

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE PAVIMENTO DRENANTE COMO UM SISTEMA ALTERNATIVO EM SITUAÇÕES DE CHUVA EXTREMA NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB

Ranielly Lidia de Lima Pereira¹; Pedro Arthur de Araújo Macêdo²; Maria Adriana de Freitas Mágeiro Ribeiro³ & Dayse Luna Barbosa⁴

RESUMO – Este estudo analisou a eficiência de pavimentos drenantes como alternativa para reduzir problemas de drenagem urbana em Campina Grande-PB, cidade que sofre com chuvas intensas e crescente impermeabilização do solo. A pesquisa utilizou metodologia experimental com dois protótipos de pavimento permeável, diferenciados pelos diâmetros das tubulações de drenagem: 150 mm e 200 mm. Os sistemas foram compostos por camadas de reservatório, manta geotêxtil, agregado miúdo e revestimento em concreto permeável moldado no local. O concreto apresentou resistência média à compressão de 13,57 MPa, valor adequado para áreas de tráfego leve, conforme a NBR 16416. Nos ensaios hidráulicos, cada protótipo recebeu 79,2 litros de água em simulação de chuva intensa. O modelo com tubulação de 150 mm drenou média de 72,38 litros e condutividade hidráulica de 0,13 cm/s. Já o sistema com tubulação de 200 mm drenou média de 72,29 litros, porém com menor tempo de infiltração e maior condutividade hidráulica de 0,14 cm/s. Estes dados demonstram que o pavimento drenante é capaz de retardar o pico do escoamento superficial, aliviando a carga sobre as galerias pluviais existentes.

ABSTRACT– This study analyzed the efficiency of permeable pavements as an alternative to reduce urban drainage problems in Campina Grande-PB, a city affected by intense rainfall and increasing soil impermeabilization. The research used an experimental methodology with two permeable pavement prototypes, differentiated by drainage pipe diameters of 150 mm and 200 mm. The systems consisted of reservoir layers, geotextile fabric, fine aggregate, and in-place molded permeable concrete surface. The concrete showed an average compressive strength of 13.57 MPa, suitable for light traffic areas according to NBR 16416. In the hydraulic tests, each prototype received 79.2 liters of water simulating intense rainfall. The 150 mm model drained an average of 72.38 liters with hydraulic conductivity of 0.13 cm/s. The 200 mm system drained an average of 72.29 liters, but presented shorter infiltration time and higher hydraulic conductivity of 0.14 cm/s. These data demonstrate that permeable pavement is capable of delaying peak surface runoff, relieving the load on existing storm drains.

Palavras-Chave – Pavimento permeável, drenagem urbana, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento urbano acelerado, observa-se a substituição progressiva das superfícies naturais por materiais impermeáveis, como asfalto e concreto, processo que reduz significativamente

¹) Graduanda em Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Av. Cel. Pedro Targino, s/n – Centro, Araruna-PB, CEP 58233-000. E-mail: raniellylidia7@gmail.com

²) Graduando em Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Av. Cel. Pedro Targino, s/n – Centro, Araruna-PB, CEP 58233-000. E-mail: eng.pedroarthuraraujo@gmail.com

³) Professora do curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Paraíba. Av. Cel. Pedro Targino, s/n – Centro, Araruna-PB, CEP 58233-000. E-mail: drickadefreitas@yahoo.com.br

⁴) Professora do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande. Rua Aprígio Veloso, 882 – Campina Grande-PB, CEP 58429-900. E-mail: dayaseluna@yahoo.com.br

a infiltração da água no solo e aumenta o volume de escoamento superficial, tornando a gestão das águas pluviais um desafio cada vez mais complexo (DULTRA, 2023).

Um caso específico de problemas de drenagem urbana ocorre no município de Campina Grande, localizado no Agreste paraibano, onde regime pluviométrico apresenta precipitações anuais médias entre 700 e 800 mm, com chuvas concentradas em março e julho (INMET, 2022).

Diante desse cenário, torna-se relevante investigar soluções tecnológicas capazes de melhorar a gestão das águas pluviais na cidade de Campina Grande, Paraíba. Assim, este estudo tem como objetivo analisar o desempenho hidráulico de um sistema de pavimento permeável sem infiltração, por meio da construção e avaliação de um protótipo experimental submetido à simulação de eventos de precipitação intensa, buscando contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e sustentáveis de drenagem urbana na cidade de Campina Grande – PB.

METODOLOGIA

Esta pesquisa, de abordagem experimental, analisou o desempenho de um sistema drenante para chuvas intensas por meio da construção e avaliação de dois protótipos de sistema de pavimento permeável. Os protótipos, serão diferenciados pela tubulação dos drenos em que um terá diâmetro de 150 mm e outro diâmetro de 200 mm. Foi elaborado um desenho técnico dos dois protótipos do sistema de pavimento drenante utilizando o software Autodesk Revit, com o objetivo de representar de forma precisa as dimensões e a configuração estrutural de cada modelo analisado (Figura 1).

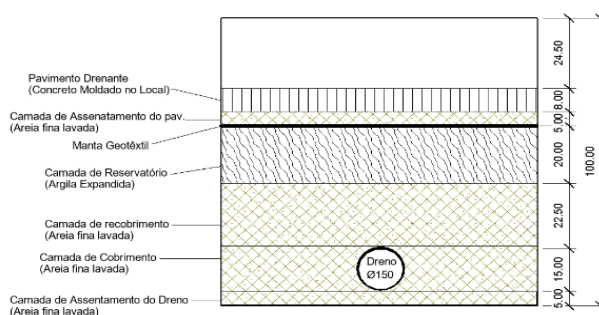


Figura 1- Fonte Própria- Representação do protótipo com dreno de diâmetro 150 mm

CONSTRUÇÃO DOS PROTÓTIPOS

A estrutura dos protótipos foi elaborada seguindo a metodologia utilizada por Junior (2023), com adaptação do pavimento drenante, concreto moldado no local. Para a estrutura dos protótipos, foram fabricados dois cubos com dimensões de 1,0 metro, resultando em um volume de 1,0 m³ cada. Para a construção do sistema drenante, foram utilizados tubos de PVC com dois diâmetros de 150

mm e 200 mm, ambos com comprimento de 1,10 m, ambos os tubos tiveram 10 cm de uma extremidade deixados fora do sistema para a coleta da água drenada com inclinação de 5%. Antes do preenchimento da camada de recobrimento, as tubulações foram protegidas com manta geotêxtil, esse material foi utilizado para evitar que partículas finas penetrassem nos orifícios das tubulações. Para garantir a integridade das tubulações e distribuir as cargas de maneira uniforme, foi utilizado agregado miúdo como material de recobrimento, para manter a proporcionalidade, foram adotadas as seguintes alturas de recobrimento no experimento, 22,5 cm de recobrimento para a tubulação de 150 mm, 30 cm de recobrimento para a tubulação de 200 mm. A camada correspondente ao reservatório foi composta por agregado graúdo, especificamente argila expandida, selecionado por meio de peneiramento com malhas de 9,5 mm e 19 mm. Foi utilizada a Equação 1 para definir altura do reservatório. O preenchimento dessa camada foi executado até atingir a altura total previamente estabelecida conforme os parâmetros definidos na intensidade de precipitação.

Equação 1, Altura da camada de reservatório:

$$H = \frac{D}{N} x (R x I - Q) \quad (1)$$

Onde:

H= altura da camada de reservatório; D= duração da chuva em horas (adotou-se uma hora); N= porosidade do material agregado graúdo (seixo); R= A_p/A_b ; A_p = área impermeável de contribuição; A_b = área do pavimento permeável; I= intensidade de precipitação (0,03953m/hora); Q= condutividade hidráulica do solo (0,00417m/hora).

Equação 2, intensidade pluviométrica:

$$I = \frac{K x T R^m}{(t+B)^n} \quad (2)$$

Onde:

I= Intensidade de precipitação (mm/h); TR= tempo de retorno (10 anos); t= tempo de duração da chuva (60 min); K, m, B, n= coeficiente ajustados para chuvas intensas para Campina Grande – PB, onde K=765,95, m=0,137, B=12,74, n=0,765.

Para o dimensionamento da camada do reservatório do pavimento permeável, definiu-se a área impermeável de contribuição (A_p) como sendo equivalente ao dobro da área do pavimento permeável (A_b). Essa proporção foi adotada com o objetivo de assegurar uma margem de segurança satisfatória frente a eventos de chuva intensa, ampliando a capacidade de armazenamento do sistema e prevenindo falhas no escoamento ou sobrecarga hidráulica. Adicionalmente, a porosidade efetiva

do agregado utilizado na camada do reservatório foi 0,45, valor obtido por meio da Equação 3, com base nos parâmetros propostos por Suzuki et al. 2013), cuja abordagem é amplamente reconhecida na literatura especializada sobre pavimentos drenantes.

Equação 3, Porosidade do material:

$$N = \frac{V_v}{V_t} \quad (3)$$

Onde:

N= porosidade do material; V_v = volume de vazios, ar e água; V_t = volume total. Acima da camada de reservatório foi inserida manta geotêxtil, com a finalidade de impedir que a camada de agregado miúdo de assentamento se misturasse a de reservatório.

Concluindo o cálculo da camada de reservatório de acordo com a equação 1, será:

$$H = \frac{D}{N} \times (R \times I - Q) \quad (1)$$

A camada de reservatório teve uma altura calculada de 17 cm, mas considerando uma margem de segurança, foi adotada uma altura final de 20 cm para ambos os sistemas. A camada de reservatório, composta por seixo, agregado graúdo, com altura de 20 centímetros. A camada de manta geotêxtil foi posicionada imediatamente acima da argila, antes da execução da camada de assentamento do pavimento, composta por agregado miúdo. A camada de assentamento foi composta por agregado miúdo sendo compactada a uma altura de 5 centímetros, conforme as especificações da NBR 15645/2008. Para o pavimento drenante foi confeccionado uma placa de concreto com dimensões de comprimento (C) 100 cm, largura (L) 100 cm e a altura (H) de 8 cm, adotou-se o concreto permeável moldado no local para tráfego leve (Figura 02), definida pela ABNT 16416 (2015) que estabelece requisitos e procedimentos para pavimentos permeáveis de concreto. Empregando um traço composto por 36 kg de Cimento Portland Pozolânico CP IV-32 RS, 107,7 kg de agregado graúdo do tipo brita 1 e 12 litros de água (Tabela 1). A mistura foi realizada em betoneira até a obtenção de uma massa homogênea. O traço adotado, na proporção cimento/agregado graúdo, foi de 1:3, enquanto a relação água/cimento foi fixada em 0,33.

Tabela 1 - Traço e materiais do concreto permeável moldado no local.

MATERIAIS DO CONCRETO MOLDADO NO LOCAL	
Cimento CP IV-32 RS (kg)	360
Água (kg / L)	12
Agregado graúdo (brita 1) (kg)	107,7
Massa específica (kg/m³)	1400
Volume do agregado (m³)	0,0769

Relação água/cimento (a/c)	0,33
Relação agregado/cimento (a/g)	2,99

O procedimento de mistura adotado na presente investigação experimental seguiu rigorosamente o protocolo descrito por Batezini (2013), o qual é reconhecido por proporcionar melhorias significativas tanto na resistência mecânica quanto na condutividade hidráulica do concreto permeável. A caracterização mecânica do concreto permeável moldado no local foi realizada por meio de ensaios de resistência à compressão simples, conforme os procedimentos estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 16416 (2015), aplicável a pavimentos permeáveis destinados a tráfego leve. Aos 7 dias de idade, foram rompidos cinco corpos de prova cilíndricos 10 cm × 20 cm (figura 2).



Figura 2- Fonte Própria- Corpos de prova do concreto permeável moldado no local.

INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA

A chuva de projeto utilizada neste estudo foi determinada a partir da intensidade pluviométrica, calculada por meio da equação apresentada na Equação 2, conforme o método descrito por Souza et al. (2012). Para a definição dos valores de precipitação considerados na simulação, foram utilizados dados pluviométricos da cidade de Campina Grande, os quais foram obtidos a partir do estudo mais recente realizado por Rufino et al. (2024). O comportamento pluviométrico está representado na Figura 3, permitindo a visualização dos dados utilizados como base para o desenvolvimento das simulações hidrológicas realizadas ao longo do estudo.

Estação	K	m	B	n	D**	RC
São João do Rio do Peixe*	1308,82	0,134	12,71	0,793	2	ST
Barra de Santa Rosa	740,05	0,167	11,75	0,755	2	CC
Campina Grande	765,95	0,137	12,74	0,765	4	AG
Catolé do Rocha	974,85	0,187	12,70	0,784	4	ST
Guarabira	1117,01	0,114	13,04	0,798	2	BJ
Taperoá	1168,79	0,140	12,63	0,792	2	CC
Teixeira	1240,90	0,174	13,07	0,789	1	ST
Junco do Seridó	1068,6	0,125	12,83	0,795	2	CC
Itaporanga	1306,73	0,189	12,82	0,785	1	AS
João Pessoa	1629,70	0,089	11,69	0,770	6	LT
Monteiro	1102,05	0,112	12,95	0,795	5	CC
Patos	1034,50	0,199	12,68	0,784	1	ST
Sousa - São Gonçalo	1399,11	0,119	13,14	0,797	3	ST

* São João do Rio do Peixe antiga Antenor Navarro; RC- - Litoral (LT), Brejo (BJ), Agreste (AG), Cariri/Curimatã (CC), Seridó (ST), Alto Seridó (AS). D**- distribuição: 1-Gumbel, 2-Weibull, 3-Pearson, 4-Pearson III, 5-Log Pearson III, e 6- (GEV)

Figura 3- Rufino 2024- Postos Pluviométricos selecionados e os valores dos parâmetros da equação IDF.

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DO CONCRETO PERMEÁVEL

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova de concreto permeável são apresentados na Tabela 2. Os valores individuais de resistência demonstraram variações entre os corpos de prova analisados, com resultados que variaram de 12,56 MPa a 14,88 MPa aos sete dias de cura. A partir desses dados experimentais, foi possível determinar uma resistência média de 13,57 MPa, indicando um desempenho estrutural compatível com aplicações em pavimentos permeáveis destinados a áreas de tráfego leve.

Tabela 2 - Ruptura a compressão simples dos corpos de prova.

CONTROLE DE RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA DO CONCRETO PERMEÁVEL				
Identificação do corpo de prova	Idade do corpo de prova (Dias)	Força na ruptura em (KN)	FcK (Mpa)	Media do FcK (Mpa)
CP1	7	104,92	13,35	13,57
CP2	7	106,07	13,50	
CP3	7	116,88	14,88	
CP4	7	98,66	12,56	

DESEMPENHO HIDRÁULICO DOS PROTÓTIPOS

Os ensaios do sistema drenante com tubulação de 150 mm utilizaram 79,2 litros de água, aplicados em 12 etapas de 6,6 litros com intervalos de 10 minutos, simulando chuva contínua durante duas horas. No primeiro ensaio, o volume drenado foi de 72,26 litros e, no segundo, 72,49 litros, resultando em média de 72,38 litros. O tempo médio de infiltração foi de 540 segundos e a condutividade hidráulica estimada pela Lei de Darcy foi de 0,13 cm/s, indicando bom desempenho hidráulico do sistema. Equação 4, Lei de Darcy, condutividade hidráulica:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \quad (4)$$

Q= Volume de Água; L= altura das partes drenantes; h= carga hidráulica; t=tempo.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados dos ensaios drenantes com a tubulação de 150mm.

Tabela 3 - Primeiro ensaio do sistema drenante com tubulação de 150 mm.

Hora	Horário de saída	Volume de entrada (L)	volume de entrada acumulado	Volume de saída	volume de saída acumulado
10:40	10:47	6,6	6,6	0	0
10:50	11:08	6,6	13,2	6,6	6,58
11:00	11:17	6,6	19,8	6,57	13,15
11:10	11:28	6,6	26,4	6,6	19,75

11:20	11:41	6,6	33	6,55	26,3
11:30	11:50	6,6	39,6	6,6	32,9
11:40	11:59	6,6	46,2	6,55	39,45
11:50	12:10	6,6	52,8	6,6	46,05
12:00	12:25	6,6	59,4	6,6	52,65
12:10	12:37	6,6	66	6,49	59,14
12:20	12:44	6,6	72,6	6,6	65,74
12:30	12:57	6,6	79,2	6,52	72,26

Tabela 4 - Segundo ensaio do sistema drenante com tubulação de 150 mm.

Hora	Horário de saída	Volume de entrada (L)	volume de entrada acumulado	Volume de saída	volume de saída acumulado
13:30	13:41	6,6	6,6	0	0
13:40	13:56	6,6	13,2	6,4	6,58
13:50	14:09	6,6	19,8	6,6	13,18
14:00	14:17	6,6	26,4	6,6	19,78
14:10	14:28	6,6	33	6,6	26,38
14:20	14:37	6,6	39,6	6,53	32,91
14:30	14:49	6,6	46,2	6,6	39,51
14:40	14:57	6,6	52,8	6,6	46,11
14:50	15:15	6,6	59,4	6,58	52,69
15:00	15:27	6,6	66	6,6	59,29
15:10	15:33	6,6	72,6	6,6	65,89
15:20	15:48	6,6	79,2	6,6	72,49

A análise do sistema com tubulação de 200 mm mostrou volume drenado de 72,31 litros no primeiro ensaio e 72,26 litros no segundo, com média de 72,29 litros, evidenciando bom desempenho hidráulico. Os tempos de infiltração foram de 480 e 540 segundos, resultando em média de 510 segundos. Considerando altura hidráulica de 88 cm, a condutividade hidráulica média foi de 0,14 cm/s, demonstrando eficiência na condução e drenagem da água. Equação 4 Lei de Darcy, condutividade hidráulica:

As Tabelas 5 e 6 apresentam os resultados dos ensaios drenantes com a tubulação de 200mm.

Tabela 5 - Primeiro ensaio do sistema drenante com tubulação de 200 mm.

Hora	Horário de saída	Volume de entrada (L)	volume de entrada acumulado	Volume de saída	volume de saída acumulado
10:40	10:48	6,6	6,6	0	0
10:50	11:02	6,6	13,2	6,56	6,58
11:00	11:13	6,6	19,8	6,6	13,18
11:10	11:22	6,6	26,4	6,6	19,78
11:20	11:32	6,6	33	6,43	26,21
11:30	11:41	6,6	39,6	6,6	32,81

Hora	Horário de saída	Volume de entrada (L)	volume de entrada acumulado	Volume de saída	volume de saída acumulado
11:40	11:54	6,6	46,2	6,55	39,36
11:50	12:15	6,6	52,8	6,6	45,96
12:00	12:22	6,6	59,4	6,55	52,51
12:10	12:34	6,6	66	6,6	59,11
12:20	12:40	6,6	72,6	6,6	65,71
12:30	12:53	6,6	79,2	6,6	72,31

Tabela 6 - Segundo ensaio do sistema drenante com tubulação de 200 mm.

Hora	Horário de saída	Volume de entrada (L)	volume de entrada acumulado	Volume de saída	volume de saída acumulado
13:30	13:39	6,6	6,6	0	0
13:40	13:49	6,6	13,2	6,6	6,58
13:50	13:57	6,6	19,8	6,6	13,18
14:00	14:11	6,6	26,4	6,45	19,63
14:10	14:22	6,6	33	6,6	26,23
14:20	14:34	6,6	39,6	6,6	32,83
14:30	14:46	6,6	46,2	6,6	39,43
14:40	14:55	6,6	52,8	6,55	45,98
14:50	15:09	6,6	59,4	6,6	52,58
15:00	15:12	6,6	66	6,6	59,18
15:10	15:24	6,6	72,6	6,48	65,66
15:20	15:39	6,6	79,2	6,6	72,26

Ambos os sistemas drenantes apresentaram desempenho hidráulico eficiente na condução de 79,2 litros de água. O modelo com tubulação de 150 mm registrou média drenada de 72,38 litros, tempo médio de infiltração de 540 segundos e condutividade hidráulica de 0,13 cm/s. Já o sistema com tubulação de 200 mm apresentou média de 72,29 litros, tempo de infiltração de 510 segundos e condutividade de 0,14 cm/s, demonstrando maior eficiência hidráulica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste estudo permitiu analisar o desempenho dos pavimentos drenantes como uma alternativa para contribuir com a drenagem urbana na cidade de Campina Grande – PB. Por meio dos ensaios laboratoriais e da simulação realizada nos protótipos experimentais, foi possível observar que o sistema apresentou capacidade de promover o armazenamento temporário da água e retardar o escoamento superficial, indicando potencial para auxiliar na redução da sobrecarga das galerias pluviais.

No que se refere às propriedades mecânicas, o concreto permeável desenvolvido apresentou resistência média à compressão de 13,57 MPa. Embora esse valor seja inferior ao do concreto convencional, atende aos requisitos da ABNT NBR 16416 para pavimentos destinados ao tráfego leve, sendo adequado para aplicações como calçadas, ciclovias e passeios públicos, onde a capacidade de infiltração é um requisito prioritário.

Nos ensaios hidráulicos, aplicou-se uma precipitação de aproximadamente 79,2 litros em cada protótipo durante duas horas, permitindo avaliar a resposta hidráulica e o armazenamento temporário da água. O sistema com tubulação de 200 mm apresentou menor tempo médio de infiltração e condutividade hidráulica ligeiramente superior (0,14 cm/s) em relação ao sistema com tubulação de 150 mm (0,13 cm/s). Entretanto, as diferenças observadas entre os protótipos foram pequenas, não sendo suficientes para afirmar, de forma conclusiva, a superioridade de uma configuração sobre a outra. Os resultados obtidos indicam que ambos os sistemas apresentam potencial para contribuir com o amortecimento do pico de escoamento superficial.

Como limitação da pesquisa, destaca-se que foram realizados apenas dois ensaios por configuração, em condições controladas de laboratório, não sendo avaliados aspectos relacionados à manutenção, colmatação e desempenho em longo prazo. Dessa forma, recomenda-se que estudos futuros contemplem ensaios em escala real e monitoramento contínuo, permitindo ampliar a avaliação da eficiência dos pavimentos drenantes em diferentes condições de operação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15645:2008** Execução de obras de esgoto sanitário e drenagem de águas pluviais utilizando-se tubos e aduelas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16416:2015** Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AFONSO, M. I. L. **Pavimentos Betuminosos Permeáveis na Mitigação e Adaptação às Alterações Climáticas**. 2021. Tese (Doutorado) – Universidade da Beira Interior, Portugal, 2021.

BATEZINI, R. **Estudo preliminar de concretos permeáveis como revestimento de pavimentos para áreas de veículos leves**. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

BERNUCCI, L. L. B. MOTTA, L. M. G. CERATTI, J. A. P. SOARES, J. G. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS Asfaltos; ABEDA, 2022.

DUTRA, B. P. **Sistema-produto sustentável de facilitação da permeabilidade em meios urbanos**. 2023. 114 f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Design de Produto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (**Normais climatológicas do Brasil 1991–2020**). Brasília: INMET, 2022. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 9 mar. 2026.

JUNIOR, C. A. B. **Drenagem urbana sustentável**: uma análise no município de Mogi Mirim-SP. 2024. 125 f. TCC. Instituto PUC – Campinas. 2024.

RUFINO, I. A. A; RAMOS, R. D. S; SRINIVASAN, V. S. **Atualização das equações de chuvas intensas para o estado da Paraíba**. 2024. 8 f. Artigo para Simpósio, Universidade Federal de Campina Grande, 2024.