ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Gestão do uso de Pavimento permeável: Integração BIM e Programação Visual

Management of the use of SUDS: BIM Integration and Visual Programming

Luciano Hamed Chaves Haidar Sousa
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | lucianohamed@gmail.com
Camily Vasconcelos Barbosa
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | vasconcelosmily@gmail.com
Cely Martins Santos de Alencar
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | celyms@ufc.br
Ticiana Marinho de Carvalho Studart
Universidade Federal do Ceará | Fortaleza | Brasil | ticiana@ufc.br

Resumo

A gestão eficiente do escoamento de águas pluviais representa um desafio significativo no contexto do planejamento urbano, especialmente no Brasil, onde o crescimento desordenado das grandes cidades tem sido uma característica marcante. Nos últimos anos, houve um aumento nos investimentos direcionados ao setor, impulsionados pelo marco legal do saneamento e pelo estímulo do uso da Modelagem da Informação e da Construção (BIM), através da estratégia BIM BR Nesse contexto, os Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável (SUDS) surgem como soluções promissoras, capazes de mitigar vazões e, em alguns casos, reduzir custos de implantação. Este trabalho propõe uma nova metodologia de trabalho integrando Programação Visual e BIM, para realizar ajustes iterativos de parâmetros hidrológicos e hidráulicos, visando análises eficientes. A integração dessas ferramentas automatiza partes do processo de dimensionamento de drenagem, permitindo análises mais rápidas, eficientes e eficazes. Os resultados iniciais mostram que a pesquisa apresenta viabilidade nas aplicações para a automação de projetos de drenagem com soluções mais sustentáveis, com o uso de ferramentas de modelagem e programação visual.

Palavras-chave: BIM. SUDS. Drenagem Sustentável. Programação Visual.

Abstract

The efficient management of rainwater runoff represents a significant challenge in the context of urban planning, especially in Brazil, where the disorderly growth of large cities has been a striking feature. In recent years, there has been an increase in investments directed to the sector, driven by the legal framework for sanitation and by encouraging the use of Information and Construction Modeling (BIM), through the BIM BR strategy. In this context, Urban Sustainable Drainage Systems (SUDS) emerge as promising solutions, capable of mitigating

Como citar:
SOUSA, L. H. C. H., BARBOSA, C. V., ALENCAR, C. M. S., STUDART, T. M. C. Gestão do uso de Pavimento permeável: Integração BIM e Programação Visual. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

flows and, in some cases, reducing implementation costs. This work proposes a new work methodology integrating Visual Programming and BIM, to perform iterative adjustments of hydrological and hydraulic parameters, aiming for efficient analyses. The integration of these tools automates parts of the drainage sizing process, allowing for faster, more efficient and effective analyses. The initial results show that the research presents feasibility in applications for the automation of drainage projects with more sustainable solutions, using modeling and visual programming tools.

Keywords: BIM. SUDS. Sustainable Drainage. Visual programming.

INTRODUÇÃO

Nas últimas cinco décadas, ocorreu uma evolução tecnológica exponencial, cujo impacto reverbera em todos os setores e associada a esta evolução houve o aumento da urbanização das cidades. Segundo Galhardo [1], o processo de urbanização tornou-se um dos mais importantes eventos da história humana, demonstrando tendência consistente para os séculos XX e XXI, onde cerca de 55% dos habitantes do planeta residem em áreas urbanas e estima-se um aumento deste percentual para 68% no ano de 2050. Segundo Ferreira [2], a urbanização impermeabiliza o solo, reduzindo a capacidade de infiltração da água e aumentando o volume e a velocidade de escoamento, sobrecarregando os sistemas tradicionais de drenagem e ocasionando o aumento da temperatura ambiente.

Considerando a iminência do aumento da demanda por projetos de infraestrutura no cenário nacional, é fundamental desenvolver mecanismos que otimizem o uso do BIM ao longo de todo o ciclo de vida dos equipamentos urbanos, garantindo a celeridade e confiabilidade dos projetos desenvolvidos, em conformidade com as iniciativas federais, como a estratégia BIM BR e o marco legal do saneamento [3].

A Modelagem da Informação da Construção, ou BIM, representa uma abordagem revolucionária na qual um modelo digital é enriquecido com informações pertinentes ao ciclo de vida de uma construção, seja ela uma edificação ou uma infraestrutura. Segundo Kymmell [4], o BIM é um processo de projeto e simulação baseado em modelos tridimensionais, nos quais os componentes da construção estão interligados a todas as informações necessárias, desde o planejamento até a demolição.

Em paralelo, no campo do desenvolvimento, coordenação e análise de projetos, a programação visual emerge como uma ferramenta crucial para otimizar atividades repetitivas no fluxo do processo. Essa abordagem permite que usuários codifiquem e manipulem regras usando elementos gráficos, representando entidades e suas relações. Essas regras, processadas em aplicações como Dynamo® e Grasshopper®, por exemplo, geram ou modificam modelos generativos, paramétricos ou componentes do modelo BIM [5].

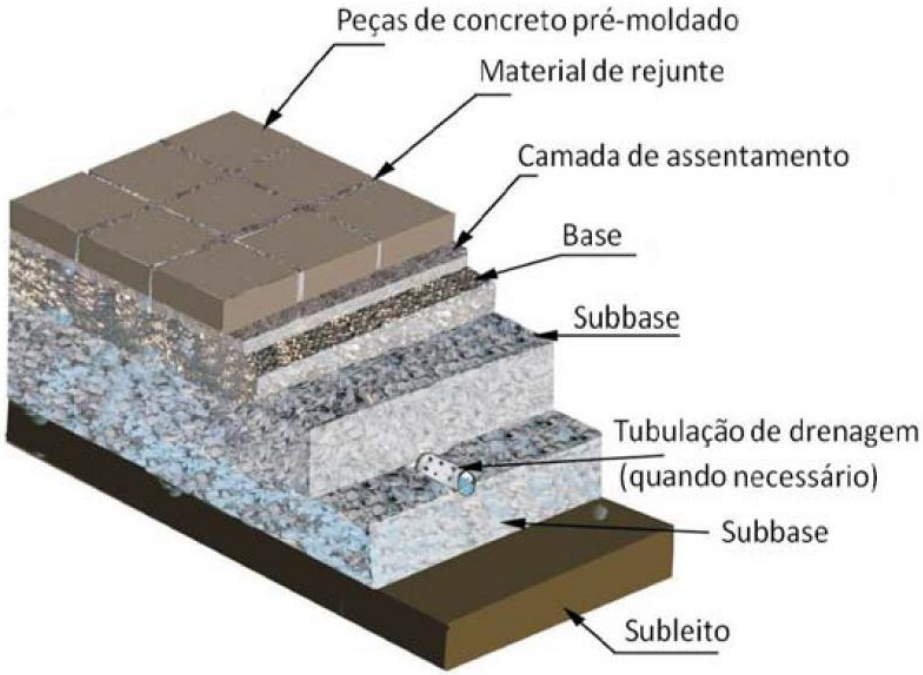
No entanto, apesar das vastas aplicações da programação visual, seu uso no setor de projetos de infraestrutura ainda está em estágio inicial. Neste contexto, esta pesquisa se concentra em trazer uma nova metodologia de trabalho com o uso do BIM e da programação visual na implementação de Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentável

(SUDS) do tipo pavimento permeável, embora os resultados possam ser extrapolados para outros tipos de pavimentos e componentes de infraestrutura.

Na hidrologia, segundo Batista [6], a precipitação é definida como toda água que atinge a superfície e a chuva é o mais importante tipo de precipitação devido à sua capacidade de produzir escoamento.

A estrutura de um pavimento permeável, Figura 1, deve ser projetada levando em conta as características das chuvas na região, um período específico de retorno, a permeabilidade e a capacidade de suporte do solo, além do nível do lençol freático.

Figura 1: Seção típica de pavimento intertravado permeável

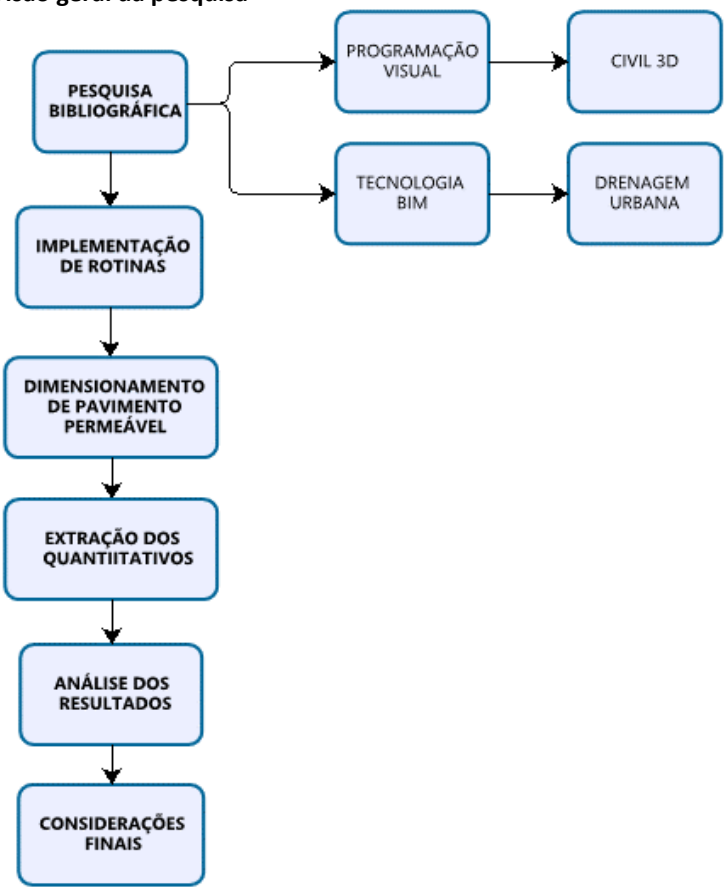


Fonte: Associação Brasileira de Cimento Portland [7]

METODOLOGIA DE PESQUISA

A visão geral do desenvolvimento da pesquisa é mostrada na Figura 2.

Figura 2: Visão geral da pesquisa



Fonte: o autor.

A metodologia consistiu em revisão bibliográfica, sobre BIM, programação visual e SUDs. Em seguida, foi mapeado o fluxo de um projeto de drenagem com pavimento permeável. Posteriormente, foi realizada implementação de melhorias no processo de projeto por meio de programação visual, bem como, o levantamento de informações adquiridas na etapa de projeto e classificadas quanto a sua utilidade nas etapas do ciclo de vida. Ademais, foi desenvolvido um estudo de caso para validação das melhorias.

Para o estudo em questão, foi escolhido o desenvolvimento de um projeto de empreendimento horizontal multifamiliar. Dentre as ferramentas utilizadas no processo, destacam-se os softwares Autodesk Civil 3D, Autodesk Dynamo e Microsoft Excel. Para a equação da chuva, utilizou-se uma ferramenta que caracteriza as chuvas intensas no Estado do Ceará, principalmente por meio do desenvolvimento da equação IDF de cada município, utilizando dados de pluviômetros, conforme desenvolvido por Batista [6]. Para o dimensionamento do pavimento permeável do ponto de vista hidráulico, optou-se por utilizar o método apresentado na NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Com as informações em mãos, foi iniciado o embasamento teórico, que consistiu no estudo sobre pavimento permeável, programação visual e Autodesk Civil 3D. Dessa forma, foram avaliadas as etapas de execução de um projeto e listadas algumas possíveis

melhorias no processo para a diminuição do tempo de elaboração do projeto, obtendo resultados iguais aos encontrados no processo manual.

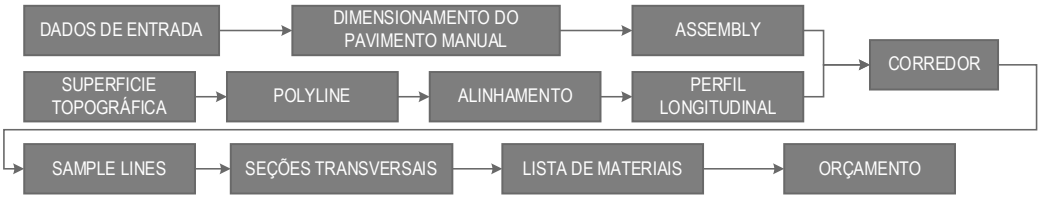
Para o estudo, foram selecionadas a criação de alinhamento, perfil longitudinal, dimensionamento e exportação de quantitativo para geração do orçamento automatizado. Para a validação foi desenvolvido o mesmo projeto com e sem o uso de programação visual associado a uma ferramenta BIM para análise dos resultados.

Ademais, foram abordadas por meio de análise qualitativa a avaliação do uso do BIM e da programação visual no processo de projeto por meio da estratégia dos usos do BIM citado por Kreider e Mssener [8], no tocante às etapas de projeto, execução e operação do empreendimento, com enfoque na pavimentação permeável.

MAPEAMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE MELHORIAS

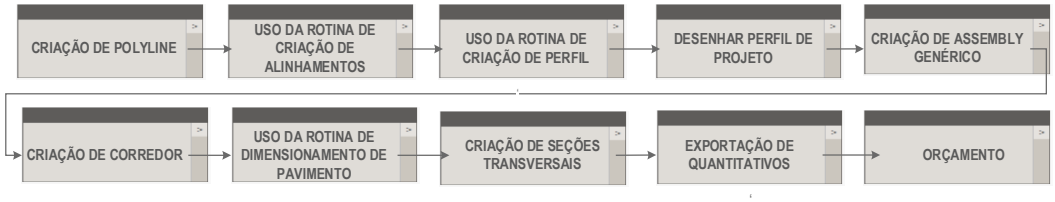
Foi mapeado o fluxo de projetual sem o uso de automação (Figura 3) e com o uso de automação (Figura 4) a fim de gerar posteriormente um comparativo entre os dois processos.

Figura 3: Fluxo de trabalho sem automação



Fonte: O autor

Figura 4: Fluxo de trabalho com o uso das rotinas



Fonte: O autor

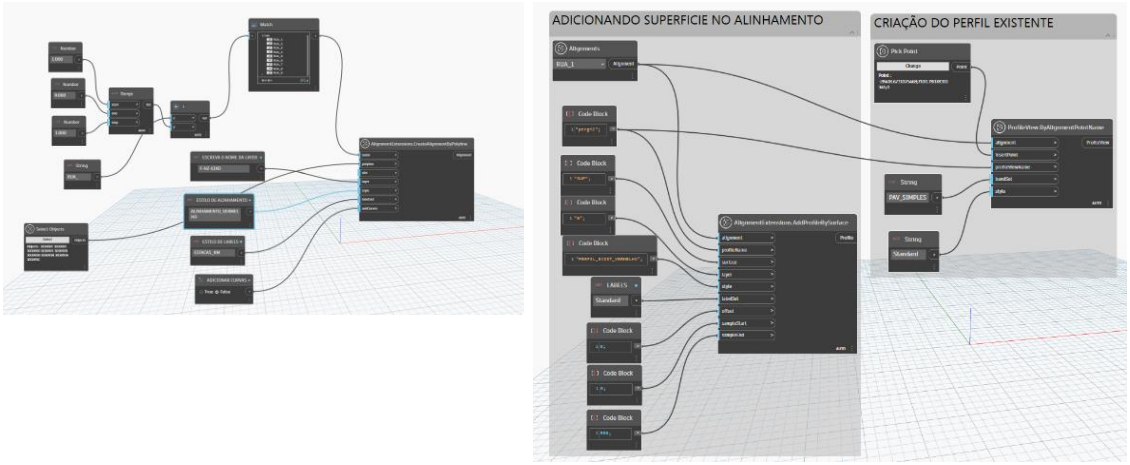
Dentre as propostas de automação tem-se as primeiras rotinas desenvolvida na Figura 5, que converte polilinhas em alinhamentos e insere uma superfície no alinhamento selecionado. Dentre os seus dados de entrada, tem-se o nome do alinhamento a seleção da polilinha, os estilos e a adição ou não de curvas automáticas. Como alguns dos dados de entrada não precisam ser alterados de um projeto para outro, como os estilos e camadas.

No uso da rotina, pode-se em alterar apenas o nome do alinhamento e a seleção da polilinha. A segunda rotina possibilita que o conjunto de nós seguintes gere uma vista de perfil com superfície adicionada anteriormente com estilos pré-definidos. Dentre os importantes dados de entradas, tem-se a

seleção do ponto ao qual deseja-se inserir a vista de perfil, seleção do alinhamento em caixa suspensa, dentre as configurações de estilos que a depender do tipo de projeto não precisam ser alteradas.

A rotina desenvolvida para a exportação de quantitativos, mostrada na Figura 6, tem a função de exportar as informações parametrizadas para uma planilha eletrônica, na qual os dados poderão ser tratados em uma planilha pré-configurada e assim, facilmente um orçamento pode ser gerado. Na ferramenta Autodesk Civil 3D, existe nativamente implementada uma função de levantamento de materiais, mas por este método foi identificada uma dificuldade em relação a manipulação e exportação das informações de forma interoperável.

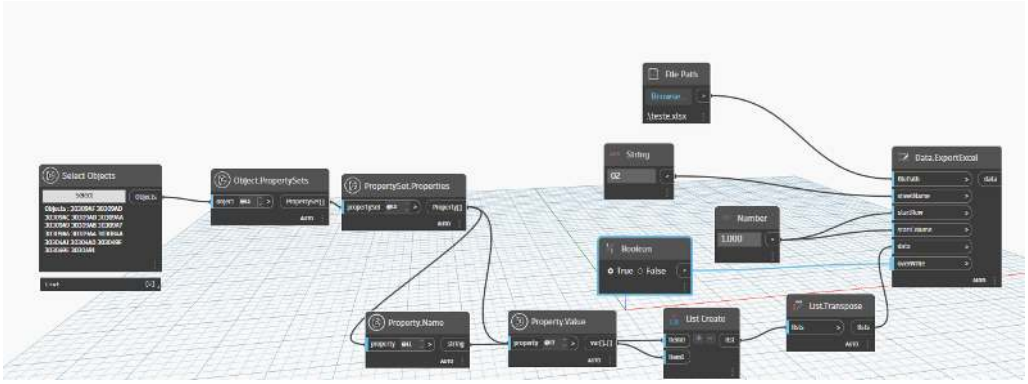
Figura 5: Criação de alinhamento por meio de polilinha e criação de vista de perfil.



Fonte: O autor

Nesse sentido, o uso da rotina visa facilitar a manipulação de informações, bem como servir de base para outras abordagens posteriores. Para a execução da rotina, basta selecionar um arquivo de planilha eletrônica do computador e a seleção dos elementos 3D que terão seus parâmetros exportados, como saída a rotina abre a planilha e insere as informações no arquivo.

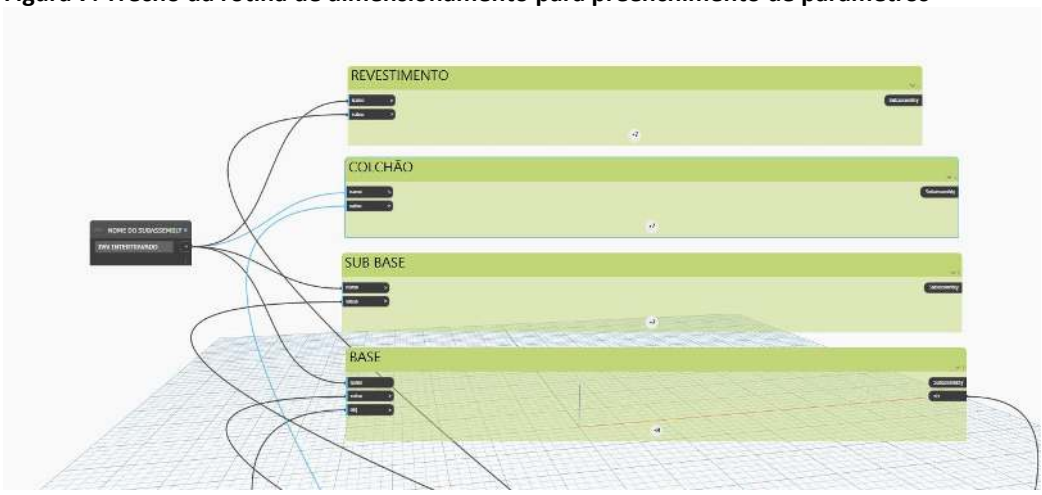
Figura 6: Exportação de quantitativos de pavimento



Fonte: O autor

Para o desenvolvimento do dimensionamento automatizado das camadas de pavimento em intertravado, foram utilizadas as tabelas de valores e ábacos, de forma que inserindo os valores do Número “N”, o ISC Índice de Suporte Califórnia e o nome da montagem do trecho, a rotina não só mostra os valores de cada camada e a espessura total do pavimento. Mas, além disso, insere as informações de cada camada na montagem do projeto e atualiza as informações de superfície de corredor, bem como seções transversais e lista de materiais. Na Figura 7 tem-se a ampliação da parte da rotina que efetua o preenchimento das informações nas montagens do projeto.

Figura 7: Trecho da rotina de dimensionamento para preenchimento de parâmetros



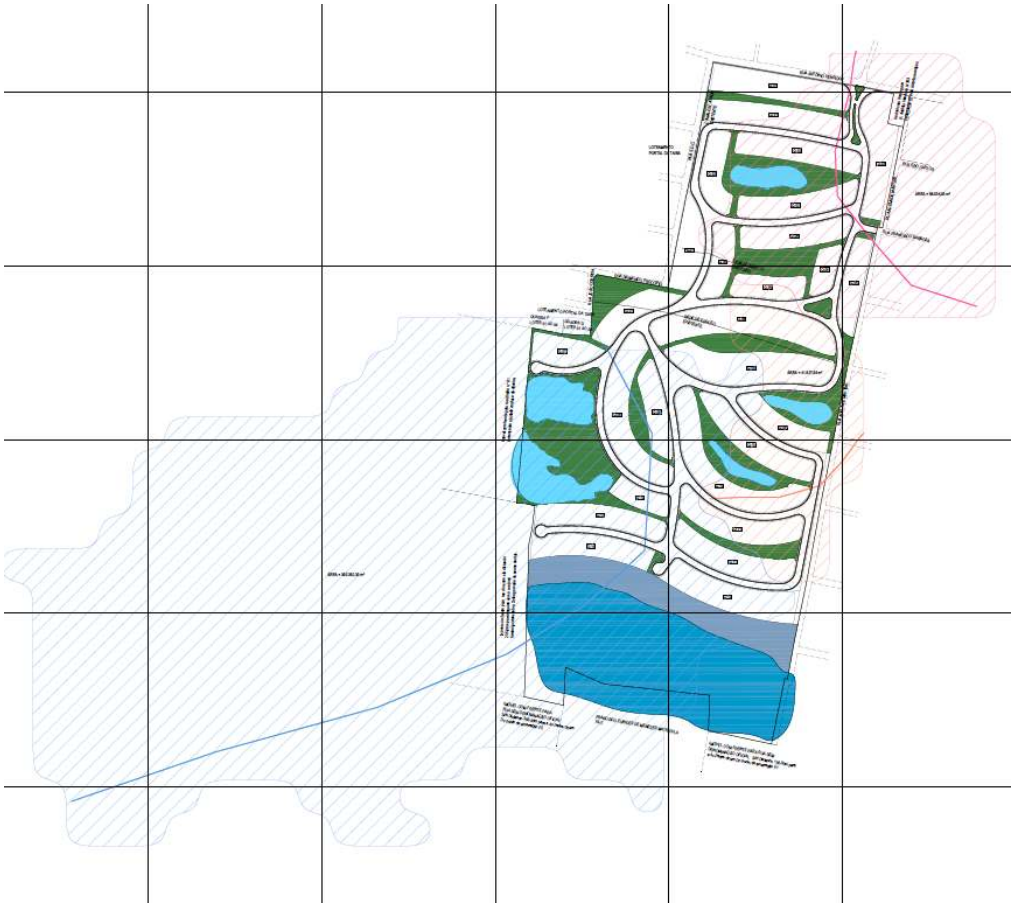
Fonte: O autor

Para o dimensionamento hidráulico do pavimento permeável se fez necessário o estudo hidrológico da região de influência do objeto em questão. Assim, foram realizadas a delimitação de bacias hidrográficas para obter informações sobre a precipitação do local. Para tanto, utilizou-se a equação de chuva de Batista [6] para o objeto de estudo em questão. Para o dimensionamento do pavimento permeável optou-se por utilizar o método da NBR 16416, por ser um método consolidado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a validação do fluxo e das rotinas, foi desenvolvido um projeto de pavimentação de um loteamento situado no município de São Gonçalo do Amarante -CE. Para a etapa de delimitação de bacias, foi utilizado o aplicativo Google Earth.
Em seguida, foi gerada uma planta na ferramenta Autodesk Civil 3D, conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8: Delimitação de bacias hidrográficas de influência no loteamento



Fonte: O autor

Após a etapa de delimitação de bacias, foi necessário determinar a precipitação no local. A equação utilizada foi a de Batista [6], que emprega o método de desagregação de isozonas para criar equações para todos os municípios do Ceará conforme Equação 1.

Equação 1: Equação IDF município de São Gonçalo do Amarante-CE

$$\text{São Gonçalo do Amarante} \quad i = \frac{12{,}830 * (Tr\ - 2{,}090)^{\,0{,}181}}{(t + 15{,}950)^{\,0{,}760}}$$

Fonte: Batista (2018) [6].

O empreendimento possui os seguintes dados urbanísticos, conforme Tabela 1. Foi então dividido em três bacias hidrográficas conforme a análise topográfica. Dessa forma, para este caso, foram necessários três dimensionamentos para a verificação da camada drenante necessária. Para o dimensionamento do pavimento faz-se duas verificações, a de capacidade de carga necessária e pela camada drenante necessária e adota-se a maior delas.

Tabela 1: Dados urbanísticos do empreendimento

QUADRO DE ÁREA		
ÁREA DO TERRENO		214.865,34
ZONA	Z.E.I.T.	
USO	LOTEAMENTO RESIDENCIAL	
ÁREA "NON AEDIFICANDI"		40.534,81
ÁREA REMANESCENTE		174.330,53
ÁREA INSTITUCIONAL	8.720,50	5,00%
ÁREA VERDE	35.036,40	20,10%
ÁREA VIAS	33.375,02	19,14%
ÁREA LOTEADA	97.198,61	55,76%
LOTES RESIDENCIAIS		
DIMENSÃO LOTES PADRÃO		10 X 25
ÁREA LOTE PADRÃO		250,00
TOTAL DE LOTES		319

Fonte: O autor.

Para o dimensionamento pelo método da NBR temos a seguinte equação:

Equação 2: Dimensionamento de altura de camada drenante.

$$\mathrm{Hmáx} = \frac{\Delta \mathrm{QcR} + \mathrm{P} - \mathrm{fTe}}{\mathrm{Vr}}$$

Fonte: NBR 16416 - Pavimentos permeáveis de concreto –Requisitos e procedimentos. [9]

Onde:

$Hmáx$ é a altura do reservatório (m);

ΔQcR é o produto entre a precipitação excedente (ΔQc) e a área de contribuição para uma dada chuva de projeto pela relação entre área de contribuição e a área do pavimento permeável (R);

P é precipitação projeto (m);

f taxa de infiltração do solo (m/h);

T é o tempo de enchimento da camada de reservatório (h) e

Vr o índice de vazios da base.

A seguir, temos o dimensionamento da altura da camada de pavimento de cada bacia do empreendimento, onde, após dimensionamento verificou-se que o valor encontrado pela capacidade de carga do pavimento permanece (Tabela 2).

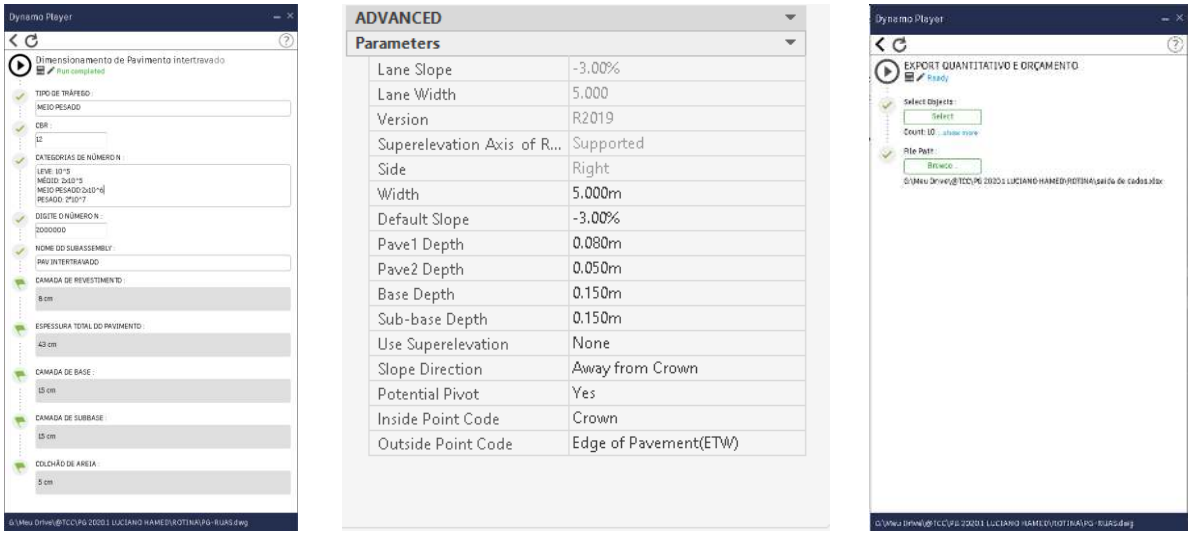
Tabela 2: Dados urbanísticos do empreendimento

ÁREA 1	
Área de pavimentação	10644,1
Área de contribuição	90133,1
Hmax	30cm
ÁREA 2	
Área de pavimentação	4657,85
Área de contribuição	19288,7
Hmax	10 cm
ÁREA 3	
Área de pavimentação	4657,85
Área de contribuição	46986,6
Hmax	20cm

Fonte: O autor.

De acordo com as premissas projetuais adotadas e os processos mapeados anteriormente, foram desenvolvidos dois projetos de pavimentação, um e com o uso de automação e outro sem o uso de automação para a validação do método.
A rotina de dimensionamento além de gerar os resultados, também preenche as informações das propriedades da montagem de forma automática demonstrado na Figura 9.

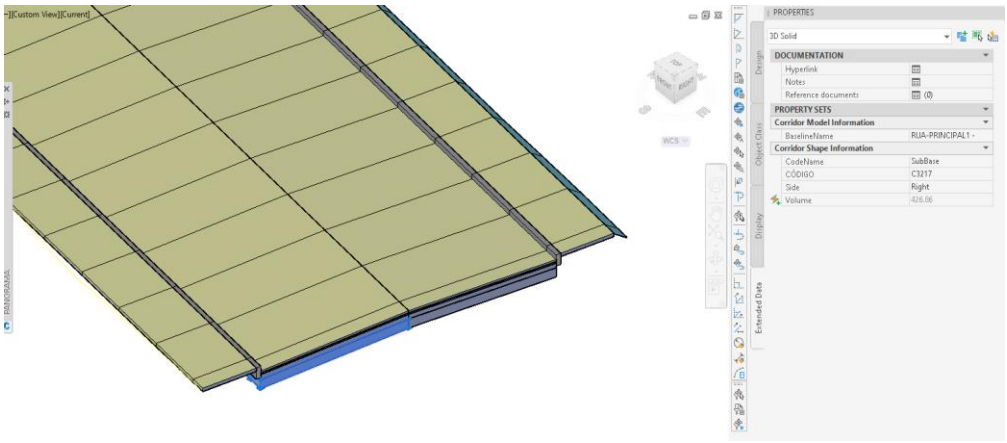
Figura 9: Resultados do dimensionamento do pavimento



Fonte: O autor.

Na Figura 10, tem-se a modelagem 3D, e a janela de propriedades, na qual existem várias informações agrupadas nas abas laterais. Para o estudo a aba que possuem as informações que serão utilizadas, é a "*Extended Data",* na qual se pode ver informações geométricas, descritivas e código relacionado a tabela de referência de custo. Na janela de propriedades é possível criar vários outros parâmetros, como por exemplo, periodicidade de manutenção, código de aquisição, local para retirada do material, característica, dentre diversas outras que podem ser úteis no decorrer do ciclo de vida.

Figura 10: Modelagem 3D da Rua



Fonte: O autor.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do exposto, foram implementadas rotinas de programação visual para auxiliar na diminuição do tempo de execução do processo de projeto de drenagem. As rotinas foram validadas por meio de um estudo de caso. E em seguida, foi avaliada a utilidade das informações geradas no modelo BIM na etapa de projeto para as outras etapas do ciclo de vida do projeto, por meio da integração das informações entre a revisão bibliográfica e o estudo de caso. Assim, as informações pertinentes ao estudo foram elencadas e compiladas.

Essa pesquisa possibilitou a avaliação do uso do BIM e da programação visual nas etapas de projeto de um empreendimento multifamiliar, por meio de um estudo de caso de um projeto de pavimentação de um loteamento situado no município de São Gonçalo do Amarante-CE, onde foram utilizadas uma ferramenta BIM e uma ferramenta de programação visual.

O uso do BIM aliado a programação visual gera um grande avanço no setor da infraestrutura e dá subsídios para que futuramente seja possível a aplicação dos gêmeos digitais. Assim, a pesquisa buscou contribuir para o uso do BIM e da programação visual no setor de projetos de drenagem sustentáveis. Com o uso do modelo BIM é possível aproveitar informações que são geradas na etapa de projeto e explorá-las nas outras etapas do ciclo de vida, seja no acompanhamento e controle de obras ou numa operação futura. Além disso, a programação visual viabiliza no conceito automatizado do BIM, em que permite a diminuição de atividades repetitivas nos processos, não apenas na etapa de projeto.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Hamed Engenharia e Consultoria pelo apoio e incentivo ao longo deste projeto e ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, por proporcionar o ambiente acadêmico e os recursos necessários para a realização desta pesquisa. O conhecimento adquirido e as experiências vivenciadas durante o curso foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] GALHARDO, Cassiano et al. **Inovação para a sustentabilidade urbana: o caso do MobiLab**. *Revista PPC – Políticas Públicas e Cidades*, Curitiba, v. 13, n. 1, p. 01-29, jan./jun. 2024. DOI: https://doi.org/10.23900/2359-1552v13n1-13-2024.

[2] FERREIRA, Ximena Cardozo. **Sistemas urbanos de drenagem sustentável como meio de controle de inundações**. *Revista do Ministério Público do RS*, Porto Alegre, n. 90, p. 257-273, jul./dez. 2021.BRASIL.

[3] **DECRETO Nº 10.306**, Brasilia, 02 abr. 2020. Disponivel em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>. Acesso em: 28 mar. 2021.

[4] KYMMELL, Willem. **Building Information Modeling – Planning and Managing Construction Projects with 4D CDA and Simulations**. Ebook. McGraw-Hill, 2008.

[5] BIM EXELLENCE. BIM Dictionary. BIM Dictionary, 31 Julho 2019. Disponivel em: <https://bimdictionary.com/en/>.

[6] BATISTA, Tatiane Lima. **Geração de equações IDF dos municípios cearenses pelo método de desagregação por isozonas implementado em um programa computacional. 2018.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

[7] MARCHIONI, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. *Pavimento intertravado permeável - melhores práticas.* São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2011. 24 p. (Cartilha). CDU 693.73.

[8] KREIDER, R. G.; MESSNER, J.. **THE USES OF BIM: Classifying and Selecting BIM Uses**. University Park: The Pennsylvania State University, 2013.ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416**: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro, 2015.

[9] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.