

**IX-047 - ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO DEVIDO A
URBANIZAÇÃO DO CAMPUS AVANÇADO DE POÇOS DE CALDAS DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS:
ESTUDO DE CASO UTILIZANDO O MÉTODO SCS**

João Gabriel Salvi Martins

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Guilherme do Lago Lopes

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Luis Otávio Lemos

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Marcelo Costa Flores

Aluno de Graduação do Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Alexandre Silveira

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor Adjunto da Universidade Federal de Alfenas,
Campus Avançado de Poços de Caldas

Endereço⁽¹⁾: Rodovia José Aurélio Vilela, nº 11.999. Cidade Universitária
Poços de Caldas/MG - CEP: 37715-400. joaogabrielands@gmail.com

RESUMO

A expansão da impermeabilização de uma determinada área acarreta o aumento do escoamento superficial, fato este observado atualmente nas grandes metrópoles, que sofrem anualmente com problemas de enchentes. Percebendo os riscos oriundos do aumento do escoamento superficial, este trabalho tem como objetivo quantificar através de método indireto, o escoamento superficial gerado na Unifal – MG, campus Poços de Caldas, para o cenário atual e cenários futuros. Para este trabalho foi utilizado o método SCS para estimar o volume de água escoada no campus, após a área de estudo ser devidamente caracterizada. Para realização dos cálculos, foi realizada a simulação de uma chuva intensa através do método dos blocos alternados. As simulações realizadas neste trabalho demonstraram que haverá um aumento significativo no escoamento superficial com a expansão da área impermeabilizada no campus da Unifal – MG em Poços de Caldas.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial, hidrologia, gestão de águas urbanas, precipitação efetiva.

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização de uma determinada área implica, inevitavelmente, no aumento da impermeabilização do solo. Deste modo torna-se necessário saber se a infraestrutura de drenagem pluvial, em especial de microdrenagem, foi projetada considerando o possível aumento da área impermeabilizada.

Com relação aos recursos hídricos, principal foco desse trabalho, a urbanização descontrolada também vem causando danos: desmatamento, substituição de cobertura vegetal natural por superfície impermeável, ocupação das áreas de inundação. A expansão das áreas urbanas, causadoras dos problemas anteriormente citados, provoca impactos nos ciclos hidrológicos, nos processos de escoamento, de percolação e também na capacidade de infiltração do solo. Percebe-se que são bem visíveis os impactos da urbanização nos recursos hídricos.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o escoamento superficial no Campus de Poços de Caldas-MG da Universidade Federal de Alfenas. O campus, implantado em 2010, está localizado em uma área de 55,7ha e

possui ocupação atual de aproximadamente 20% desta área. A implantação do campus deve ocorrer gradativamente nos próximos anos e este trabalho tem como objetivo estimar esta ocupação quantificando o aumento do escoamento superficial pelo método do *Soil Conservation Service*.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O método SCS (*Soil Conservation Service*) considera a separação da precipitação efetiva a partir de uma precipitação fornecida de forma prática e simples. A precipitação efetiva, aquela que gera o escoamento superficial é calculada em função da infiltração máxima do solo (S).

A perda com a interceptação ou retenção representa parte de uma precipitação que retorna à atmosfera antes de atingir o solo e é estimada por $0,2 \cdot S$. Assim, o método só poderá ser utilizado se a precipitação for maior que a perda.

A infiltração máxima do solo está relacionada com o número adimensional CN (“curve number”) que varia entre 0 e 100, sendo que 100 representa uma superfície totalmente impermeável.

O valor obtido nas tabelas 1, 2 e 3 para CN depende do tipo de solo; das condições de umidade do solo e da ocupação do solo (agrícola, urbano). Os tipos de solos são divididos em grupos:

- Grupo A – Solos arenosos profundos; tem alta capacidade de infiltração e geram pequenos escoamentos;
- Grupo B – Solos franco arenosos pouco profundos; tem menor capacidade de infiltração e geram maiores escoamentos do que o solo A;
- Grupo C – Solos franco argilosos; tem menor capacidade de infiltração e geram maiores escoamento do que A e B.
- Grupo D – Solos argilosos expansivos; tem baixa capacidade de infiltração e geram grandes escoamentos.

Condições de umidade do solo:

- CONDIÇÃO I – solos secos – as chuvas nos últimos 5 dias não ultrapassam 13 mm.
 - CONDIÇÃO II – situação média na época das cheias – as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 13 e 53 mm
 - CONDIÇÃO III – solo úmido (próximo da saturação) – as chuvas nos últimos 5 dias foram superiores a 53 mm e as condições meteorológicas forma desfavoráveis a altas taxas de evaporação.
- Além do tipo de solo e das suas condições de umidade o crescimento urbano e agrícola altera a intensidade do CN. A Tabela 1 apresenta os valores de CN para condição II ($13 \text{ mm} < P_{5\text{dias}} < 53 \text{ mm}$).

Tabela 1 - Valores de CN (condição II 13 mm <P₅dias < 53 mm)

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Pastagens	Pobres, em curva de nível	47	67	81	88
	Normais, em curva de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	Normais	56	75	86	91
Estradas de terra	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Demais valores de CN para condição II (13 mm <P₅dias < 53 mm) constam na Tabela 2.

Tabela2 - Valores de CN (condição II 13 mm <P₅dias < 53 mm).

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curva de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curva de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curva de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80

Valores de CN em áreas urbanas para condição II (13 mm <P₅dias < 53 mm) estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de CN (condição II 13 mm <P5dias < 53 mm).

Tipo de uso do solo / Tratamento		Grupo hidrológico			
Condições hidrológicas		A	B	C	D
Uso residencial					
Tamanho médio do lote	%Impermeável				
Até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos, pavimentos, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas					
Pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
Com cascalho		76	85	89	91
De terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (72% impermeáveis)		81	88	91	93
Espaços abertos (parques, jardins)					
Boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84

O método dos blocos alternados consiste na elaboração de um ietograma, utilizando dados da curva intensidade – duração – frequência típica da região de estudo. Por este método se estabelece a altura de precipitação em n intervalos consecutivos com durações iguais.

As chuvas de projeto são eventos de precipitação idealizados que visam proporcionar dados consistentes com base nas informações coletadas de pluviômetros da bacia. O meio mais difundido de obtenção da chuva de projeto é pelo método dos blocos alternados.

O método dos blocos alternados utiliza informações conhecidas da bacia para gerar uma nova curva IDF que descreve um evento extremo para um determinado tempo de retorno.

A duração da chuva de projeto deve ser igual ou muito próxima do tempo de concentração da bacia de estudo. A intensidade média da chuva de projeto é obtida a partir dos dados disponíveis nos pluviômetros ou pluviógrafos quando estes não estão disponíveis, mas para esse caso são feitas análises estatísticas para a adequação.

O grande diferencial do método dos blocos alternados está, no entanto, na distribuição temporal da precipitação durante a chuva de projeto. Esse método visa à concentração das maiores precipitações no centro do evento gerando um pico na curva IDF.

Nota-se que a maior precipitação foi deslocada para o centro do evento e os demais foram distribuídos decrescentemente de maneira alternadas a direita e a esquerda do pico.

MATERIAIS E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi feito no campus da Universidade da Federal de Alfenas na cidade de Poços de Caldas, sul do Estado de Minas Gérias, e se encontra nas coordenadas UTM (338635.6333 W; 7589854.2991 S). O campus da UNIFAL-MG está localizado na Rodovia José Aurélio Vilela na BR-267, no Km 533, a oeste do centro da cidade, conforme mostra a Figura 1.

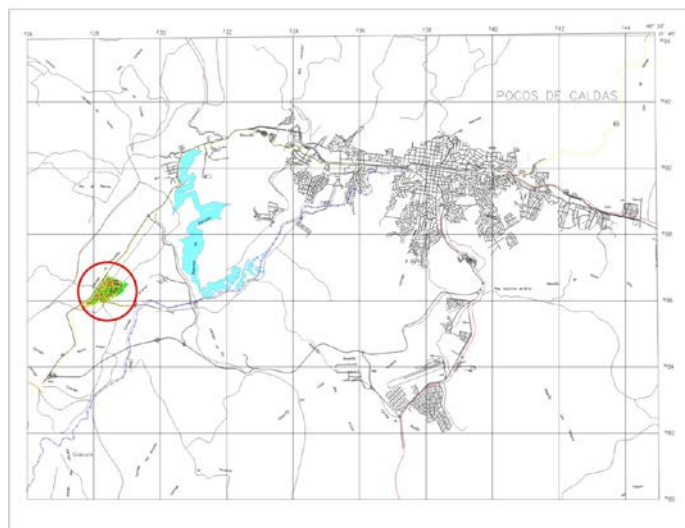


Figura 1: Localização do campus na cidade de Poços de Caldas.

O campus está inserido na bacia do Ribeirão Irara que é uma micro-bacia do Ribeirão das Antas, a principal bacia hidrográfica do município de Poços de Caldas. A Figura 2 apresenta a bacia do Ribeirão Irara com a topografia e hidrografia local.



Figura 2: Localização do campus na Bacia do Ribeirão Irara.

A ocupação atual do Campus e o projeto de ocupação futura são apresentadas na Figura 3

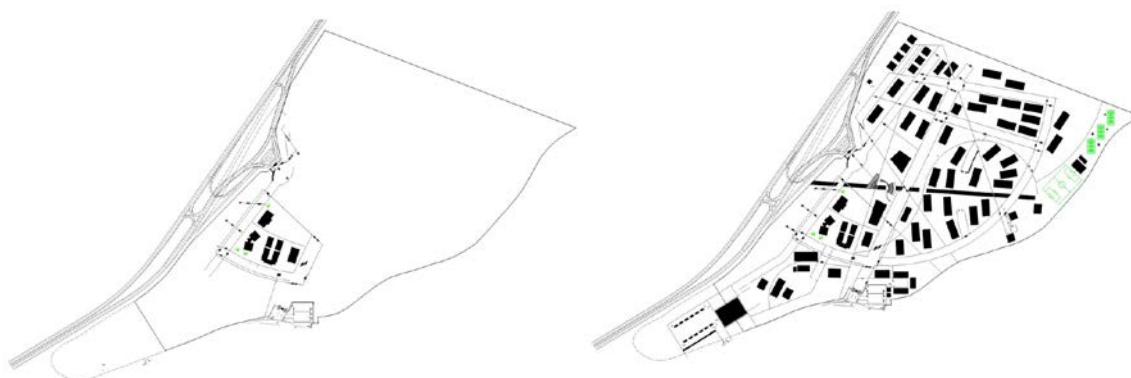


Figura 3: Ocupação atual e Projeto de Ocupação da UNIFAL (sem escala)

METODOLOGIA

Com o objetivo de determinar a precipitação efetiva foi utilizado o método do SCS, descrito em TUCCI (2002). Foram utilizados dois ietogramas para a análise, um obtido na estação climatológica localizada no próprio campus de Poços de Caldas e outro obtido pelo método dos blocos alternados para uma chuva de 24 horas. Os valores necessários para o “*curve number*” (CN) foram obtidos nas tabelas encontradas em TUCCI (2002).

Os parâmetros para definir o CN são: umidade antecedente do solo, tipo e ocupação do solo. O tipo de solo encontrado na região em estudo é do Tipo B (solos franco arenosos pouco profundos). A ocupação do solo permitiu a simulação de três cenários: ocupação atual, ocupação em um futuro próximo e ocupação em futuro avançado. Para cada um dos cenários foi feita uma simulação com as três condições de umidade antecedente do solo. Deste modo o valor de CN para condição II de umidade foi obtida em valores tabelados, ponderando a ocupação da área, e os valores de CN para as outras condições de umidade foram calculados de acordo com as equações 1 e 2.

$$CN(I) = \frac{4,2.CN(2)}{10 - 0,058.CN(2)} \quad (1)$$

$$CN(III) = \frac{23.CN(2)}{10 + 0,13.CN(2)} \quad (2)$$

O método SCS (Soil Conservation Service) determina a Precipitação Efetiva (P_{ef}), a partir de uma precipitação fornecida, de acordo com a equação 3.

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2.S)^2}{P + 0,8.S} \quad (3)$$

Em que: P_{ef} é precipitação efetiva (escoamento superficial), dada em mm; P é a precipitação, em mm e S é a infiltração máxima do solo, dada por:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

Para confecção dos ietogramas, escolheu-se uma chuva com duração de 2 horas, para cada um dos 3 tempos de retorno (T_1 , T_2 e T_3) do projeto. Calculou-se as intensidades de chuva em períodos de 10 em 10 minutos, até completar as 2 horas de chuva estipulada.

Após as intensidades de chuvas calculadas foi possível obter os valores de precipitações acumuladas, multiplicando estas intensidades pelo tempo de duração. A diferença entre precipitações efetivas consecutivas resulta na precipitação para cada período de 10 minutos.

Finalmente com as precipitações periódicas estabelecidas, colocou-se estas em ordem decrescente no ietograma, partindo-se do intervalo de tempo do centro e inserindo as precipitações seguintes de forma alternada do lado esquerdo e direito do gráfico.

Para apresentar os resultados encontrados foi necessário realizar algumas considerações para o Método SCS. Primeiro, para a simulação do estudo do escoamento superficial, definiu-se três cenários: atual, futuro próximo e futuro avançado. Segundo, o método apresenta como variável o número de curva, representado por CN, e esse valor depende de três fatores: a umidade antecedente, o tipo e a ocupação do solo. Esse valor é obtido através das Tabelas

Após as devidas considerações, pode-se apresentar os ietogramas de cada situação, tendo em vista que cada cenário se relaciona a três CN. Utilizando as tabelas como referência, pode-se estimar os valores de CN (II) e o critério para a escolha do mesmo foi a situação atual, futuro próximo e avançado da ocupação do campus. Para o cálculo do CN (I) e CN(III), foram utilizadas as equações 1 e 2, respectivamente:

Com isso foi calculado a precipitação efetiva, considerando o tipo de solo B (solos franco arenosos pouco profundos) para todos os cenários, o valor de CN atual foi menor, visto que a maior parte da área do campus pode ser considerada pasto e poucos prédios; no cenário futuro próximo, o valor de CN foi intermediário, com um avanço considerável da ocupação do campus e no cenário futuro avançado, o valor de CN foi alto considerando a total ocupação da área do campus.

RESULTADOS

Foi aplicado o método dos blocos alternados para gera o ietograma de projeto e a partir deste ietograma foram realizadas simulações para quantificar a precipitação efetiva para períodos de retorno de 5, 10 e 50 anos. As figuras a seguir representam os ietogramas confeccionados através do método dos blocos alternados para os tempos de retorno de 5, 10 e 50 anos, respectivamente.

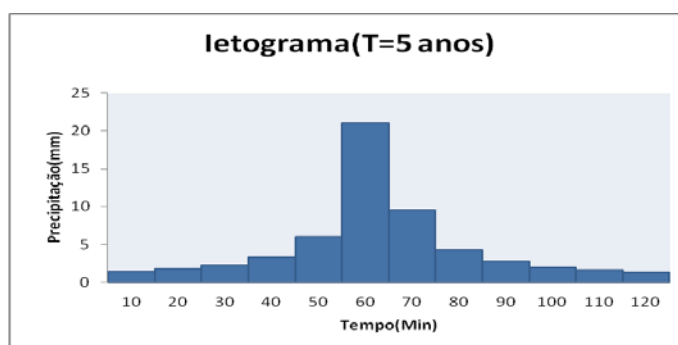


Figura 7 - Ietograma para o tempo de retorno de 5 anos para uma chuva de 2 horas.

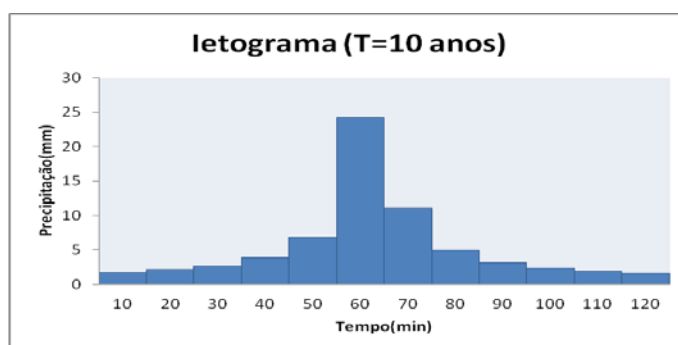


Figura 8 - Ietograma para o tempo de retorno de 10 anos para uma chuva de 2 horas.

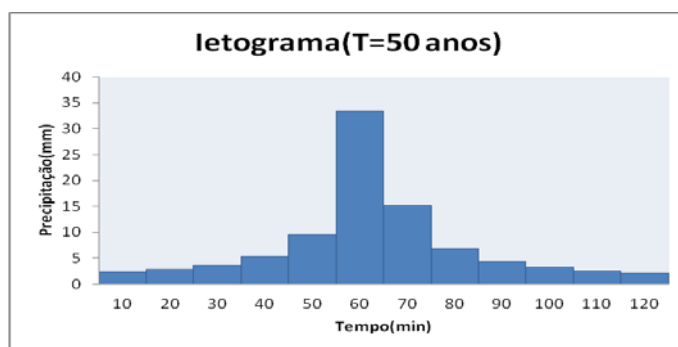


Figura 9 - Ietograma para o tempo de retorno de 50 anos para uma chuva de 2 horas.

Com a elaboração dos ietogramas foi possível observar um aumento da precipitação, conforme o aumento do período de retorno. Através das simulações realizadas com a aplicação do método SCS para as precipitações obtidas com o método dos blocos alternados, é possível realizar algumas comparações. Por causa do espaçamento, os ietogramas e seus respectivos comentários foram feitos em páginas com margens menores em relação às margens padrão.

As Figuras 10, 11 e 12 mostram os ietogramas criados com a precipitação do método dos blocos alternados para um período de retorno de 5 anos, para todos os cenários.

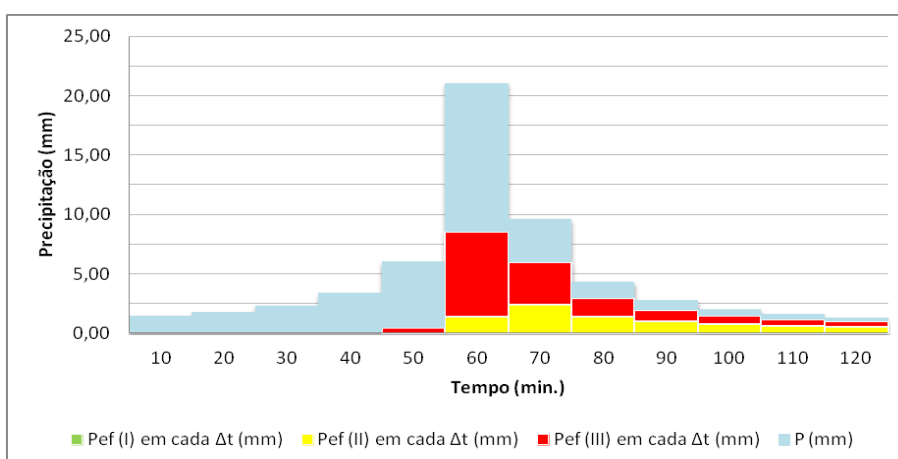


Figura 10- Ietograma de blocos alternados com T(R)= 5 anos atual.

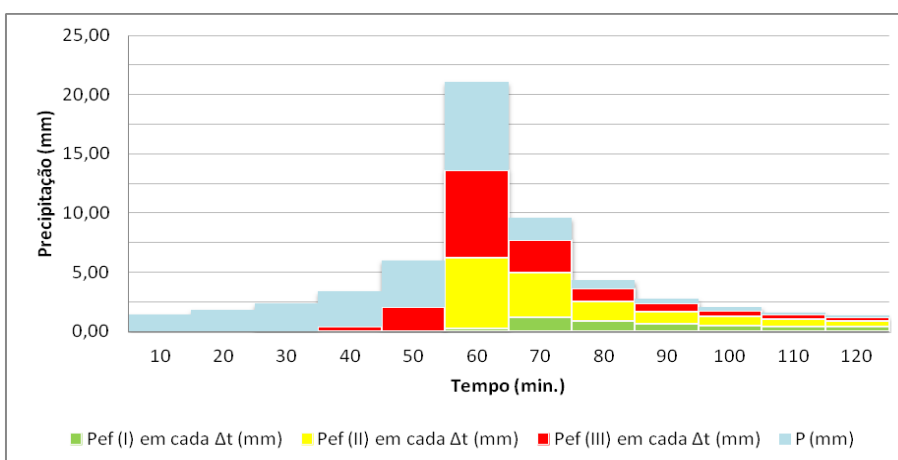


Figura 11 - Ietograma de blocos alternados com T(R)= 5 anos no futuro próximo.

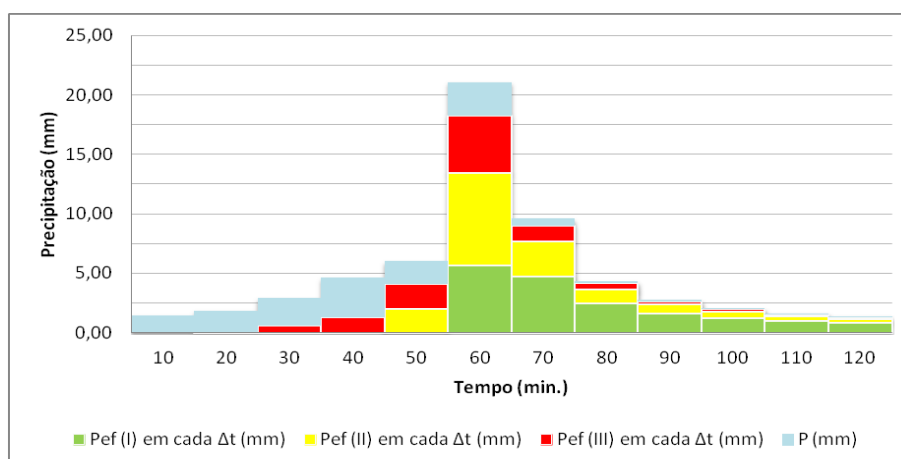


Figura 12- Ietograma de blocos alternados com T(R)= 5 anos no futuro avançado.

As Figuras 10, 11 e 12 representam a precipitação criada pelo método dos blocos alternados para um período de retorno de 5 anos para o método SCS. Nota – se que no cenário atual, para CN(I), não houve escoamento superficial, sendo notado apenas a partir do CN(II) com precipitação efetiva a partir de 1 hora de chuva. No CN(III), ocorreu escoamento aos 50 minutos de precipitação e o volume escoado é o maior em relação aos outros CNs, devido ao estado saturado em que se encontra o solo, sendo que metade de toda a precipitação em CN(III) é escoada superficialmente para este cenário.

Para o cenário futuro avançado, com o avanço da impermeabilização do solo do campus, há um aumento dos valores do parâmetro CN. Para CN(I), em relação ao anterior que não houve escoamento, ocorre precipitação efetiva a partir dos 70 minutos de chuva. Em CN(II) o escoamento se inicia no mesmo intervalo de 60 minutos que o anterior, porém o volume escoado foi maior. Enfim, o CN (III) iniciou com escoamento a partir dos 40 minutos, 10 minutos antes em relação ao anterior e com um volume escoado maior que os demais com mais da metade da precipitação total escoada.

O cenário futuro avançado simulou o campus como totalmente ocupado, com valores do parâmetro CN maiores em relação aos utilizados nos outros cenários. O CN (I), em relação aos outros cenários, já inicia com um aumento expressivo de escoamento superficial, da mesma maneira que em CN (II), sendo que ambos iniciam o escoamento superficial em intervalos de tempo menores em relação aos outros cenários. Com CN (III), ocorreu o maior volume de precipitação escoada em relação a todos os outros ietogramas citados anteriormente, sendo que cerca de 80% da precipitação total é escoada superficialmente, devido ao grande volume de chuva e condição saturada do solo.

As Figuras 13, 14 e 15 representam os ietogramas gerados pelo método SCS com a precipitação dos blocos alternados para período de retorno de 10 anos, vale ressaltar que as análises feitas para o período de retorno anterior são válidas novamente.

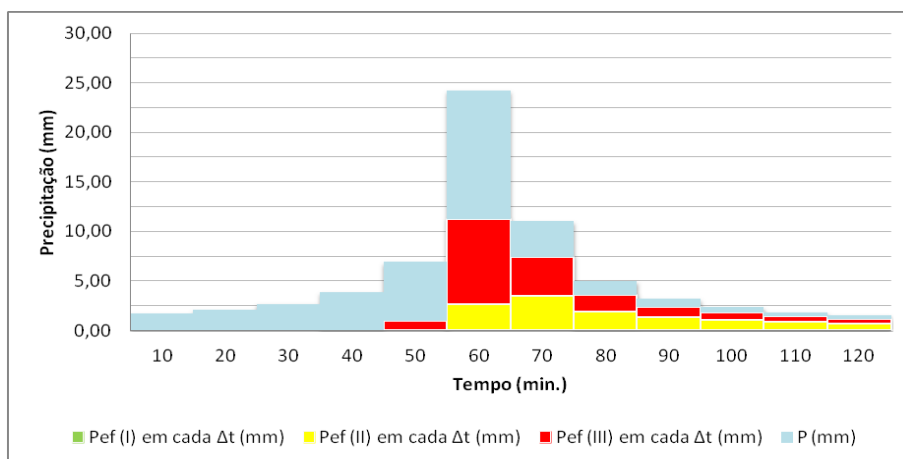


Figura 13 - Ietograma de blocos alternados com T(R)= 10 anos atual.

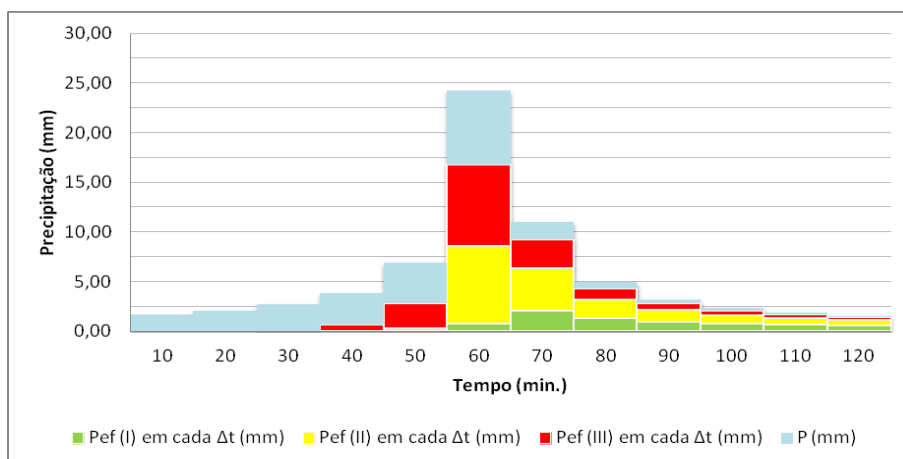


Figura 14 - Ietograma de blocos alternados com T(R)= 10 anos no futuro próximo.

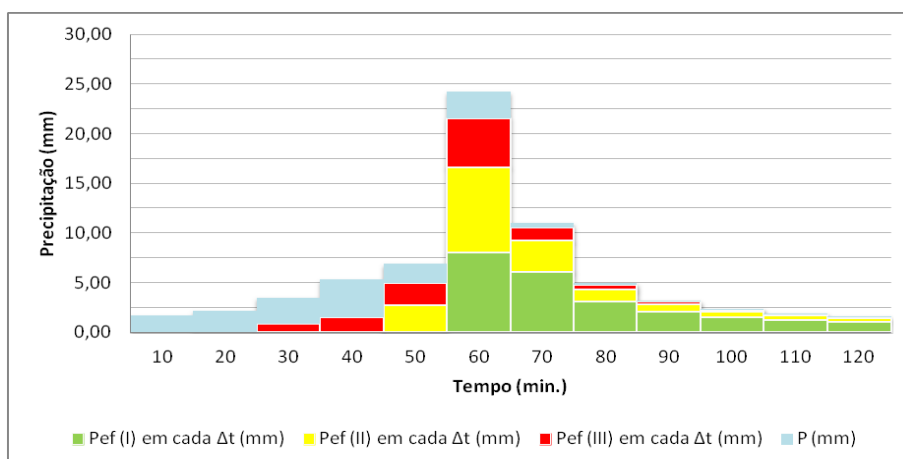


Figura 15 - Ietograma de blocos alternados com T(R)=10 anos no futuro avançado.

As Figuras 13, 14 e 15 representam o ietograma do método SCS com uma precipitação com período de retorno de 10 anos criada pelo método dos blocos alternados. A precipitação total é maior em relação à precipitação anterior, assim como a intensidade, deste modo, há precipitação efetiva desde o cenário atual para CN (I) e um aumento gradativo até o CN (III). No cenário futuro próximo, a precipitação efetiva também se inicia para CN (I), porém com maior volume escoado, da mesma maneira para os outros valores de CN. Já no cenário futuro distante, a precipitação efetiva para CN(I) iniciou considerável e o volume escoado superficialmente corresponde a mais de 80% da precipitação total, ou seja, um valor maior em relação a precipitação com período de retorno de 5 anos.

Os ietogramas do método SCS para uma chuva com período de retorno de 50 anos, sintetizada pelo método dos blocos alternados, estão representados nas Figuras 16, 17 e 18. Este é o cenário em que se espera uma maior precipitação efetiva, devido à alta intensidade de precipitação.

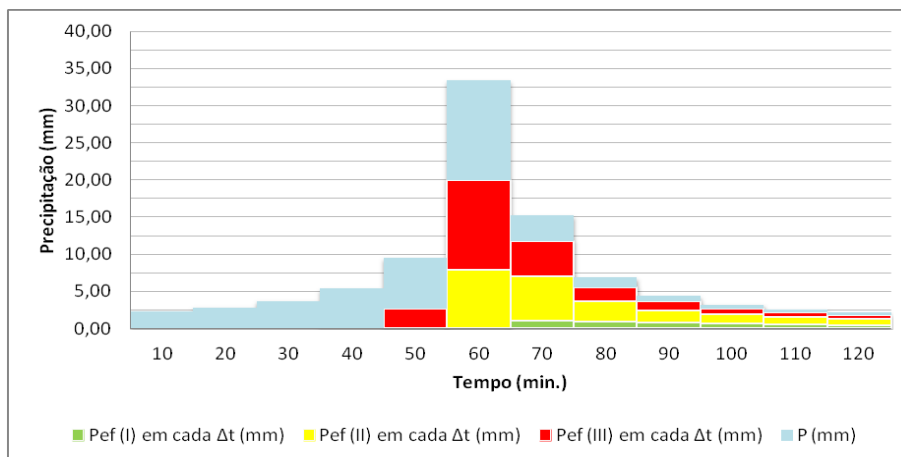


Figura 16 - Ietograma de blocos alternados com T(R)= 50 anos atual.

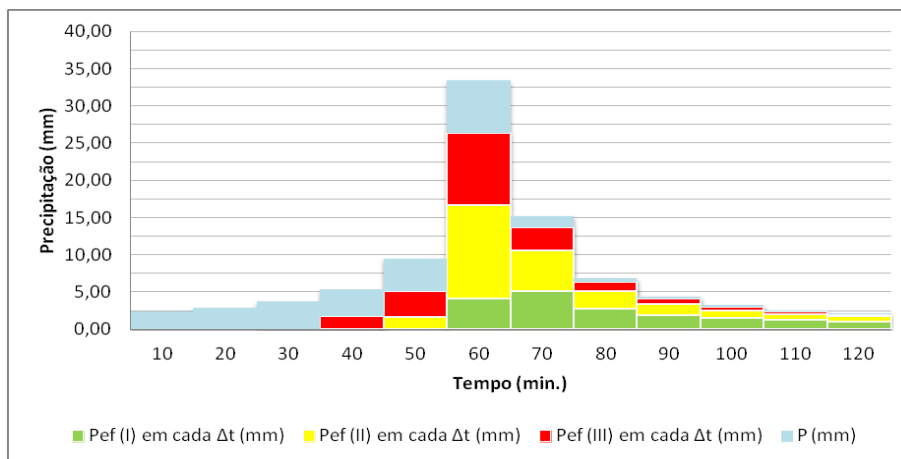


Figura 17 - Ietograma de blocos alternados com T(R)= 50 anos no futuro próximo.

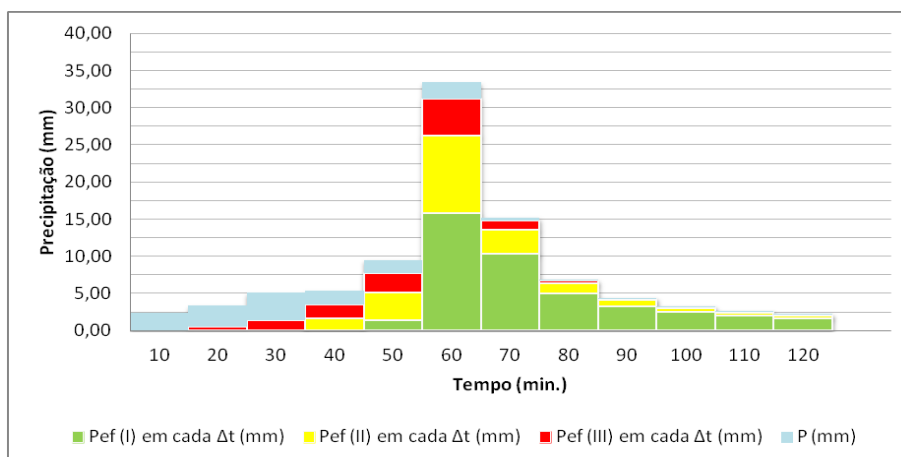


Figura 181 - Ietograma de blocos alternados com T(R)= 50 anos no futuro avançado.

A Figuras 16 a 18 representam a precipitação com maior intensidade deste estudo e seu efeito sobre o campus em relação à quantidade de precipitação escoada. Nota – se que apenas para o valor de CN(I) do cenário atual e cenário futuro próximo a precipitação efetiva é baixa. Para todas as outras situações os volumes escoados são relevantes, principalmente quando o solo se encontra saturado e favorável ao escoamento superficial.

O ietograma do cenário futuro distante para CN(III) é o que ocorre a maior precipitação estimada com mais de 85% de escoamento superficial em relação a precipitação total. Este valor pode acarretar grande risco e exige um planejamento eficaz das construções do campus.

CONCLUSÕES

Fica evidente, a partir dos resultados apresentados, o aumento do escoamento superficial com a ocupação da área. Observa-se que o ietograma elaborado pelo método dos blocos alternados gera escoamento superficial, para Tr=5anos, em condições de umidade II e nos cenários intermediários, futuro próximo.

Deste modo é necessário verificar se as dimensões do sistema de drenagem pluvial do campus são suficientes para a ocupação simulada e deste modo nenhuma intervenção seja necessária. No entanto, se as galerias de água pluvial não forem suficiente para a drenagem em questão, serão necessárias utilizar técnicas compensatórias para minimização do problema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, FAPEMIG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde, Fundação Nacional da Saúde. Manual de saneamento, engenharia de saúde pública, orientações técnicas. 3ª Ed. Brasília, 2006, pg. 166-167.
2. FILHO, C. L. M. Introdução a Geologia de Engenharia. 3ª Ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2008, pg. 156.
3. GARCEZ, L.N.; ALVAREZ, G.A. Hidrologia. Edgard Blücher. São Paulo, 1999
4. GPRH-Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos. Softwares. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>
5. PAIVA, J. B. D., DIAS DE PAIVA, E. M. C. Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas, ABRH-UFSM, Porto Alegre, Ed. Universitária, 625p.
6. PINTO, Nelson L. de Sousa, HOLTZ, Antonio Carlos Tatit, MARTINS, José Augusto, GOMIDI, Francisco Luiz Sibut. Hidrologia Básica, Editora Blucher, 1976.
7. RIGHETTO, A. M. Manejo de águas pluviais urbanas. 5ª Edital do PROSAB: Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.
8. TUCCI, C.E. M. Hidrologia – Ciência e Aplicação. Editora da UFRGS/ABRH. Coleção ABRH, Volume 4. Porto Alegre, 2002
9. VILLELA, S. M.; MATTOS A. Hidrologia aplicada. São Paulo: Mc Graw-vill do Brasil, 1975.