

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

ÁTILA BARROS DE ASSIS

**MITIGAÇÃO DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE NOVOS BAIRROS SOBRE A
PRODUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PONTE NOVA**

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

ÁTILA BARROS DE ASSIS

**MITIGAÇÃO DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE NOVOS BAIRROS SOBRE A
PRODUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PONTE NOVA**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Santos Silva Amorim, DEA-UFV

Coorientadora: M.Sc Ana Luiza Melo Rodrigues, DEA-UFV

**VIÇOSA – MINAS GERAIS
2020**

ÁTILA BARROS DE ASSIS

**MITIGAÇÃO DO IMPACTO DA IMPLANTAÇÃO DE NOVOS BAIRROS SOBRE A
PRODUÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM PONTE NOVA**

Relatório final, apresentado a Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências, para obtenção do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

APROVADO: 04 de dezembro de 2020.

Assentimento:



Átula Barros de Assis

Autor



Ricardo Santos Silva Amorim

Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado, me amparado e renovado dentro de mim.

A toda a minha família que me apoiou desde o primeiro dia desse sonho que concretizo.

A minha namorada Natália, que esteve incondicionalmente ao meu lado. Nos dias alegres, difíceis e tristes, nunca deixou de estar presente para me ajudar e incentivar.

Aos amigos, que sempre me incentivaram a continuar a lutar pelos meus objetivos.

Aos colegas de faculdade que foram fundamentais por todo o caminho da graduação.

A Agrijúnior, por todos os amigos feitos, por todo o conhecimento e crescimento adquiridos.

Aos Professores por todo o conhecimento difundido com tanta maestria.

Ao Professor Ricardo Santos Silva Amorim por ter me orientado nesse trabalho.

A Ana Luiza Melo Rodrigues por ter me coorientado nesse trabalho e toda a sua preocupação para que eu estivesse no caminho certo.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola por ter me acolhido e me transformado

A Universidade Federal de Viçosa por ter me dado a oportunidade de ter tido acesso à uma educação de excelência e a uma experiência única de vida.

RESUMO

O processo de urbanização, invariavelmente, está associado a uma elevada taxa de impermeabilização do solo, fazendo com que eventos de precipitação que antes não geravam transtornos passem a causar alagamento e inundação. A drenagem urbana tradicional é tratada de forma higienista, preocupando apenas com a retirada do volume de escoamento superficial (ES) gerado. No entanto, algumas técnicas compensatórias têm focado no controle de ES na fonte e se baseiam na retenção e aumento da infiltração de águas pluviais, reduzindo, desta forma, a probabilidade de ocorrência de alagamentos nos pontos de jusante. Desta forma, objetiva-se com o presente trabalho estimar o impacto da implantação de dois bairros sobre o volume de escoamento superficial na região central de Ponte Nova - MG, bem como avaliar técnicas compensatórias de drenagem para a mitigação de tais impactos. Para isso realizou-se o levantamento georreferenciado do ponto de alagamento e delimitação das áreas de implantação de dois novos bairros (Estrela da Mata e Alto Guarapiranga) em Ponte Nova - MG a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE). Obteve-se a chuva de projeto foi obtida a partir da análise da série histórica de precipitação da estação 02042018 utilizando-se o *software* SisCAH 1.0. Para a área de estudo foram estimados a lâmina e volume de escoamento superficial para três cenários: o primeiro cenário referiu-se à situação anterior as novas urbanizações; o segundo cenário referiu-se à implantação dos bairros totalmente consolidados com taxa máxima de impermeabilização de 80% da área; e o terceiro cenário referiu-se à implantação dos bairros totalmente consolidados com taxa máxima de impermeabilização de 65% da área. A lâmina de ES foi estimada com o método do Número da Curva, desenvolvido pela *USA Soil Conservation Service*. Para avaliar a mitigação do impacto da implantação dos novos bairros sobre o ES, além da técnica compensatória não estrutural (cenário 3), foram avaliadas a adoção de duas técnicas estruturais na área do presente estudo: a construção de uma bacia de retenção; e o reflorestamento de parte da área de pastagem degradada. A implantação dos novos bairros (Estrela da Mata e Alto Guarapiranga) afetou expressivamente o volume de escoamento superficial na área de estudo, gerando um excesso de ES em relação ao cenário 1 (antes da implantação dos novos bairros) na ordem de 8839,9 m³ e 7345,8m³ para os cenários 2 e 3, respectivamente. A medida não estrutural adotada (redução de 15% da taxa de impermeabilização – cenário 3), se mostrou pouco efetiva em mitigar o impacto da implantação dos bairros sobre o volume de ES, sendo capaz de reduzindo apenas 16,9% do excesso do volume escoamento gerado nos referidos bairros. Considerando que os bairros do presente

estudo já estão em processo de implantação, o barramento de retenção constitui na técnica compensatória que pode ser realizada de maneira mais rápida e apresentar efeito mais imediato na mitigação do excesso de ES produzido. Já o reflorestamento de área de pastagem degradada, apesar de compensar o volume extra escoado, necessita de tempo para se consolidar e efetivar a mitigação.

Palavras-chave: bacias urbanas; gestão de águas pluviais; impermeabilização do solo

ABSTRACT

The urbanization process, invariably, is associated with a high rate of soil waterproofing, causing precipitation events that previously did not cause disturbances to cause flooding and flooding. Traditional urban drainage is processed in a hygienic way, only concerned with removing the volume of runoff. However, some compensatory techniques have focused on runoff control at the source and are based on the retention and increase of rainwater infiltration, thus reducing the likelihood of flooding at downstream points. The objective of this study is to estimate the impact of the implementation of two neighborhoods on the volume of runoff in the central region of Ponte Nova - MG, as well as to evaluate compensatory drainage techniques to mitigate such impacts. For this, the georeferenced survey of the flooding point and the delimitation of the implantation areas of two new neighborhoods (Estrela da Mata and Alto Guarapiranga) in Ponte Nova - MG was carried out using the Digital Elevation Model (DEM). The project rainfall was obtained from the analysis of the historical precipitation series of season 02042018 using the software SisCAH 1.0. For the study area, the depth and volume of runoff were estimated for three scenarios: the first scenario referred to the situation prior to the new urbanizations; the second scenario referred to the implementation of fully consolidated neighborhoods with a maximum waterproofing rate of 80% of the area; and the third scenario referred to the implementation of fully consolidated neighborhoods with a maximum waterproofing rate of 65% of the area. The runoff blade was estimated using the Curve Number method, developed by the USA Soil Conservation Service. To assess the mitigation of the impact of the implementation of new neighborhoods on runoff, in addition to the non-structural compensatory technique (scenario 3), the adoption of two structural techniques in the area of the present study was evaluated: the construction of a retention basin; and the reforestation of part of the degraded pasture area. The implementation of the new neighborhoods (Estrela da Mata and Alto Guarapiranga) significantly affected the volume of runoff in the study area, generating an excess of ES compared to scenario 1 (before the implementation of the new neighborhoods) in the order of 8839.9 m³ and 7345.8m³ for scenarios 2 and 3, respectively. The non-structural measure adopted (reduction of 15% in the waterproofing rate - scenario 3), proved to be ineffective in mitigating the impact of the implementation of the neighborhoods on the volume of ES, being able to reduce only 16.9% of the excess volume runoff generated in these neighborhoods. Considering that the neighborhoods in this study are already in the process of being implemented, the retention bus is the compensatory technique that can be

performed more quickly and have a more immediate effect in mitigating the excess of ES produced. The reforestation of degraded pasture, on the other hand, despite compensating for the extra runoff volume, needs time to consolidate and effect mitigation.

Key words: urban basins; rainwater management; soil waterproofing

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 MATERIAL E MÉTODOS	11
2.1 CARACTERIZAÇÃO E GEORREFERENCIAMENTO DA REGIÃO DE ESTUDO	11
2.2 ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E VOLUME ESCOADO	16
2.3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS.....	18
2.3.1 BARRAMENTO DE RETENÇÃO	18
2.3.2 REFLORESTAMENTO.....	20
2.3.3 REDUÇÃO DA TAXA DE IMPERMEABILIZAÇÃO	20
3 RESULTADO E DISCUSSÃO	21
4 CONCLUSÃO.....	30
5 REFERÊNCIAS.....	31

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional gera o aumento da demanda de diversos recursos, sendo os básicos, como saneamento básico, alimento e moradia os que mais impactam no desenvolvimento das cidades. O êxodo rural, a pressão sobre a abertura de novos espaços nas cidades e o crescimento desorganizado das mesmas tem gerado grandes problemas socioambientais (ALVES, E., SOUZA, G., MARRA, R., 2011)

Com a expansão das áreas urbanas e, consequente, impermeabilização do solo, aliados a supressão da cobertura nativa e falta de planejamento e de utilização de técnicas compensatórias de drenagem urbana (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016), tem-se verificado nas cidades maior frequência de alagamentos, inundações e enchentes em eventos de precipitação com intensidade cada vez menor (VARGAS, 1999).

Além do risco de morte como consequência da ocorrência dessas catástrofes, há uma grande perda econômica e de aumento de vulnerabilidade dessa população atingida por enchentes e alagamentos, podendo essas perdas serem diretas, como de bens pessoais, inviabilidade de rotas de locomoção, bem como perdas indiretas, como a falência de empresas geradoras de emprego e renda.(CANÇADO, 2009)

A expansão da urbanização em novas áreas das cidades vem sendo cada vez mais comum. A supressão da vegetação desses espaços têm vários efeitos diretos sobre o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, de maneira que eventos menores de precipitação têm causado cada vez mais inundações (AGRA, 2001), motivo pelo qual torna-se ainda mais importante o planejamento urbano e dos impactos gerados por ele.

No intuito de se evitar e minimizar as consequências da urbanização sobre o ciclo hidrológico, cresce a necessidade de se projetar e implementar sistemas mais eficientes de drenagem. A gestão da água deverá ser feita de maneira regional, afim de se obter a correta execução e operação de sistemas de drenagem urbana e manutenção dos demais serviços públicos da cidade (BASTOS, 2009).

A técnica de controle na fonte é uma das técnicas compensatórias de drenagem, que visa aumentar a infiltração e reduzir o escoamento. Essas técnicas são divididas em estruturais e não estruturais. As estruturais são referentes às intervenções físicas na bacia, como trincheiras de infiltração, telhados verdes e micro reservatórios, já as não estruturais trabalham com regulamentações para o gerenciamento do uso do solo e o manejo sustentável das águas pluviais (NAOMI; TOMINAGA, 2013).

No município de Ponte Nova, localizado no Estado de Minas Gerais, são evidenciados problemas de alagamentos com certa recorrência. Entre outubro de 2019 e abril de 2020 a cidade passou por inundações em três ocasiões, causando grandes prejuízos para o comércio e a população (FOLHA DE PONTE NOVA, 2020). Com a expansão da cidade, os eventos de enchentes e inundações tendem a acontecerem de maneira mais frequente e com maiores magnitudes. Isso gerará prejuízos potencializados para a população atingida diretamente e para a cidade como um todo (TUCCI; CRUZ, 2007).

Diante do exposto, o presente trabalho tem por hipótese que a modelagem do escoamento superficial da região associada à utilização de técnicas compensatórias de drenagem são ferramentas fundamentais para as ações públicas que visam mitigar os problemas relacionados a enchentes e inundações advindos do crescimento da área urbana.

Desta forma, objetiva-se com o presente trabalho estimar o impacto do estabelecimento de dois novos bairros sobre o volume de escoamento superficial na região central de Ponte Nova/MG, bem como avaliar técnicas compensatórias de drenagem para a mitigação de tais impactos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CARACTERIZAÇÃO E GEORREFERENCIAMENTO DA REGIÃO DE ESTUDO

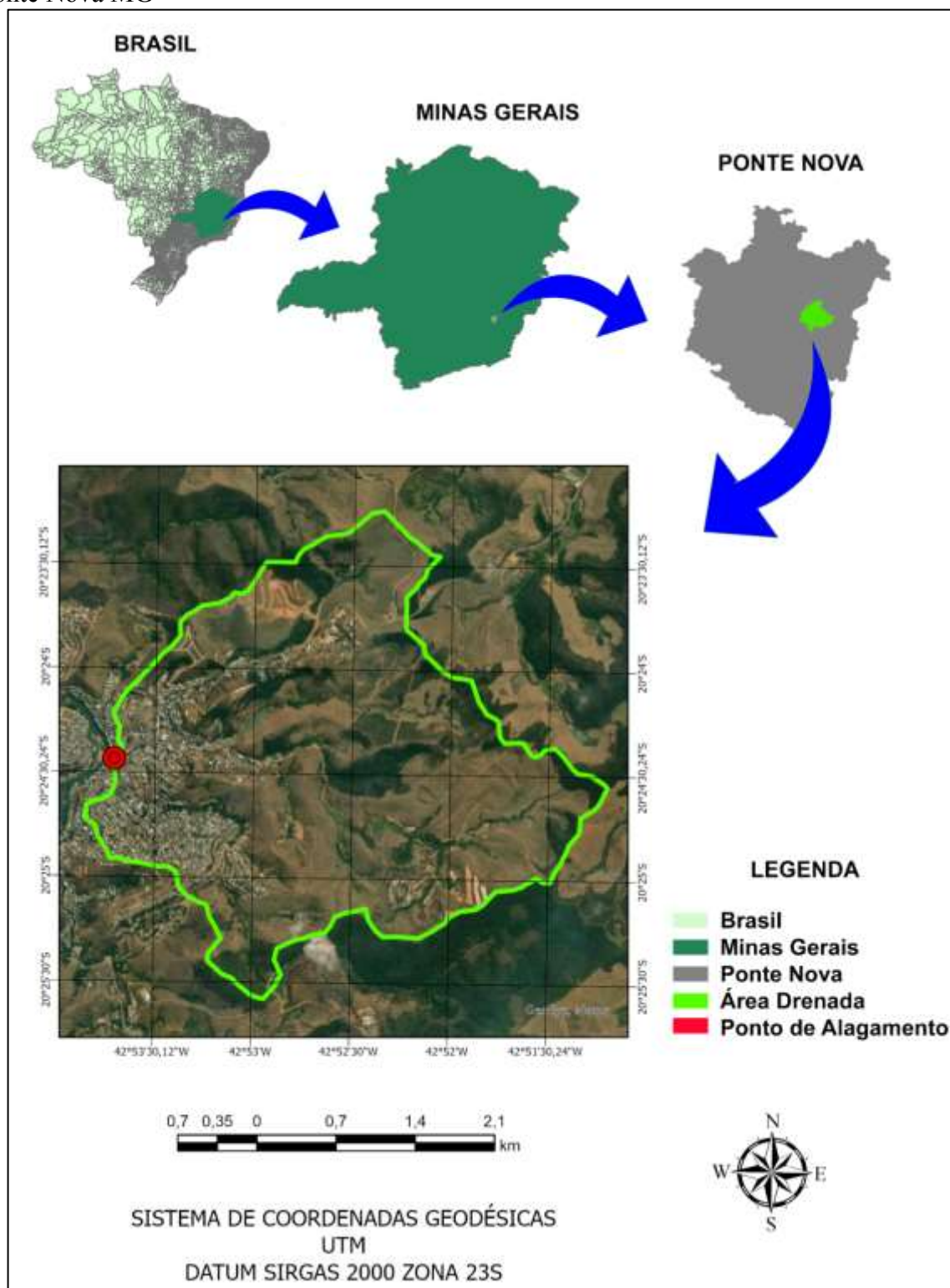
O município de Ponte Nova, onde está situada a área do presente estudo, localiza-se na Zona da Mata de Minas Gerais, possui aproximadamente 60.000 pessoas, área total de 470,643 km² e altitude média de 439 metros (“IBGE”, [2020]), sendo os seus solos predominantemente classificados como (PVAe22) Argisolo Vermelho Amarelo Eutrófico (FEAM, [2010]). Na Figura 1 tem-se a delimitação da área de drenagem de um dos principais pontos de ocorrência de alagamento, na qual está localizado o principal vetor de crescimento urbano da cidade de Ponte Nova-MG, possuindo uma área drenada total de 10,47 km², na qual está situado os bairros Estrela da Mata e Alto Guarapiranga, objetos do presente estudo.

O ponto de alagamento considerado no presente estudo está situado na região central e comercial da cidade, e apenas durante o ano de 2020 já alagou em duas ocasiões decorrente de chuvas fortes (FOLHA DE PONTE NOVA, 2020).

Para identificação e delimitação da rede e da área de drenagem do ponto de alagamento considerado no presente estudo foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 12,5 m, gerado pelo satélite *Alos Palsar* e disponível em ASF Data Search (NASA, 2020). Para tal, primeiramente, foi realizado as correções dos pontos espúrios e de sumidouro do MDE, que são pontos em que o MDE identifica como cota zero ou negativa, o que geraria falhas nas manipulações subsequentes. Posteriormente estabeleceu-se a direção de fluxo dos *pixels*, obtendo-se a direção em que cada pixel apontava. A partir daí, foi possível criar o mapa de acúmulo de fluxo, gerando os traçados da drenagem provenientes do fluxo acumulado de 500 células, que mais se aproxima da hidrografia natural da localidade (SOBRINHO et al., 2010). Em seguida gerou-se a delimitação da área drenada do ponto de alagamento que será estudado (Figura 2).

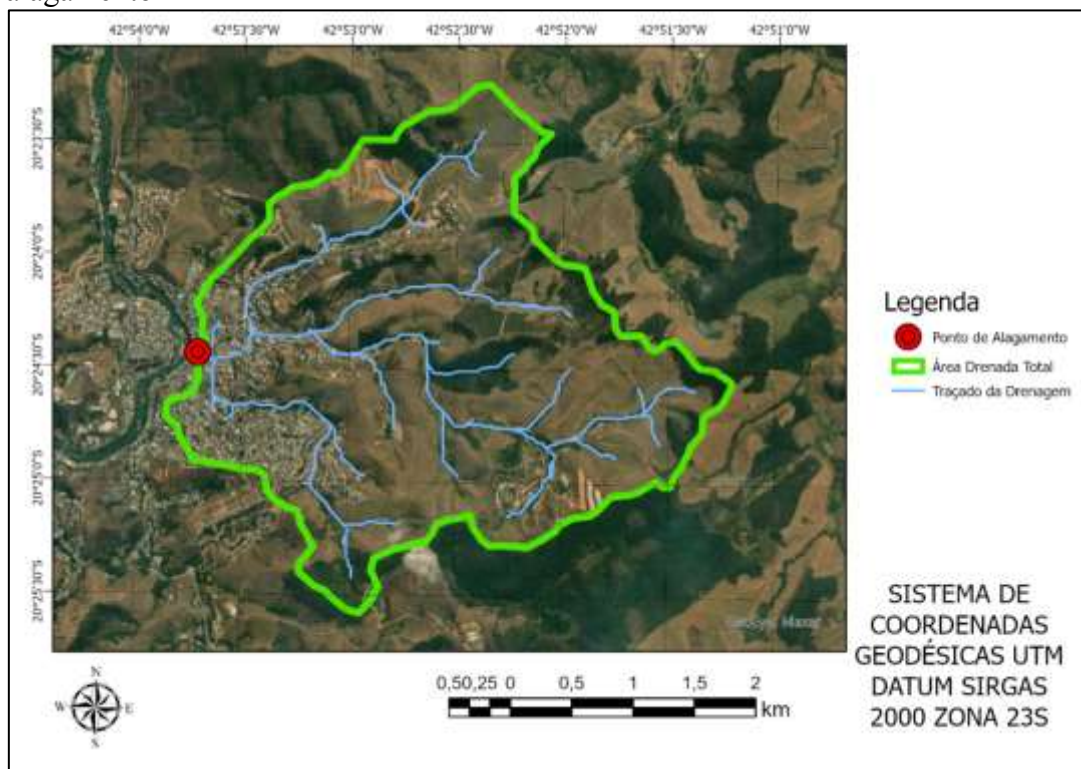
Após a identificação e delimitação da hidrografia e da área de drenagem do ponto de alagamento do presente estudo, fez-se a subdivisão da área em três sub bacias (Figura 4). A sub bacia 1, na qual estão localizados os dois bairros (Estrela da Mata e Alto Guarapiranga) objeto do presente estudo constituindo e é o atual vetor de crescimento do município de Ponte Nova, possuindo área de 2,245 km², drenagem principal de 2,5 km e três tipos de uso e ocupação do solo (Tabela 1 e Figura 5). A sub bacia 2 possui área de 5,85 km² com uso predominantemente agrícola, enquanto a sub Bacia 3 possui 2,07 km², sendo a mais consolidada e urbanizada das três sub-bacias identificadas (Figura 3).

Figura 1- Referenciamento da área de drenagem do ponto de alagamento no município de Ponte Nova MG



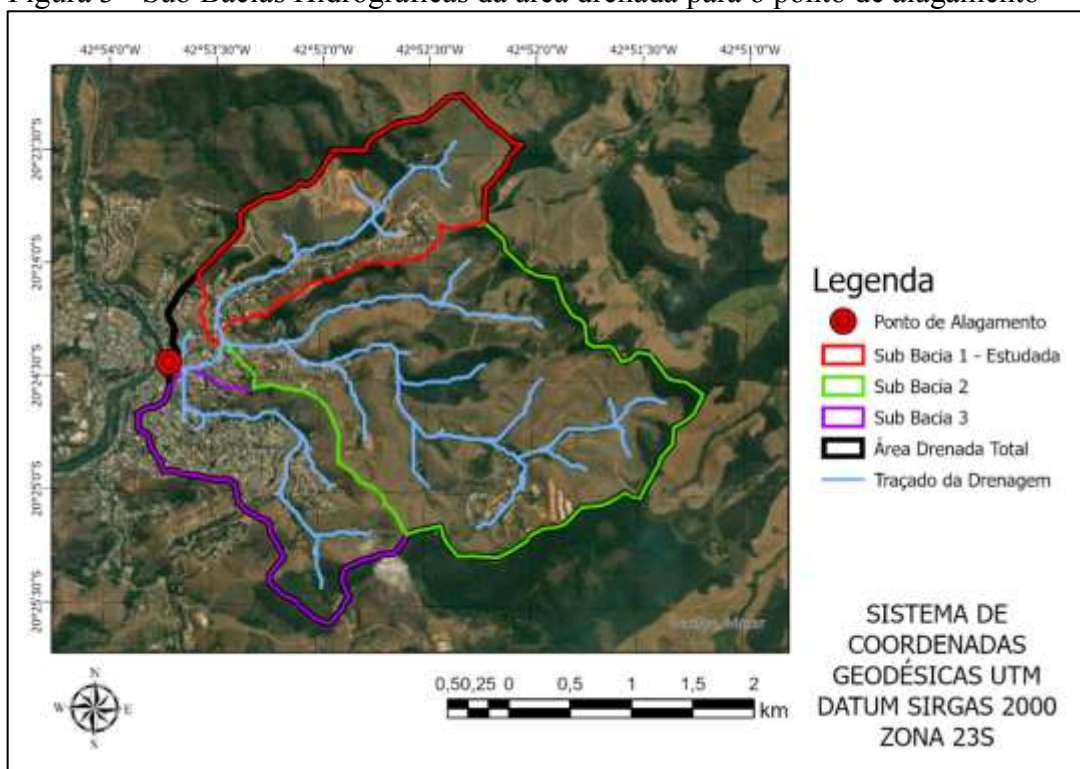
Fonte: Autor.

Figura 2 - Traçado da drenagem hídrica numérica da área de drenagem do ponto de alagamento



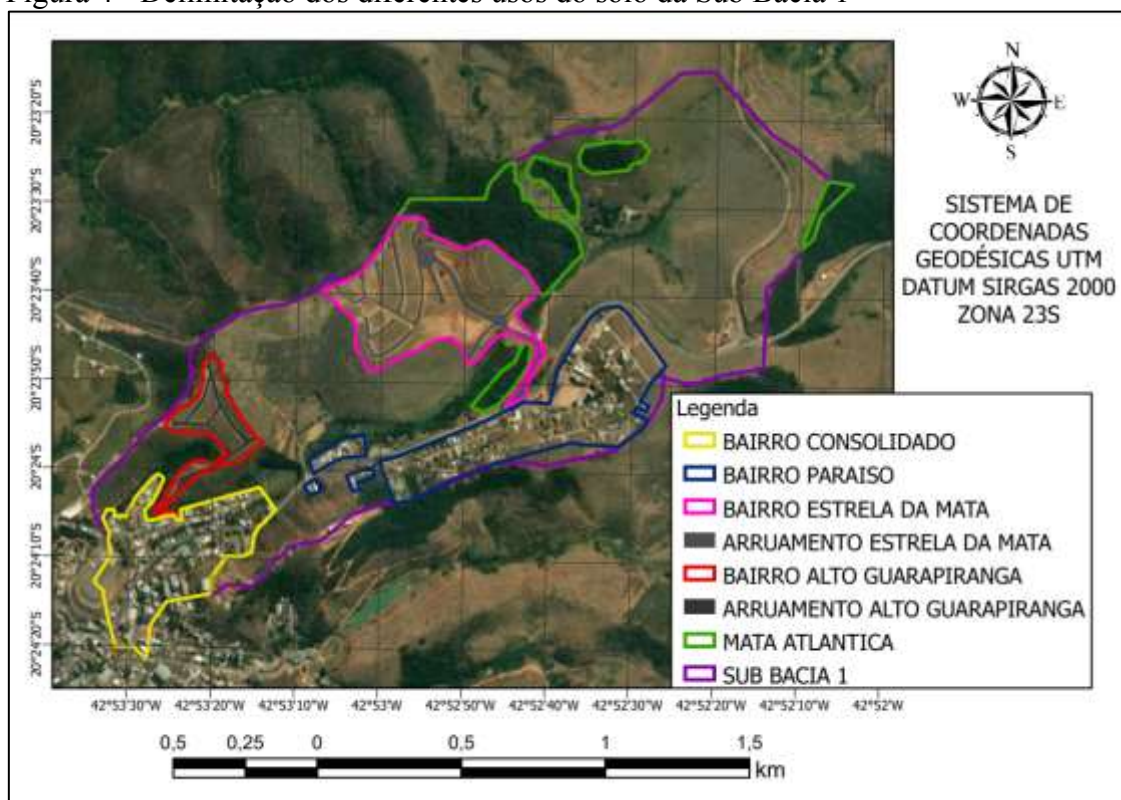
Fonte: Autor.

Figura 3 - Sub Bacias Hidrográficas da área drenada para o ponto de alagamento



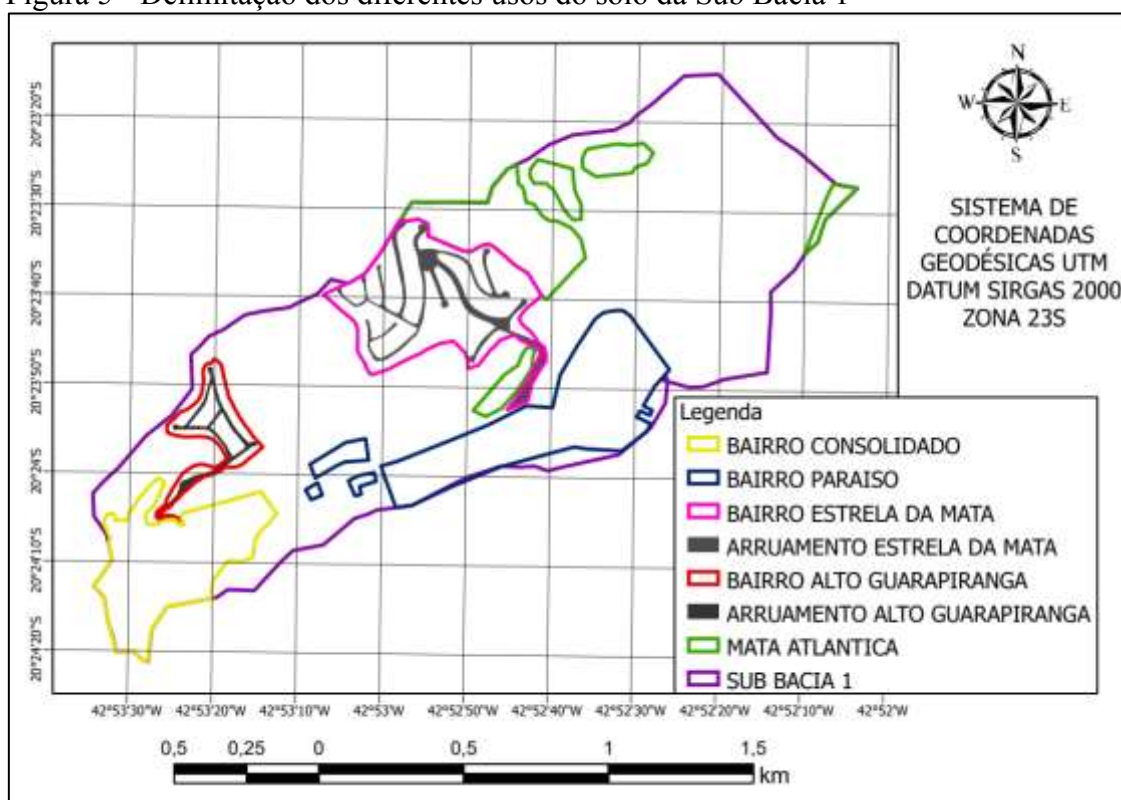
Fonte: Autor.

Figura 4 - Delimitação dos diferentes usos do solo da Sub Bacia 1



Fonte: Autor.

Figura 5 - Delimitação dos diferentes usos do solo da Sub Bacia 1



Fonte: Autor.

Tabela 1- Classificação dos usos do solo da área da Sub Bacia 1

Usos	Área (km ²)	Área (%)
Bairro Estrela da Mata (urbano e pastagem degradada)	0,236	10,51
Bairro Alto Guarapiranga (urbano e pastagem degradada)	0,059	2,61
Área urbana moderada	0,247	11,02
Área urbana consolidada	0,166	7,38
Pastagem degradada	1,359	60,53
Mata	0,179	7,96
Total	2,245	100,00

Fonte: Autor

Com a sub bacia 1 identificada e delimitada, fez-se a delimitação dos bairros em estudo e respectivos arruamentos com auxílio do *software* Google Earth Pro®. O contorno do município de Ponte Nova foi obtido utilizando arquivos do IBGE. Todos os dados e informações foram processados com o auxílio de ferramentas Sistema de Informação Geográfica (SIG) utilizando-se o *software* ArcGIS Pro® 2020.

Os contornos dos bairros e dos arruamentos foram coletados via *software* Google Earth Pro®. O contorno do município de Ponte Nova foi obtido utilizando arquivos do IBGE e utilizando o *software* ArcGIS Pro® 2020 para a manipulação dos dados. Após delimitar o limite do município com o auxílio das ferramentas Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi obtido os limites dos dois novos bairros e suas respectivas áreas (Figura 4).

As áreas referentes aos bairros Estrela da Mata e Alto Guarapiranga são as que originalmente eram pastagens degradadas e estão sendo urbanizadas. A Área Urbana Moderada, representa 11,02% da área total e pertence ao Bairro Paraíso e trata-se de um bairro já existente, que possui lotes de grandes áreas e apresenta alto número de lotes baldios, sendo assim, uma área mais propícia a infiltração de água do que uma área consolidada. A área urbana consolidada representa 7,38% da área selecionada para estudo e refere-se a uma região com alta taxa de ocupação e de impermeabilização do solo, região urbanizada sem diretrizes de um plano diretor. As áreas de Pastagem Degradada são as predominantes com 60,53% de toda área. A área drenada é finalizada com 7,96% de Mata Atlântica. Os limites dos bairros e das áreas complementares da Sub Bacia 1 estão apresentados na Figura 4.

2.2 ESTIMATIVA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL E VOLUME ESCOADO

A lâmina do escoamento superficial para a Sub Bacia 1 foi obtida através do Método do Número da Curva (SCS-USDA), que foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service*, conforme descrito em Pruski, Brandão e Silva (2014), sendo calculada pela equação (1).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

em que:

S = infiltração potencial, mm;

CN = número da curva.

O valor do número da curva (CN) pode variar de 1 a 100 (Tabela 2), de acordo com o uso e manejo da área, do grupo de solo, da condição hidrológica do solo e da condição de umidade do solo da área antes da chuva de projeto de 24 h (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2014).

O tipo de solo de toda a área é do tipo B, por se tratar de um Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico e possuir taxa de infiltração de água entre 40-190 mm/h (SANTOS. *et al.*, 2018). Devido ao fato de o estudo se direcionar a eventos máximos, foi utilizado a condição de umidade antecedente AMC III, que é quando o total precipitado dos cinco dias anteriores a chuva de projeto foi acima de 52,5 mm (TUCCI, 2000).

Para as áreas dos novos bairros, fez-se a delimitação dos arruamentos dos bairros, por possuírem valores de CN diferente das áreas edificadas (Figura 5). Pelo plano diretor da cidade (PONTE NOVA, 2016), esses novos bairros podem impermeabilizar até 80% da área do lote. Em cada um dos dois loteamentos, o valor de CN foi obtido levando em consideração as áreas e taxas de impermeabilização.

Também foi realizada uma estimativa do CN caso o plano diretor exigisse taxa máxima de impermeabilização de 65% da área edificável. Essa taxa foi adotada por se tratar da taxa máxima abordada por Tucci, (2000).

No presente estudo foram simulados três cenários: Cenário 1 - referente às condições de uso e ocupação do solo anteriores a implantação dos novos bairros; Cenário 2 - referente à situação futura em que 80% da área edificável dos bairros novos estarão consolidadas; e o Cenário 3 - referente à situação hipotética de redução para 65% o valor máximo de impermeabilização da área edificável.

Tabela 2 - Valores de CN para bacias com ocupação urbana para condições de umidade antecedente AMC II (Condição em que tenha ocorrido precipitação entre 35 a 52,5 mm em até cinco dias anteriores a chuva de projeto)

Utilização ou cobertura do solo		Tipo de solo			
		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 terreno em más condições		68	79	86	89
Terrenos baldios em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim		45	66	77	83
Florestais com cobertura boa		25	55	70	77
espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, todos em boas condições	(Com relva em mais de 75% da área)	39	61	74	80
espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, todos em boas condições	(Com relva em 50 a 75% da área)	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritório		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais		77	85	90	92
Lotes (m²)	% de área impermeável				
< 500	65	61	75	83	87
1000	38	57	72	81	86
1300	30	54	70	80	85
2000	25	51	68	79	84
4000	20	98	98	98	98
Parque de estacionamento, telhados, viadutos etc.					
	asfaltado e com drenagem	98	98	98	98
Arruamentos e estradas	com paralelepípedo	76	85	89	91
	de terra	72	82	87	89

Fonte:(TUCCI, 2000).

Com isso, foi obtido o escoamento superficial total, para os três cenários, pela equação (2) descrita em Pruski, Brandão e Silva (2014).

$$ES = \frac{(PT - 0,2S)^2}{(PT + 0,8S)} \quad (2)$$

em que:

ES = escoamento superficial total, mm;

PT = precipitação total, mm;

S = infiltração potencial, mm.

O volume de escoamento total foi obtido da multiplicação da lâmina de escoamento superficial obtido com o método do número da curva com a área da sub bacia e dos bairros para cada um dos cenários avaliado.

As informações relativas às precipitações foram obtidas da estação pluviométrica 02042018-Ponte Nova jusante, sendo adotada a precipitação máxima relativa a um período de retorno de cinco anos, que é o recomendado para projetos de drenagem que abrangem áreas residenciais e comerciais (PORTO et al., 2012). Os dados da série histórica da referida estação foram obtidos do sistema Hidroweb (“HIDROWEB”, [2020]), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), sendo a precipitação máxima com período de retorno de cinco anos calculada no programa computacional SisCAH 1.0 (2009), que é um sistema computacional para análise hidrológica, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), da Universidade Federal de Viçosa.

2.3 TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

O controle e destinação do escoamento superficial podem seguir medidas estruturais, que são medidas de intervenção física, com o intuito de reduzir, desviar, deter ou escoar a água de maneira mais rápida.

2.3.1. BARRAMENTO DE RETENÇÃO

Os barramentos são projetados para receber toda a vazão extra de um evento de precipitação e posteriormente parte dessa lâmina detida sai do barramento, o caracterizando como barramento de retenção (TUCCI, 2005). Além disso, possuem a possibilidade de amortecer a drenagem de grandes áreas, liberar descargas pequenas e de retardar o pico de vazão. Por outro lado, requerem de vasta área para a sua implementação e requerem custos de manutenção, principalmente em virtude do assoreamento (BASTOS, 2009).

Ao escolher local para a implantação de um barramento, aspectos topográficos devem ser considerados, sendo eles: o levantamento planialtimétrico; os locais onde o curso hídrico seja mais estreito; a área do reservatório deve ter declividade mediana a montante; a não

existência de nascentes; a escolha de posicionamento que facilite utilizar o uso da água por gravidade; e a mitigação de prejuízos advindos da inundação em áreas cultivadas e de benfeitorias rurais e urbanas (MATOS; SILVA; PRUSKI, 2013).

A bacia apresenta uma lavra de pedreira inoperante, local estratégico para a construção do mesmo, uma vez que a hidrografia já passa pelo local e, além disso, a área a montante é suficiente para suportar/armazenar volumes de água maiores do que o volume excedente (escoamento superficial) obtido no presente estudo.

O volume drenado do bairro Estrela da Mata já escoar naturalmente para dentro da lavra da pedreira. Para o volume drenado do bairro Alto Guarapiranga, que está situado ao lado da lavra, é necessário a construção de redes de drenagem que levem o volume escoado até o local do barramento. Em virtude das características planialtimétricas desse bairro, para que o barramento seja eficiente para conter o excesso de escoamento do bairro Alto Guarapiranga será necessário a instalação de um conduto de drenagem principal, responsável por drenar 81,7% área do referido bairro e um conduto secundário para drenar 18,3% da área restante.

O volume útil do reservatório deve ser o suficiente para reter todo o volume escoado proveniente dos novos bairros. O volume do barramento é obtido pela somatória de volumes parciais entre curvas de nível subsequentes, que é dado pela equação (3) (MATOS; SILVA; PRUSKI, 2013).

$$V_n = (S_{n-1} + S_n) \frac{h}{2} \quad (3)$$

em que:

V_n = volumes parciais entre curvas de nível subsequentes;

S_{n-1} = área da primeira curva de nível;

S_n = área da curva de nível posterior a primeira;

h = diferença de altura entre as duas curvas de nível.

A altura molhada do barramento se dá pela divisão do excedente do volume escoado pela área alagada disponível.

2.3.2. REFLORESTAMENTO

Áreas de mata nativa infiltram mais água comparado com todos os outros tipos de uso do solo (Tabela 2), desde que ambas as áreas pertençam a mesma classificação de solo. Alterando o uso e ocupação do solo para uma utilização em que haja maior infiltração, o escoamento superficial será menor.

Para que o volume extra de escoamento superficial gerado pela implantação dos novos bairros seja mitigado através da alteração do uso e ocupação do solo será necessário a transformação de parte da área de pastagem degradada em área de reflorestamento, para que o volume extra infiltrado na área reflorestada, seja aproximadamente igual ao volume extra escoado pelos novos bairros.

2.3.3. REDUÇÃO DA TAXA DE IMPERMEABILIZAÇÃO

No presente estudo avaliou-se como medida não estrutural, a qual visa alterar o gerenciamento do uso do solo e o manejo sustentável das águas pluviais (NAOMI; TOMINAGA, 2013). a alteração do plano diretor, para que haja uma redução de 15% da taxa de impermeabilização permitida, aumentando assim a infiltração de água no solo e reduzindo o volume escoado.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 são apresentados valores de CN para a condição de umidade antecedente AMC II e AMC III para as áreas de Pastagem Degradadas, Área Urbana Moderada, Área Urbana Consolidada e Mata Atlântica. Devido ao fato de o estudo se direcionar a eventos máximos, foi utilizado a condição de umidade antecedente AMC III (PRUSKI; BRANDÃO; SILVA, 2014, TUCCI, 2000). No Cenário 1 os bairros estão na condição de Pastagem Degradada e, desta forma, nas simulações se adotou o valor de CN igual a 84 (Tabela 3).

Na Tabela 4 são apresentados os valores de CN para cada tipo de uso e ocupação do solo e ponderados pela área e respectivos usos existentes em cada um dos novos bairros estudados, na qual tem-se que para o Cenário 2 os valores de CN ponderado para os bairros Estrela da Mata e Alto Guarapiranga foram, respectivamente iguais a 96,2 e 96,0, enquanto para o Cenário 3 o CN ponderado foi de 94,3 para ambos os bairros.

Na Tabela 5 tem-se as lâminas de escoamento superficial (por unidade de uso e ocupação do solo e total*) estimados para a Sub Bacia 1 considerando os Cenários 1, 2 e 3 do presente estudo. O valor do escoamento superficial dos Cenários 1, 2 e 3 é, respectivamente, de 62,51 mm, 66,45 mm, 65,78 mm (Tabela 5). Desta forma, é possível verificar que maior parte da lâmina precipitada se transforma em lâmina de escoamento superficial a medida que a área dos bairros vai se consolidando, em função do aumento da impermeabilização do solo. Motivo pelo qual o Cenário 2, que possui a maior área impermeabilizada, também possui maior lâmina de escoamento superficial em relação ao Cenário 3 e Cenário 1.

Na Tabela 5 também é possível verificar diferenças expressivas na lâmina de escoamento superficial estimadas para os bairros, quando se compara os Cenários 2 e 3 em relação ao 1, sendo observado um aumento médio da lâmina de escoamento nas áreas bairros em estudo da ordem de 50,5% (30,1 mm) e 42,1% (24,9 mm) para os cenários 2 e 3, respectivamente, em relação ao cenário 1. Comparando o Cenário 2 com o Cenário 3 (15% a mais de área permeável), verifica-se que a redução na lâmina de escoamento superficial não ocorre na mesma proporção do aumento da área permeável, sendo observado um aumento de 9% e 8% para os bairros Estrela da Mata e Alto Guarapiranga, respectivamente. Isso se dá em virtude do peso que a área e o CN de arruamento têm na estimativa do escoamento superficial. Evidenciando, desta forma, uma baixa eficiência dessa medida não estrutural quanto à mitigação dos impactos da implantação desses novos bairros sobre a lâmina de escoamento superficial na área de estudo.

Tabela 3 - Número da curva para os tipos de uso e ocupação do solo existentes na área de estudo considerando as condições de umidade antecedente à chuva iguais a AMC II e AMC III

Classificação	Tipo de solo	CN (AMC II)	CN (AMC III)
Área Urbana Moderada	B	85	94
Área Urbana Consolidada	B	90	96
Pastagem Degradada	B	69	84
Mata Atlântica	B	55	74

Fonte:(TUCCI, 2000).

Tabela 4 - Valores do número da curva (CN) por uso e ocupação do solo e também ponderado para as áreas dos bairros Estrela da Mata e Alto Guarapiranga para os Cenário 2 e 3

Uso e ocupação	Área (km ²)	CN (AMCII)	CN (AMCIII)
Cenário 2 (80% impermeabilizado) - Bairro Estrela da Mata			
Arruamento	0,051	85	94
Área edificável (80% impermeável)	0,148	100	100
Área edificável (20% permeável)	0,037	69	84
Área total	0,236		96,2
Cenário 2 (80% impermeabilizado) - Bairro Alto Guarapiranga			
Arruamento	0,017	85	94
Área edificável (80% impermeável)	0,033	100	100
Área edificável (20% permeável)	0,008	69	84
Área total	0,059		96,0
Cenário 3 (65% impermeabilizado) - Bairro Estrela da Mata			
Arruamento	0,051	85	94
Área edificável (65% impermeável)	0,120	100	100
Área edificável (35% permeável)	0,065	69	84
Área total	0,236		94,3
Cenário 3 (65% impermeabilizado) - Bairro Alto Guarapiranga			
Arruamento	0,017	85	94
Área edificável (65% impermeável)	0,027	100	100
Área edificável (35% permeável)	0,014	69	84
Área total	0,059		94,3

Fonte: Autor.

Tabela 5 - Valores de escoamento superficial (por unidade de uso e ocupação do solo e total*) estimados para a Sub Bacia 1 considerando os Cenários 1, 2 e 3 do presente estudo

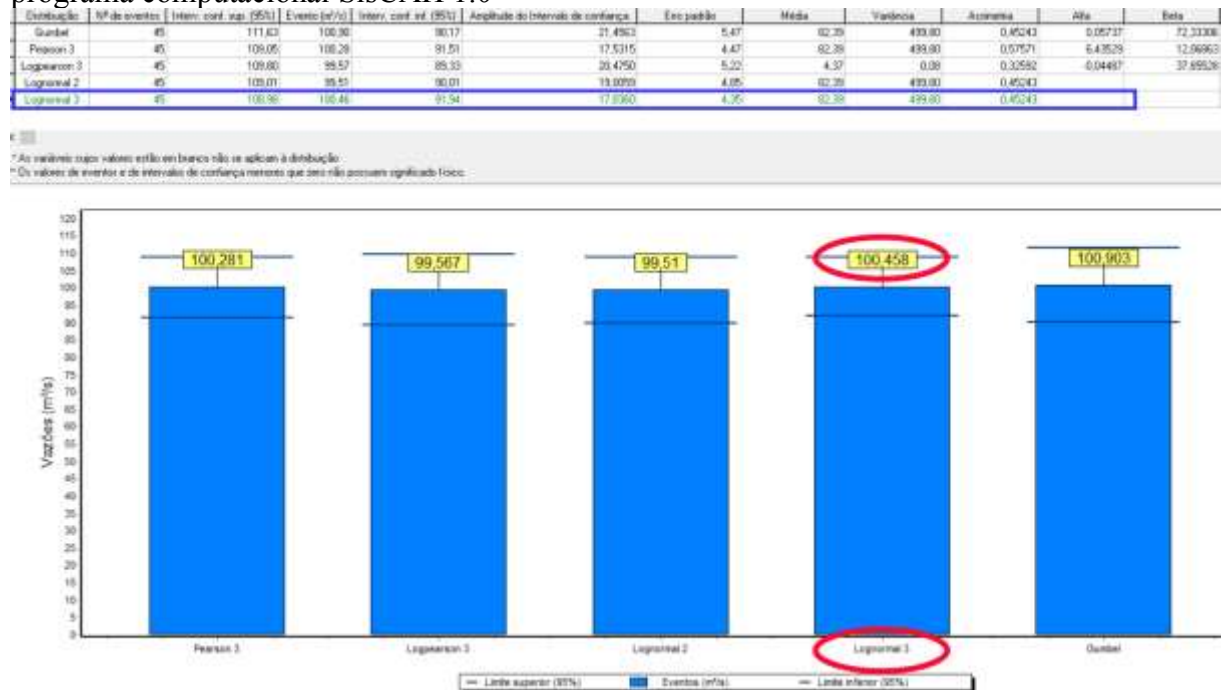
Classificação	Área (km²)	Área (%)	S (mm)	PT (mm)	ES (mm)
Cenário 1 - antes da intervenção					
Bairro Estrela da Mata	0,236	10,51	48,38	100,46	59,22
Bairro Alto Guarapiranga	0,059	2,63	10,58	100,46	59,22
Área urbana moderada	0,247	11,00	16,21	100,46	83,32
Área urbana consolidada	0,166	7,39	10,58	100,46	88,79
Pastagem degradada	1,359	60,51	48,38	100,46	59,22
Mata Atlântica	0,179	7,97	89,24	100,46	39,71
					62,50*
Cenário 2 - 80% impermeabilizado					
Bairro Estrela da Mata	0,236	10,51	10,03	100,46	89,35
Bairro Alto Guarapiranga	0,059	2,63	10,58	100,46	88,79
Área urbana moderada	0,247	11,00	16,21	100,46	83,32
Área urbana consolidada	0,166	7,39	10,58	100,46	88,79
Pastagem degradada	1,359	60,51	48,38	100,46	59,22
Mata Atlântica	0,179	7,97	89,24	100,46	39,71
					66,44*
Cenário 3 - 65% impermeabilizado					
Bairro Estrela da Mata	0,236	10,51	15,31	100,46	84,16
Bairro Alto Guarapiranga	0,059	2,63	15,31	100,46	84,16
Área urbana moderada	0,247	11,00	16,21	100,46	83,32
Área urbana consolidada	0,166	7,39	10,58	100,46	88,79
Pastagem degradada	1,359	60,51	48,38	100,46	59,22
Mata Atlântica	0,179	7,97	89,24	100,46	39,71
					65,78*

Fonte: Autor.

Comparando a lâmina de escoamento nos dois bairros, verifica-se que apenas no cenário 2 há uma pequena diferença entre nas estimativas das lâminas escoamento entre os bairros (Tabela 5), sendo a mesma 0,6% maior no bairro Estrela da Mata em relação ao bairro Alto Guarapiranga.

A função de distribuição que melhor se ajustou aos dados de chuva para o local do presente estudo foi a Log-Normal 3, a qual indica uma chuva de projeto para um período de retorno de cinco anos igual a 100,46 mm (Figura 6). Cabe ressaltar que, conforme divulgado no jornal Folha de Ponte Nova (2020) em 17 de abril de 2020, um evento de chuva de 75 mm foi suficiente para gerar alagamento na região do presente estudo, o que evidencia, na prática, uma frequência de alagamento para o local estudado inferior a cinco anos.

Figura 6 - Chuva de projeto referente a um período de retorno de cinco anos utilizando-se o programa computacional SisCAH 1.0



Fonte: Autor.

Na Tabela 6 observa-se aumento expressivo no volume escoado na sub bacia onde os bairros estão localizados, consequência do aumento do escoamento superficial proporcionado pelo estabelecimento dos bairros em estudo. Esse volume extra de água escoada gerada pela implantação dos bairros é de 8839,9 m³ e de 7345,8m³ para os Cenário 2 e 3, respectivamente. O conhecimento desses volumes extras é de fundamental importância para dimensionamento de técnicas compensatórias que visam mitigar o potencial dano que ele pode causar nas regiões a jusante. É possível verificar ainda na Tabela a redução de 15% da área impermeabilizada dos bairros resultou em diminuição aproximada de 16,9% do volume de escoamento superficial.

Considerando que técnica compensatória não estrutural (redução do percentual de área impermeável) não se mostrou muito eficiente em mitigar o excesso do escoamento superficial em função do estabelecimento dos bairros, há necessidade de avaliação de outras técnicas compensatórias. No presente estudo avaliamos as técnicas de reflorestamento e barramento para conter o excesso de escoamento produzidos pelo estabelecimento dos bairros.

Adotando o reflorestamento como técnica compensatória, verificou-se que, para zerar o excesso de escoamento superficial em função do estabelecimento dos bairros, ou seja, “deter” todo o excesso de volume do escoamento superficial, é necessário a substituição de 33,55% e

27,9% das áreas de pastagens degradadas por florestas nos Cenários 2 e 3, respectivamente (Tabela 7).

Tabela 6 – Estimativas do volume e de incrementos (m³ e %) de escoamento superficial (ES) estimados para os Cenários 1, 2 e 3 na Sub Bacia 1 e nos bairros Estrela da Mata e Alto Guarapiranga

Cenários	Volume (m³)	Incremento de volume em relação ao Cenário 1	
		(m³)	%
Sub bacia 1			
1	140300,51		
2	149140,35	8839,8	6,3
3	147646,35	7345,8	5,2
Bairro Estrela da Mata			
1	13977,3		
2	21087,3	7110	50,9
3	19863,8	5886,5	42,1
Bairro Alto Guarapiranga			
1	3465,1		
2	5194,9	1729,9	49,9
3	4924,4	1459,3	42,1

Fonte: Autor.

Tabela 7 - Escoamento superficial (ES) total e Volume escoado total na Sub Bacia 1, nos Cenários 2 e 3, com os respectivos reflorestamentos de área de pastagem degradada

Classificação	Área (km²)	Tipo de solo	CN (AMCIII)	S (mm)	PT (mm)	ES (mm)	Volume (m³)
Cenário 2 e com reflorestamento de 33,5% da área de pastagem degradada							
Sub Bacia 1	2,245	B				62,51	140305,17
Bairro Estrela da Mata	0,236	B	96,20	10,03	100,46	89,35	21087,29
Bairro Alto Guarapiranga	0,059	B	96,00	10,58	100,46	88,79	5194,91
Área urbana moderada	0,247	B	94,00	16,21	100,46	83,32	20605,45
Área urbana consolidada	0,166	B	96,00	10,58	100,46	88,79	14704,67
Pastagem degradada	0,903	B	84,00	48,38	100,46	59,22	53463,43
Mata	0,636	B	74,00	89,24	100,46	39,71	25249,41
Cenário 3 e com reflorestamento de 27,9% da área de pastagem degradada							
Sub Bacia 1	2,245	B				62,51	140308,78
Bairro Estrela da Mata	0,236	B	94,31	15,31	100,46	84,16	19863,84
Bairro Alto Guarapiranga	0,059	B	94,31	15,31	100,46	84,16	4924,36
Área urbana moderada	0,247	B	94,00	16,21	100,46	83,32	20605,45
Área urbana consolidada	0,166	B	96,00	10,58	100,46	88,79	14704,67
Pastagem degradada	0,980	B	84,00	48,38	100,46	59,22	58009,23
Mata	0,559	B	74,00	89,24	100,46	39,71	22201,23

Fonte: Autor.

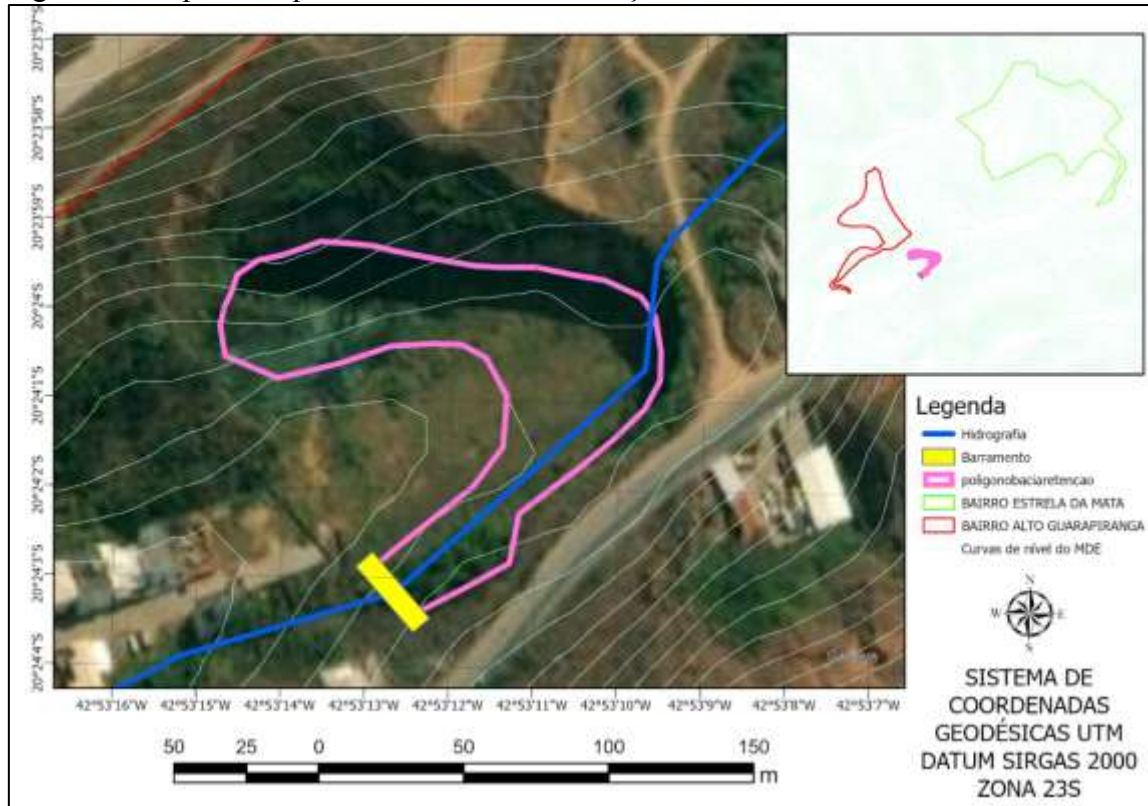
Avaliando a técnica de barramento como medida mitigadora do excesso de escoamento, verificou-se que, para contenção do excesso estimado (Figura 7 e Tabela 8) em função da implantação dos bairros, é necessário a construção/implantação de um barramento com área passível de alagamento igual a 8065,58 m² e altura molhada igual a 1,1m para o Cenário 2 e para o cenário 3, a área passível de alagamento é de 7345,84m² e altura molhada igual a 1,0 m.

No entanto, em função do local mais propício para o estabelecimento do barramento não ter conexão de forma direta o bairro Alto Guarapiranga, é necessário a implantação de dois drenos que faça a condução do excesso de escoamento do bairro Alto Guarapiranga para o barramento proposto (Figura 8 e 9), para que o barramento seja capaz de conter todo o excesso de escoamento superficial gerado em função da implantação dos dois bairros em estudo. Sendo um dreno principal com comprimento de 135m que será responsável por conduzir o excesso de ES produzido em 81,7% das áreas do referido bairro; e um dreno secundário com comprimento de 354 m, que será responsável por conduzir o excesso de ES produzido em 18,3% da área do referido bairro.

Considerando que os bairros do presente estudo já estão em processo de implantação, a técnica compensatória do barramento de retenção é a que pode ser realizada de maneira mais

rápida e apresentar efeito mais imediato na mitigação do excesso de ES produzido. Já o reflorestamento de área de pastagem degradada, apesar de compensar o volume extra escoado, necessita de tempo para se consolidar e efetivar a mitigação.

Figura 7 - Mapa e croqui de barramento de retenção e área inundável



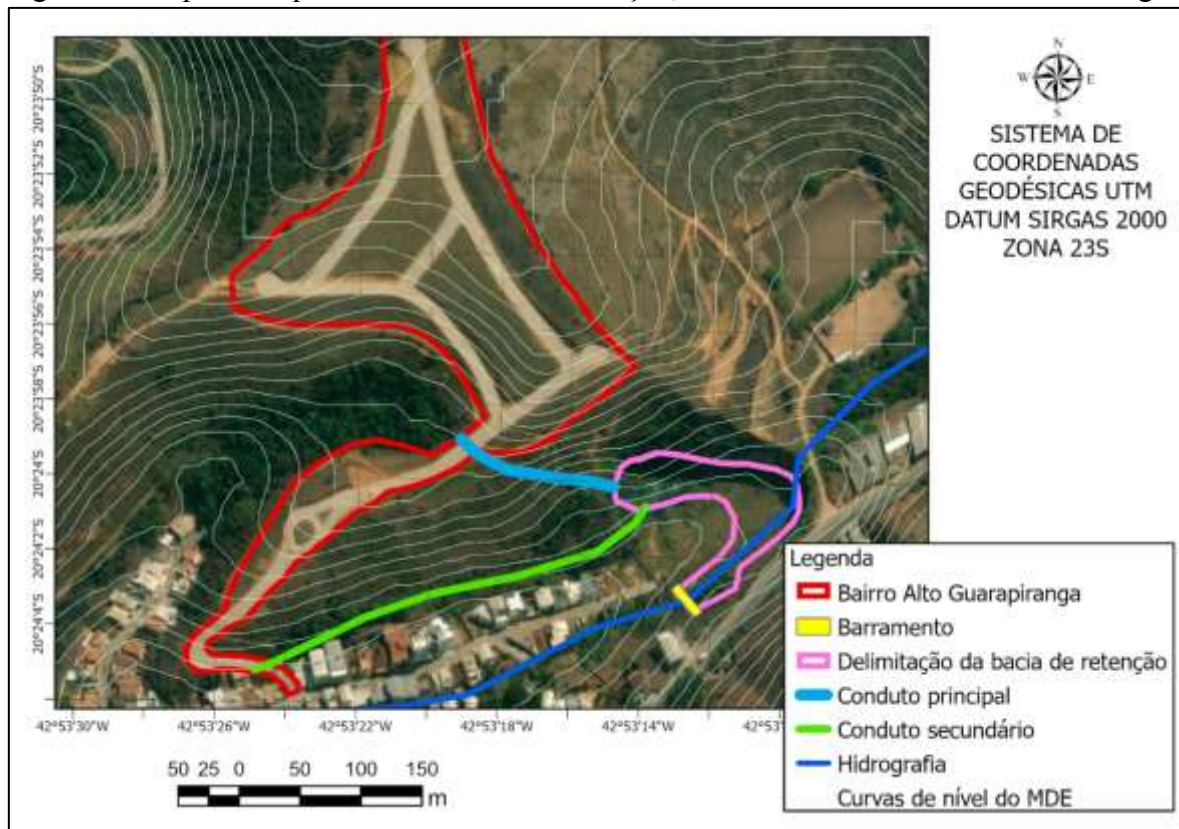
Fonte: Autor.

Tabela 8 - Área alagada, volume armazenado e altura de barramento para retenção do excesso de água para os Cenários 1 e 2 estudados

	Área da pedreira (m ²)	Volume armazenado (m ³)	Altura molhada (m)
Cenário 2	8065,58	8839,84	1,10
Cenário 3	7345,84	7345,84	1,00

Fonte: Autor.

Figura 8 - Mapa e croqui de barramento de retenção, área inundável e condutos de drenagem



Fonte: Autor.

Figura 9 - Fotos da lavra da pedreira inativa, onde foi sugerido a construção do barramento de retenção



Fonte: Autor.

4 CONCLUSÃO

A implantação dos novos bairros (Estrela da Mata e Alto Guarapiranga) afetará expressivamente o volume de escoamento superficial na área de estudo, gerando um excesso de ES em relação ao cenário 1 (antes da implantação dos novos bairros) na ordem de 8839,9 m³ e 7345,8m³ para os cenários 2 e 3, respectivamente.

A medida não estrutural de redução de 15% da taxa de impermeabilização, caracterizada pelo Cenário 3, se mostra pouco efetiva em mitigar o impacto da implantação dos bairros sobre o volume de escoamento superficial, sendo capaz de reduzir apenas 16,9% do excesso do volume escoamento gerado em função da implantação dos referidos bairros.

A técnica compensatória de reflorestamento de áreas de Pastagem Degradada se mostra eficiente em conter e infiltrar o volume extra de escoamento gerado nos referidos bairros, sendo necessário para tal substituir 33,55% e 27,9% da área de pastagem degradada dos bairros por floresta os Cenários 2 e 3, respectivamente.

A técnica compensatória de implementação de barramento de retenção também se mostra eficiente em deter o volume extra de escoamento gerado nos referidos bairros, sendo necessário um barramento com 1,1 e 1,0 m de altura e área de alagamento de 8065,58 m² e 7345,84 m² para os cenários 2 e 3, respectivamente.

5 REFERÊNCIAS

ALVES, E., SOUZA, G., MARRA, R. Êxodo e sua contribuição à urbanização de 1950 a 2010. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, DF. v 20, n. 2, p. 80-88, abr./jun.2011.

AGRA, S. G. **Estudo experimental de microrreservatórios para controle do escoamento superficial**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2001.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Hidroweb**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 25 nov. 2020.

BASTOS, P. C. **Efeitos da urbanização sobre vazões de pico de enchente**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, 2009.

CANÇADO, V. L. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade**. 2009. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2009.

CHAVES, Gabriel. Drama pontenovense no temporal de meia hora. **Folha de Ponte Nova**. Ponte Nova, MG 1603, p. 3, 17 abr. 2020.

FEAM. Fundação Estadual Do Meio Ambiente. **Mapa de Solos**. Disponível em: <<http://www.feam.br/-qualidade-do-solo-e-areas-contaminadas/mapa-de-solos>>. Acesso em: 23 out. 2020.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Brasil). **IBGE**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ponte-nova/panorama>>. Acesso em: 23 out. 2020.

MATOS, A. T. DE; SILVA, D. D. DA; PRUSKI, F. F. **Barragens de Terra de Pequeno Porte**. 1ª reimpre. Viçosa: Editora UFV, 2013.

NAOMI, E.; TOMINAGA, D. E. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2013.

NASA EARTHDATA; VERTEX, A. A. D. S. **ASF Data Search**. Disponível em: <<https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS&zoom=3¢er=-97.493959,39.672786>>. Acesso em: 8 dez. 2020.

PONTE NOVA. **Lei Complementar Nº 4.029/2016**. Dispõe sobre o Plano Diretor Estratégico de Desenvolvimento Integrado e Sustentável - PLEDS do Município de Ponte Nova e dá outras providências. Câmara Municipal [2016]: .Disponível em: <https://sapl.pontenova.mg.leg.br/media/sapl/public/normajuridica/2016/2023/lei_4.029_consolidada.pdf>. Acesso em 10 out. 2020.

PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. DOS S.; SILVA, D. D. DA. **Escoamento Superficial**. 2ª ed.

Viçosa: Editora UFV, 2014.

SANTOS H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed. Empresa Brasileira de Agropecuária. Brasília: Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, 2018. 366p.

SisCAH 1.0. Universidade Federal de Viçosa. **Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos - GPRH**. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 23 out. 2020.

TUCCI, C.; CRUZ, M. Otimização das Obras de Controle de Cheias em uma Bacia Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS. v. 12, n. 2, p. 63–80, abr./jun. 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH-EDUSP, 2000.

VARGAS, M. C. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, SP. n. 5, p. 109–134, set. 1999. DOI 10.1590/S1414-753X1999000200009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000400655&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Rio de Janeiro, RJ v. 21, n. 4, p. 655–662, out./dez. 2016.