	1,08	1,27	1,40	1,47	1,52	1,56	1,68	1,79
1 hora	0,573	0,73	0,86	0,95	0,99	1,03	1,05	1,13	1,21
2 horas	1,119	0,41	0,48	0,53	0,56	0,57	0,59	0,63	0,68
6 horas	0,78	0,17	0,20	0,21	0,23	0,23	0,24	0,26	0,27
8 horas	0,821	0,13	0,15	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20	0,22
10 horas	0,855	0,11	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18
12 horas	0,883	0,09	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16
24 horas	1,14	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09
1 dia *	1	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08

Para estabelecer a relação analítica, denominada equação de chuva, foram utilizados os resultados dos cálculos de análise de frequência, encontrados na tabela 8.

Num diagrama bilogarítmico, com as durações na abscissa e intensidades na ordenada, obteve-se uma família de curva, uma para cada período de retorno, apresentado na figura 4.

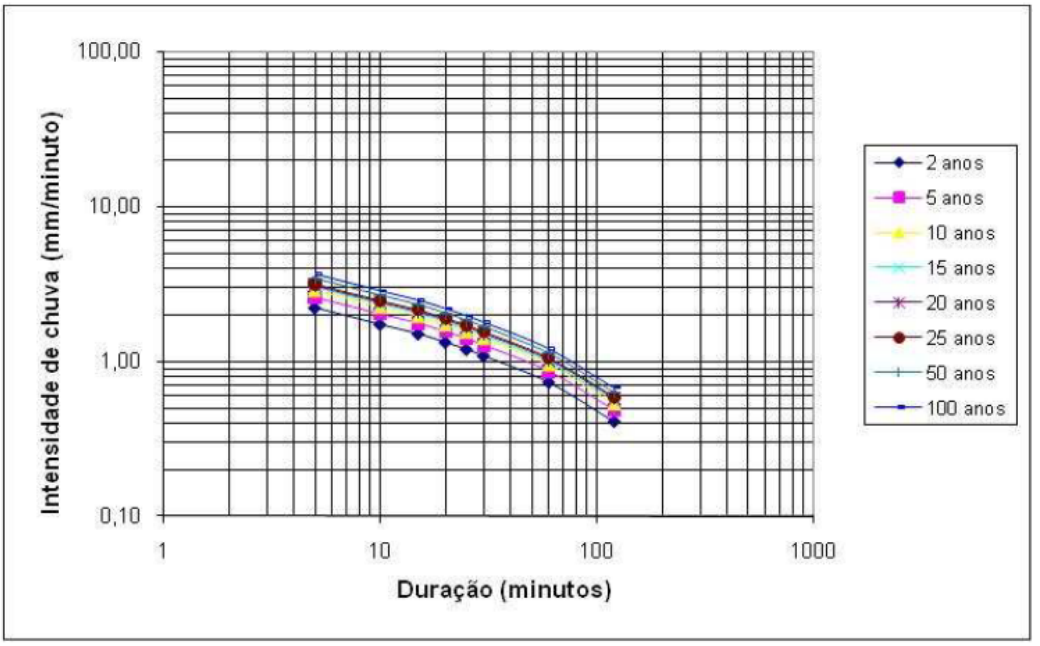

Figura 4 – Curvas intensidade-duração

Segundo Wilken (1978), quando se verifica que as curvas correspondentes aos vários períodos de retorno têm todas a mesma forma geral, pode-se obter uma formula empírica que representa esta família de curvas. Como o diagrama obtido é bilogarítmico, se as linhas se apresentassem retas, cada uma delas corresponderia a uma equação da forma geral:

$$\log i = \log A + b.\log t \qquad (7)$$

As curvas obtidas se apresentam mais acentuadas nos trechos referentes às menores durações, o que impede, entretanto o uso de uma equação tão simples. Portanto, há necessidade de uma correção, no termo referente à duração, sendo assim, a equação teria a forma geral seguinte:

$$\log i = \log A + b.\log (t + c) \qquad (8)$$

Portanto existe a necessidade de determinar os valores de A, b e c, para obter a equação de chuva. Realizados os procedimentos estatísticos convenientes determinou-se a equação de chuva atualizada para o município de Catalão-GO, expressa por:

$$i = \frac{65T_R^{0,117}}{(t+25)^{1,03}} \quad (9)$$

Onde: i é intensidade de chuva em mm/minutos e t é duração da chuva em minutos.

Esta equação foi comparada com a Equação de chuva para a cidade de Catalão determinada por Denardin e Freitas (1982), expressa por:

$$i = \frac{1317,3T_R^{0,16}}{(t+12)^{0,82}} \quad (10)$$

Onde: i é intensidade de chuva em mm/horas e t é duração da chuva em horas.

A verificação do erro foi realizada pela expressão:

$$E = \frac{|i_{obs.} - i_{Cal}|}{i_{obs.}} x100 \quad (11)$$

Onde: E é o erro em porcentagem; i_{Obs}. é a intensidade de chuva observada e i_{Calc}. é intensidade de chuva calculada.

Os valores da intensidade de chuva calculada pelas equações (7) e (8) estão apresentados na tabela 9.

Tabela 9 – Intensidade de precipitação calculada

Duração da chuva (minuto)	Intensidade de precipitação (mm/min)															
	Período de Retorno															
	2		5		10		15		20		25		50		100	
	Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.	
	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010
5	2,40	2,17	2,78	2,41	3,11	2,62	3,32	2,74	3,47	2,84	3,60	2,91	4,02	3,16	4,49	3,42
10	1,94	1,88	2,25	2,09	2,52	2,27	2,68	2,38	2,81	2,46	2,91	2,52	3,26	2,74	3,64	2,97
15	1,64	1,66	1,90	1,84	2,13	2,00	2,27	2,10	2,38	2,17	2,46	2,23	2,75	2,42	3,07	2,62
20	1,43	1,48	1,66	1,65	1,85	1,79	1,97	1,88	2,07	1,94	2,14	1,99	2,39	2,16	2,67	2,34
25	1,27	1,34	1,47	1,49	1,64	1,62	1,75	1,70	1,84	1,76	1,90	1,80	2,13	1,96	2,37	2,12
30	1,14	1,23	1,33	1,36	1,48	1,48	1,58	1,55	1,65	1,60	1,71	1,65	1,92	1,79	2,14	1,94
60	0,74	0,81	0,85	0,90	0,95	0,97	1,02	1,02	1,06	1,05	1,10	1,08	1,23	1,17	1,38	1,27
120	0,45	0,48	0,52	0,53	0,58	0,58	0,62	0,60	0,65	0,63	0,67	0,64	0,75	0,70	0,84	0,76

Os erros correspondentes a intensidades de chuva observadas e as calculada estão apresentados na tabela 10 e visualização de suas aproximações para tempo de retorno de 25 anos estão apresentadas na figura 5.

Tabela 10 – Valores dos erros

Duração da chuva (minuto)	Erro (%)															
	Período de Retorno															
	2		5		10		15		20		25		50		100	
	Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.		Calc.	
	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010	1982	2010
5	8,8	1,0	7,2	9,0	8,9	10,2	10,6	10,4	12,1	10,4	13,3	10,3	17,6	9,6	22,9	8,3
10	12,6	4,8	10,9	0,8	12,8	2,10	14,5	2,3	16,0	2,3	17,2	2,2	21,7	1,4	27,1	0,02
15	9,6	5,1	8,0	0,4	9,7	1,85	11,4	2,0	12,9	1,9	14,1	1,8	18,5	1,0	23,7	0,3
20	7,8	5,3	6,2	0,3	8,0	1,6	9,6	1,8	11,0	1,8	12,3	1,6	16,6	0,8	21,7	0,5
25	6,5	5,1	4,9	0,5	6,6	1,8	8,3	2,0	10,0	1,9	10,9	1,8	15,1	1,0	20,2	0,3
30	5,7	5,0	4,1	0,6	5,9	1,9	7,5	2,1	8,9	2,1	10,1	2,0	14,3	1,2	19,4	0,2
60	0,6	0,8	1,0	6,1	0,7	7,3	2,3	7,50	5,6	7,4	4,7	7,3	8,7	6,6	13,6	5,3
120	9,4	2,3	7,7	3,1	9,5	4,4	11,2	4,6	12,6	4,6	13,8	4,5	18,2	3,7	23,5	2,4

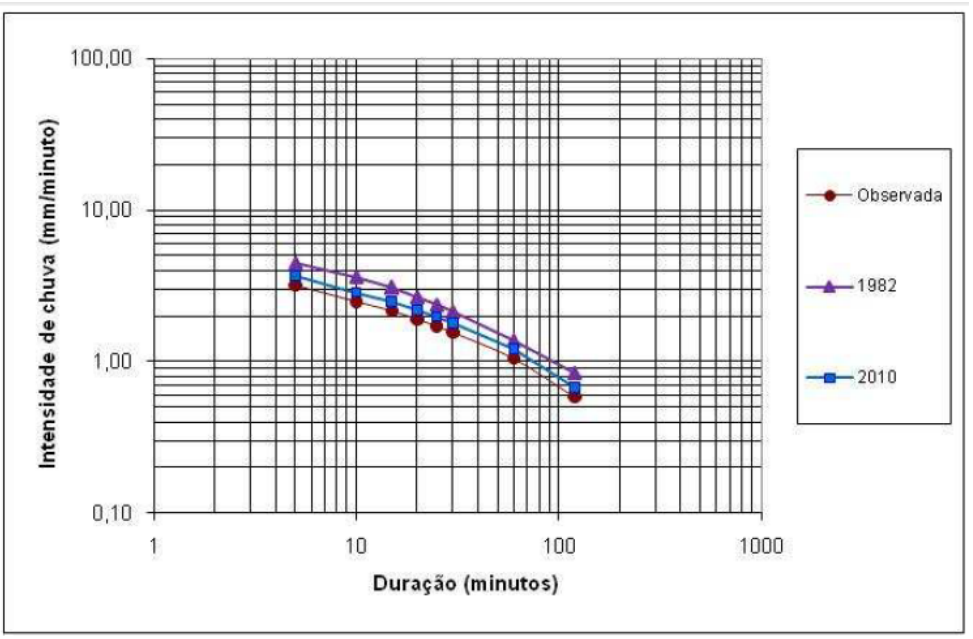

Figura 5 – Comparação das intensidades de chuva para o período de retorno de 25 anos

Pelos valores encontrados na verificação de erro da equação de chuvas do município de Catalão-GO, para durações menores ou iguais a 120 minutos, tem-se 10,4% como maior valor de erro para equação de chuva atualizada, enquanto que, para a equação determinada no ano de 1982 o erro é 27,10%, o que mostra a confiabilidade da equação atualizada. Esta equação se mostra eficiente para utilização em dimensionamentos de sistema drenagem de água pluvial, uma vez que, os coeficientes de seguranças adotados permitem um erro de até 12%.

2.5 Método para Quantificação do Escoamento em Áreas Urbanas

Em 2000, Chin apud Tomaz (2002) elaborou equações matemáticas que substituíram os gráficos usados no TR-55. O método do SCS TR-55 é apresentado analiticamente pela expressão:

$$Qp = Qu.A.Q.Fp \quad (12)$$

Onde: Qp – vazão de pico (m^3/s); Qu – pico de descarga unitária ($m^3/s/cm/km^2$); A – área da bacia (km^2); Q – runoff, ou seja, o escoamento superficial de uma chuva de 24 horas (cm); Fp – fator adimensional de ajustamento devido as poças d'águas fornecido pela tabela 11.

Tabela 11- Fator adimensional de ajustamento devido as poças d'água

Porcentagem da água de chuva que fica em poças de d'água ou em brejos (%)	Fp
0,0	1,00
0,2	0,97
1,0	0,87
3,0	0,75
5,0*	0,72

(*) Se a porcentagem de água de chuva retida em poças e brejos for maior que 5%, considerações especiais devem ser tomadas para se achar a chuva excedente

Fonte: Chin apud Tomaz (2002)

O pico de descarga unitária Qu é fornecido pela equação abaixo:

$$\log(Qu) = C_0 + C_1.\log tc + C_2\,(\log tc)^2 - 2{,}366 \quad (13)$$

Sendo: C_0, C_1, C_2 constantes obtidas da tabela 12; tc – tempo de concentração (h), sendo que: $0{,}1 \leq t_c \leq 10$ h.

Os tipos de chuvas I, IA, II e III são os tipos de chuvas das quatro regiões que foi dividido os Estados Unidos. Para o Brasil adota-se o tipo de chuva II.

Tabela 12 - Valores de C_0, C_1 e C_2, obtidos em função do tipo de chuva e da relação Ia/P

Tipo de chuva	Ia/P	C_0	C_1	C_2	Tipo de chuva	Ia/P	C_0	C_1	C_2
I	0,10	2,306	-0,514	-0,117	II	0,10	2,553	-0,615	-0,164
	0,20	2,235	-0,504	-0,089		0,30	2,465	-0,622	-0,117
	0,25	2,182	-0,485	-0,066		0,35	2,419	-0,615	-0,088
	0,30	2,106	-0,457	-0,028		0,40	2,364	-0,599	-0,056
	0,35	2,003	-0,408	0,020		0,45	2,292	-0,570	-0,023
	0,40	1,877	-0,322	0,058					
	0,45	1,763	-0,156	0,004	III	0,10	2,473	-0,518	-0,171
	0,50	1,679	-0,069	0,0		0,30	2,396	-0,512	-0,132
						0,35	2,355	-0,497	-0,120
IA	0,10	2,032	-0,316	-0,137		0,40	2,307	-0,465	-0,110
	0,20	1,920	-0,282	-0,070		0,45	2,248	-0,413	-0,115
	0,25	1,838	-0,255	-0,026		0,50	2,178	-0,368	-0,095
	0,30	1,727	-0,198	0,026					
	0,50	1,634	-0,091	0,0					

Fonte: Chin apud Tomaz (2002)

A relação Ia/P encontrada na tabela 12 é a relação entre a abstração inicial em milímetros, que representa todas as perdas antes que comece runoff (escoamento superficial), e o valor de precipitação para chuva de 24 horas. O valor de Ia = 0,2 S, sendo S o potencial máximo de retenção em milímetros após começar runoff. O Valor de S é função do número da curva CN.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (14)$$

O valor da chuva excedente ou runoff ou escoamento superficial é:

$$Q = \frac{(P - 0{,}2S)^2}{(P + 0{,}8S)} \quad (15)$$

Segundo Tomaz (2002), para valores de Ia/P < 0,10 deverá se usado o valor Ia/P = 0,10 e para valores Ia/P > 0,50 deverá ser usado Ia/P = 0,50. O método do SCS determina o hidrograma de cheia das bacias de drenagem. Este método basea-se no conceito de hidrograma unitário, que é o hidrograma do escoamento direto, causado por uma chuva efetiva unitária, ou seja, uma chuva de 1 mm ou 1 cm. Usando a tabela 13, onde tem-se os valores t/t_p e Q/Q_p, obteve-se os valores da variação da vazão com o tempo, e com estes, foi montando o hidrograma unitário sintético.

Tabela 13- Hidrograma unitário curvilíneo adimensional do SCS

t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp	t\tp	Q/Qp
0	0,000	0,7	0,820	1,4	0,780	2,2	0,207	3,6	0,021
0,1	0,030	0,8	0,930	1,5	0,680	2,4	0,147	3,8	0,015
0,2	0,100	0,9	0,990	1,6	0,560	2,6	0,107	4,0	0,011
0,3	0,190	1,0	1,000	1,7	0,460	2,8	0,077	4,5	0,005
0,4	0,310	1,1	0,990	1,8	0,390	3,0	0,055	5,0	0,000
0,5	0,470	1,2	0,930	1,9	0,330	3,2	0,040		
0,6	0,660	1,3	0,860	2,0	0,280	3,4	0,029		

Como o hidrograma unitário apresenta a vazão por unidade altura (cm), é preciso determinar o valor do escoamento superficial ou chuva excedente. Para determinação da chuva excedente obtida do número de curva CN, foi usado o hietograma conforme Huff 1º Quartil com 50% de probabilidade, já que a distribuição de chuva de Catalão-GO, aproxima muito deste. Considerando a precipitação de 2 horas de duração, que é a que mais tem efeito no município, para o período de retorno de 5 anos, portanto, a altura de chuva conforme tabela 7 é de 57,74 mm.

E, finalmente o hidrograma de cheia é determinado pelo processo chamado de convolução, processo segundo o qual a chuva de projeto é combinada com a função de transferência, para

produzir o hidrograma do escoamento superficial. Neste processo o hidrograma unitário é multiplicado pela chuva excedente, no tempo específico.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A simulação do escoamento no cenário urbanizado foi realizada através do hidrograma resultante do aumento da impermeabilização do solo do loteamento Alto da Boa Vista 1, que passou de um local outrora sem impermeabilização para um local com 74% de impermeabilização, conforme tabela 4.

Para a área de loteamento de 323.523,72 m^2 têm-se os tempos de concentração de 11,94 minutos e 5,65 minutos para os cenários de pré-urbanização e pós-urbanização, respectivamente. Considerando o cenário pré-urbanizado, houve um aumento significativo da vazão de pico no hidrograma do cenário pós-urbanização. A tabela 14 apresenta o resumo do resultado obtido na simulação, na qual foi encontrado aumento sobre a vazão de pico de 65,26% e uma antecipação no pico de vazão de 5 minutos, considerando o cenário de pré-urbanização.

Tabela 14 – Resultado das simulações dos cenários sem a estrutura de controle

Cenários	Vazão de Pico (m^3/s)	Acréscimo de Vazão de Pico	Tempo de Pico (minutos)	Antecipação do Tempo de Pico (minutos)
Pré-urbanização	8,52	-	11	-
Pós-Urbanização	14,08	65,26	6	5

Utilizando-se o Método SCS, apresentado no item 2.5, foram determinados os hidrogramas de cheias para os cenários de pré-urbanização e pós-urbanização, apresentados na figura 6.

A figura 6 apresenta a comparação dos hidrogramas resultantes da simulação nos dois cenários, onde se pode notar claramente o aumento da vazão de pico e antecipação do pico de vazão, o que tem como causa o aumento de impermeabilização da área de implantação do loteamento Alto do Boa Vista 1.

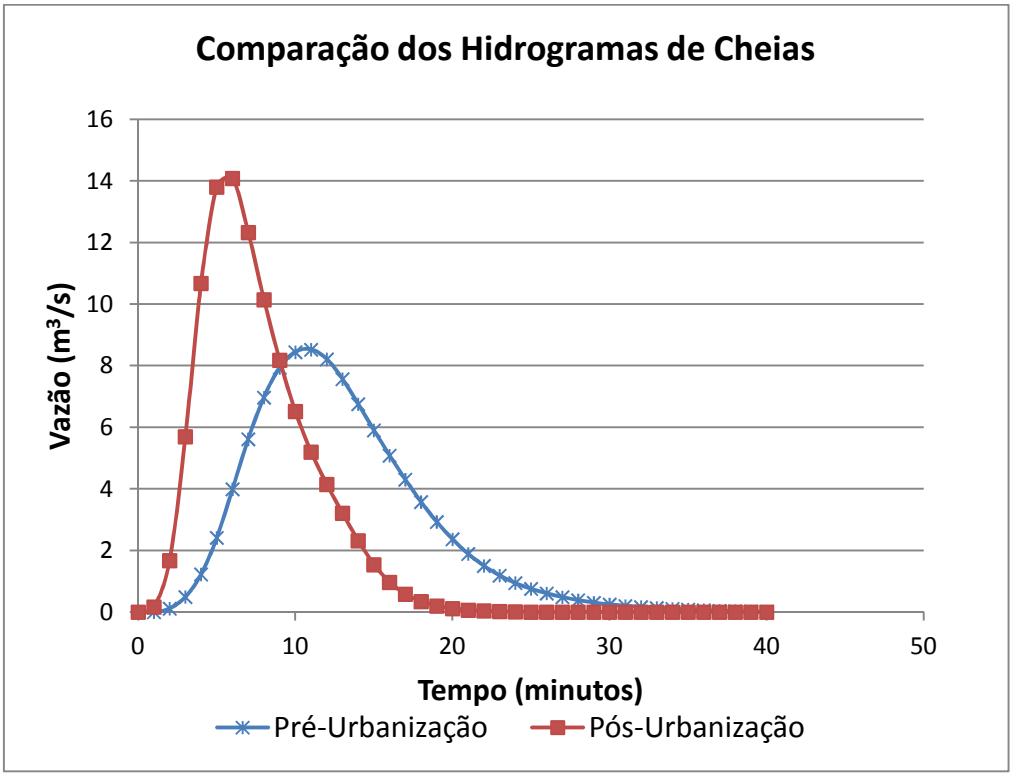

Figura 6 – Efeito da impermeabilização sobre a vazão de pico

4. CONCLUSÕES

Neste estudo estimou-se o efeito impermeabilização do solo sobre as vazões de pico, quando da ocorrência de eventos de precipitação intensa na área de implantação do loteamento Alto da Boa Vista. O resultado obtido na simulação dos cenários mostrou que para uma variação de 74% no índice impermeabilização da áreas, a vazão de pico sofre um aumento de até 65,26% sobre a vazão de pico do cenário de referência, ou seja, do cenário de pré-urbanização. Diante desses acréscimos e sabendo que a parte baixa do município de Catalão, que receberá este escoamento, já sofre com a ocorrência de inundações, percebe-se que a situação tende a agravar, afirmando a necessidade da utilização de medidas alternativas para o controle desta cheia.

Aplicando se o estudo realizado neste trabalho na fase de projeto de um loteamento, pode-se determinar qual sistema de drenagem de água pluvial é mais adequado, bem como, quando aplicado em uma bacia hidrográfica já urbanizada prever possibilidades de soluções para os problemas de inundações.

Este trabalho está sendo estendido a nível de bacia hidrográfica.

AGRADECIMENTO – Agradecemos a Universidade Federal de Goiás pelo apoio técnico e financeiro.

BIBLIOGRAFIA

a) Livros

FREITAS, A. J. Tempo de Concentração. Belo Horizonte. SUDESCAP, 1984.
PORTO, R. M. Hidráulica Básica. São Carlos – SP. Publicação EESC – USP, 1999.
THOMAZ, P. Cálculo hidrológico e hidráulico para obras municipais. Piscinões, galerias, bueiros, canais, Método SCS, Denver, Santa Bárbara Racional, TR-55. São Paulo: Navegar, 2002.
TUCCI, C. E. M. Hidrologia Ciência e Aplicação. Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: ABRH, EDUSP, 1993.
WILKEN, P. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: CETESB, 1978.

b) Artigo em revista

GERMANO, A. & TUCCI, C. E. M. & SILVEIRA, A. L. L. 1998.Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH-II para Algumas Bacias Urbanas Brasileiras. Rev. Bras. de Recursos Hídricos - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre - RS, 3(4): 103-120.

c) Outros

BRASIL Lei nº 2.211, de 05 de agosto de 2.004. Lei do uso e ocupação do solo do município de Catalão-GO. Catalão, GO, de 30 de dez. de 2000. Disponível em http:// www,catalao.go.gov.br . Acesso em 16 jan. 2012.
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Censo 2010
PEDROSA, L. E. MENDONÇA, M. R. , Diagnóstico e Monitoramento Sócio-Ambiental da cidade de Catalão/GO e do entorno,p. 53 e 60. Relatório de pesquisa realizado pela equipe de Professores e Bolsistas do Curso de Geografia - CAC/UFG, em parceria com o Ministério Público de Goiás - 3ª Promotoria de Justiça de Catalão – Curadoria do Meio Ambiente, com recursos provenientes de Termo de Ajustamento de Conduta – Inquérito Cível Público Nº 024/2002. CATALÃO, 2005.