

# Drenagem pluvial predial sifônica: uma análise bibliográfica

*Siphonic building storm drainage: a bibliographical analysis*

*Drenaje pluvial sifónico de edificios: un análisis bibliográfico*

---

**Caio Ferreira Gonçalves** 

Universidade Federal de Catalão; Faculdade de Engenharia; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
Catalão (GO), Brasil.

**Heber Martins de Paula\*** 

Universidade Federal de Catalão; Faculdade de Engenharia; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
Catalão (GO), Brasil.  
heberdepaula@ufcat.edu.br

\* Autor correspondente.

## CRediT

**Contribuição de autoria:** Concepção; Coleta de dados; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição: GONÇALVEZ, C. F.; Concepção; Desenvolvimento ou desenho de metodologia; Análise; Supervisão; Visualização; Validação; Redação – revisão e edição: PAULA, H. M.

**Conflitos de interesse:** Os autores certificam que não há conflito de interesse.

**Financiamento:** Não possui.

**Aprovação de ética:** Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

**Uso de I.A.:** Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

**Editores responsáveis:** Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Ricardo Prado Abreu Reis (Editor Convidado); Andreza Kalbusch (Editora Convidada); Wanessa R. Souza (Assistente editorial).

---

## Resumo

O sistema de drenagem sifônica tem sido empregado em edificações industriais e comerciais proporcionando uma drenagem mais eficaz das coberturas. Além disso, sua incorporação ao projeto arquitetônico permite a otimização de espaço, facilitando reformas, retrofit ou expansões, com intervenções mínimas por ser um sistema mais compacto. O objetivo deste artigo é analisar o sistema de drenagem de água pluvial pelo método sifônico e a sua relação com a arquitetura, a partir de uma análise da bibliografia. Para tanto, foram analisadas diversas bases de dados, por meio de um mapeamento sistêmico, focando os aspectos técnicos de dimensionamento e aplicações do sistema sifônico. O estudo concluiu que, embora o sistema ofereça muitas vantagens, é necessário integrá-lo ao planejamento arquitetônico e desenvolver uma norma brasileira específica para maximizar seu desempenho. Além da falta de uma norma, há escassez de estudos focados no mercado nacional, com apenas 11% das pesquisas abordando o Brasil, nesses estudos a conclusão é a de que existe a necessidade de aprofundar o conhecimento sobre os materiais e os índices pluviométricos para uma escolha adequada do sistema.

**Palavras-Chave:** Sistema pluvial sifônico; Drenagem predial; Método Sifônico; Traçado arquitetônico; *Mapping study*.

## Abstract

The siphonic drainage system has been used in industrial and commercial buildings, providing more effective roof drainage. Furthermore, its incorporation into the architectural design allows for space optimization, facilitating renovations, retrofits, or expansions, with minimal interventions as it is a more compact system. This article aims to analyze the rainwater drainage system using the siphonic method and its relationship with architecture, based on an analysis of the bibliography. To this end, several databases were analyzed through systemic mapping, focusing on the technical aspects of sizing and applications of the siphonic system. The study concluded that, although the system offers many advantages, it is necessary to integrate it into architectural planning and develop a specific Brazilian standard to maximize its performance. In addition to the lack of a standard, there is a scarcity of studies focused on the national market, with only 11% of research covering Brazil. In these studies, the conclusion is that there is a need to deepen knowledge about materials and rainfall levels for an appropriate system choice.

**Keywords:** Rainwater system; Drainage; Siphonic Method; Architectural layout; Mapping study.

## Resumen

El sistema de drenaje sifónico se ha utilizado en edificios industriales y comerciales, proporcionando un drenaje más eficaz de los tejados. Además, su incorporación al diseño arquitectónico permite optimizar el espacio, facilitando reformas, reformas o ampliaciones, con mínimas intervenciones al tratarse de un sistema más compacto. El objetivo de este artículo es analizar el sistema de drenaje de aguas pluviales mediante el método sifónico y su relación con la arquitectura, a partir de un análisis de la bibliografía. Para ello se analizaron varias bases de datos mediante mapeo sistémico, centrándose en los aspectos técnicos de dimensionamiento y aplicaciones del sistema sifónico. El estudio concluyó que, aunque el sistema ofrece muchas ventajas, es necesario integrarlo en la planificación arquitectónica y desarrollar una norma brasileña específica para maximizar su desempeño. Además de la falta de una norma, hay escasez de estudios enfocados al mercado nacional, siendo sólo el 11% de las investigaciones que cubren Brasil. En estos estudios, la conclusión es que es necesario profundizar el conocimiento sobre materiales y niveles de precipitaciones. para una elección adecuada del sistema.

**Palabras Clave:** Sistema de aguas pluviales; Drenaje; Método Sifónico; Disposición arquitectónica; *Mapping study*.

## 1 Introdução

Para a NBR 10844 (ABNT, 1989), as instalações de drenagem de água pluvial precisam necessariamente, recolher e conduzir a vazão de projeto até os locais adequados, ser estanques, permitir a limpeza e desobstrução de qualquer ponto em seu interior, absorver esforços provocados por variações térmicas, constituídas de materiais resistentes a choques mecânicos, materiais resistentes a intempéries, não provocar ruídos excessivos, ser fixados de maneira resistente e durável.

Os elementos que compõem esse sistema podem variar conforme projeto ou objetivo, mas de modo geral é constituído por uma área de captação (área de contribuição) – quer seja o telhado, cobertura ou terraço – e as instalações de transporte de água – os condutores verticais e horizontais (Alves *et al.*, 2023). É um sistema que pode operar por pressão ou subpressão atmosférica, respectivamente o sistema convencional de drenagem de água pluvial (SCDAP) e o sistema sifônico de drenagem de água pluvial (SSDAP).

O SCDAP concebido conforme a NBR 10844 (ABNT, 1989) é projetado para transportar a chuva das áreas de contribuição para o sistema urbano de drenagem. Comumente, a chuva é coletada em uma calha, lajes ou superfícies impermeabilizadas, passando por um ou vários condutores em série, levados até o nível de descarga, onde o escoamento ocorre predominantemente por gravidade. Nesse caso, os condutores horizontais são projetados para que, a água proveniente do escoamento superficial, ocupe no máximo 2/3 da sua seção transversal. Nos condutores verticais, a vazão que passa por eles depende, contudo, da profundidade da calha (altura do nível de água na calha) e do diâmetro da saída. Assim, diâmetros mais usualmente empregados nos condutores verticais, como 75, 100 e 150 mm, quase sempre refletem em um baixo fluxo de todo o sistema, cuja velocidade deve possuir capacidade para ser autolimpante, ou seja, fazer com que a água descarregue livremente de sua extremidade de captação a sua jusante (Williams, 2016).

O SSDAP possui uma concepção um pouco distinta do SCDAP, um dreno que purga o ar, cuja capacidade de escoamento se dá pelo dimensionamento que permite que o fluxo ocorra sob o regime de pressão negativa. Os ralos, são determinados em função de vazões existentes, podendo chegar a até 100 l/s. A entrada de água ocorre pelas grelhas do ralo, que normalmente está ligada a uma placa de montagem intermediária, responsável pela ligação entre ralo e tubulação, essa placa de fixação adapta-se à laje ou à superfície da calha, realizando uma ligação que veda o contato entre os componentes do sistema sifônico e a superfície de captação. Por último, essa peça é composta por um segmento que faz a ligação entre o ralo de captação e condutor horizontal de água pluvial (Gonçalves, 2016).

Conhecido os tipos de sistemas, pode se dizer que o projeto de drenagem de água pluvial de telhados é complexo. Desenvolvido a partir de uma vazão de projeto, definida pela probabilidade de uma precipitação extrema em um dado período incidindo sobre as áreas de contribuição. Para o SSDAP a complexidade é aumentada, o sistema não possui um modelo numérico que permita identificar com precisão o seu comportamento hidráulico. Os métodos existentes se baseiam em relações empíricas e suposições de descarga livre, tal como no SCDAP. Isso leva a uma negligência no desempenho do sistema desde as fases de projeto, construção e manutenção (Arthur; Wright, 2005; Wright *et al.*, 2006b).

A partir dessas dificuldades e de possíveis erros projetuais e construtivos - em função da declividade das calhas e do traçado geométrico, não considerando mudanças de direção, por exemplo, o transbordamento do sistema pode ocorrer (Sasso *et al.*, 2019). Nesse caso, as falhas, danos e perturbações são em proporções muito maiores que aqueles requisitos de desempenho e custos ignorados ainda na fase de concepção (May, 1997).

Diante desses desafios é fundamental contar com a análise especializada e conhecimento dos princípios básicos. A colaboração entre o engenheiro do sistema sifônico, o engenheiro estrutural e o arquiteto são essenciais para garantir a resistência da cobertura, a impermeabilização e a tolerância a empoçamentos, por exemplo. Além disso, é importante promover a inclusão desses sistemas nas políticas de planejamento urbano e investir em pesquisas para melhorar a tecnologia (Rattenbury, 2001).

Por isso, nos últimos anos vem se percebendo uma nova postura do setor da construção com maior confiança e aceitação do SSDAP (Campbell, 2014). Desde a sua criação, no final da década de 1960, pelo finlandês Olavi Ebeling, é considerado uma instalação de alta performance com menos materiais e menores limitações arquitetônicas (Freitas; Reis, 2019).

Normalmente utilizados em grandes estruturas, principalmente as comerciais, o escoamento se dá por meio de um número reduzido de condutores verticais com escoamento em velocidades mais elevadas. Essa menor quantidade de condutores verticais confere, também, menores custos com escavações, movimentação de terra e montagem de tubulações (Lucke *et al.*, 2007).

Podendo auxiliar na viabilidade do projeto arquitetônico, garantindo que, por exemplo, possam ser acomodadas pontes rolantes dentro de galpões, ou ainda um maior número de paletes em um galpão logístico, e quem sabe, auxiliar nos processos de reforma e retrofit de edificações tombadas, uma vez que teremos intervenções mínimas, com menores condutores e diâmetros das tubulações (Richers, 2023).

Todavia, quanto ao seu funcionamento perduram incertezas, o sistema pode se comportar de maneira reativa e imprecisa a erros, exigindo um conhecimento maior quando se comparado ao sistema convencional. Essas características demandam normas que cubram a sua concepção e manutenção. Por isso, cada vez mais pesquisas são realizadas na tentativa de compreender o funcionamento dos sistemas sifônicos de drenagem pluvial.

A pesquisa que se desenvolve é, por conseguinte, mais uma forma de mostrar a utilização do SSDAP, seja por razões estéticas, de requisitos ou de restrições (Lucke; Beecham, 2015). Para que esteja ao menos como Arthur e Swaffield (2001), “[...] à medida que iniciativas de investigação dominam, progridem e interagem, isso leva a um aumento da confiança nesse sistema”.

Em vista disso, o objetivo deste artigo é, analisar o sistema de drenagem de água pluvial pelo método sifônico, o seu funcionamento a sua integração com a edificação, a partir de uma análise da bibliografia, por meio de um mapeamento sistêmico, em especial, aqueles documentos que tenham como foco o Brasil.

## 2 Revisão bibliográfica

### 2.1 O sistema sifônico de drenagem de água de chuva como fenômeno

O SSDAP utiliza o estado estacionário de água. Em tese, para uma tempestade de projeto, o sistema sifônico enche e escorva a água por completo, ou seja, opera em sua capacidade total projetada. Nesse caso, a equação de energia de fluxo constante é empregada, o ponto de descarga é equiparado as perdas de cargas do sistema, que se ignorando o araste de ar que inevitavelmente acontece, funciona a estado pleno (Beattie; Jack, 2011).

Entretanto, o estado estacionário não é aceito quando o sistema está exposto a um evento de chuva abaixo do projeto, por possuir um fluxo de ar incorporado, exibindo fases pulsantes ou cíclicas, portanto, níveis de calha variáveis e um fluxo transitório instável, que pode ser agravado quando incorporado ao sistema mais de uma saída conectada ao condutor horizontal; ou com variável intensidade temporal (Arthur; Wright, 2005a).

Conceitualmente, o SSDAP incorpora um ralo especial, cuja função é permitir e sustentar um escoamento por pressão negativa, prevenindo a entrada de ar e a formação de vórtices, assegurando a ocupação de toda a seção nominal da tubulação com velocidades e vazões de escoamento maiores que o sistema convencional com escoamento por gravidade (Gonçalves, 2016).

O SSDAP opera por escoamento sob pressão negativa, são condutos fechados submetidos ao efeito sifão (Richers; Sowny, 2019; Sasso *et al.*, 2019), onde a altura manométrica é a diferença efetiva dos níveis entre a superfície da água na calha ou superfície de captação e o ponto de descarga, causando aumentos significativos na velocidade do fluxo e na vazão volumétrica em aproximadamente 10 vezes a capacidades das saídas convencionais (Lucke; Beecham, 2015).

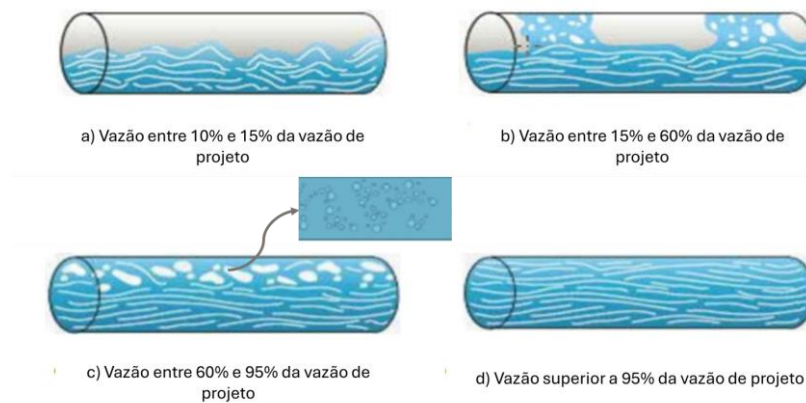
Para o SSDAP, a equação de Bernoulli possui uma única solução. Para intensidades de precipitação diferentes daquela indicada em projeto danos ao sistema podem ser vistos, como inundações ou galgamento de calhas (Lucke; Beecham, 2015).

Arthur e Swaffield (2001), descrevem o fenômeno do seguinte modo: na entrada da calha, deve-se aumentar lentamente a altura da lâmina de água na calha ou superfície de captação. Nesse momento a tubulação está sob o regime atmosférico, com fluxo anular à medida que a altura da lâmina d'água aumenta, formando-se um ressalto hidráulico. A jusante do ralo, uma conexão curva é instalada proporcionando uma condição de resistência hidráulica suficiente para o desenvolvimento do fluxo total na seção do condutor.

O SSDAP, para um mesmo período contínuo de precipitação, está sujeito a quatro regimes de funcionamento. A primeira fase corresponde a condição em que o sistema está sujeito a uma intensidade de chuva cuja vazão corresponde de 10 a 15% a vazão de projeto (Figura 1a), nesta condição o fluxo se dá de forma ondulada e, o escoamento se dará sob ação da gravidade, portanto, funcionará similar ao sistema convencional com escoamento por gravidade. O segundo regime ocorre quando o sistema está operando sob vazões entre 15 e 60% da vazão de projeto, nesta condição o fluxo alterna entre sifônico e gravitacional (Figura 1b), resultando em um fluxo de escoamento pulsante. Quando os índices estão acima de 60% e abaixo de 95% da vazão de projeto (Figura 1c), ocorre a formação de bolhas no fluxo e, o sistema opera completamente sob pressão

negativa na presença dessas bolhas. Acima disso, (Figura 1d) o sistema opera sob o fluxo de passagem total, o escoamento é completamente silencioso, sem a presença de bolhas de ar, atingindo o seu potencial de escoamento máximo, em razão da velocidade máxima alcançada (Pereira, 2012; Williams, 2016).

**Figura 1:** Regimes de escoamento para um sistema sifônico.



Fonte: Gonçalves (2016).

Se o SSDAP for dimensionado corretamente, parte do ar é retirada pelo fluxo de entrada e o restante é arrastado, fazendo com que os condutores encham e o escoamento flua com uma mistura bifásica borbulhante, conforme mostra a Figura 1 (May, 1997). Ficando totalmente sem o fornecimento de ar, condição em que o nível de água atinge a altura plena de funcionamento do ralo, e o ar dentro da tubulação é escoado para o ponto de descarga a vazão passa a ser igual à capacidade máxima do sistema, isso porque, a altura manométrica está totalmente utilizada pelo fluxo para superar a resistência hidráulica dos elementos do sistema. Esse processo responde por três efeitos no sistema: a pressão operacional do sistema, a velocidade de propagação e as perdas por atrito (relação Colebrook-White) (Arthur; Swaffield, 2001; Qu *et al.*, 2011; Slater *et al.*, 1999).

O processo anteriormente descrito, em que o sistema passa a operar completamente cheio, acontece em razão do fenômeno denominado priming, escorvamento do ar. Processo complexo em que a resistência ao “fluxo é suficiente para fazer com que o sistema de tubulação purgue o ar e fique cheio de água”. Isto é, o movimento da água que auxilia nas condições de cheia da tubulação, a partir das perdas por atrito e a forma do fluxo (Lucke; Beecham, 2015).

Portanto, os fatores que mais influenciam são: os extravasores projetados corretamente conectando as saídas à tubulação horizontal, condutores verticais corretamente projetado, modelo de cálculo adequado ao tipo de cobertura proposta, condição de descarga de águas superficiais (Sommerhein, 1999).

A quantidade de ar arrastado pelo fluxo de água nas calhas é de aproximadamente 10%. A velocidade terminal de uma bolha de ar que desce pela pilha vertical do fluxo com diâmetro entre 0,03 e 0,04 m está na faixa de 0,3 a 0,45 m/s, indicando que a velocidade de fluxo do sistema deva superar esses valores apresentados. Portanto, a velocidade de fluxo de água pluvial deve ser suficiente para superar a flutuabilidade do ar durante a escorva inicial, ou seja, espera-se velocidades acima da velocidade crítica, para uma transição abrupta, formando saltos hidráulicos que possam purgar o ar (Campbell, 2014).

Nessa condição de operação, caso haja o bloqueio repentino de uma saída sifônica, pode haver a geração de uma onda de pressão negativa, que se propaga em todo o sistema, em razão do transientes de pressão muito grandes. No caso em que este transiente se equipare a aproximadamente -7,0 m de coluna d'água, o resultado seria a cavitação e implosão da tubulação (Wright *et al.*, 2006a). Assim, a chave para entender o funcionamento desse tipo de sistema está em dominar a complexidade do processo de escorvamento. Contudo, o tempo, a interação e a dinâmica desse evento dependem diretamente da escala e da complexidade do sistema projetado, tornando cada instalação única (Arthur; Wright, 2007).

## 2.2 Parâmetros de dimensionamento

Para entender os parâmetros de dimensionamento empregados na concepção dos sistemas sifônicos de drenagem pluvial é preciso inicialmente definir a estrutura do sistema. Assim, May (2004), destaca a necessidade de definir previamente o layout de traçado, estimando os tamanhos prováveis para os condutores e, a partir das condições de chuva de projeto incididas sobre as áreas de contribuição, calcular-se a vazão ao qual cada componente será submetido. Posteriormente, tem-se o cálculo das perdas de carga ao longo de todo o fluxo, do ponto a montante até a jusante do sistema, considerando-se, também, a perda de carga de cada conexão. A partir daí, verifica-se os limites de velocidade e pressão, se não foram excedidos, permitindo por meio de um processo iterativo, a redefinição do diâmetro das tubulações.

Como primeiro critério para dimensionamento, é preciso compreender as condições de fluxo dentro do sistema (May, 2004), tem-se então, o efeito sifão que é resultado da água que atinge a seção total do condutor, ficando sem o efeito do ar, sendo compreendido e baseado nos princípios energéticos simples da Equação de Bernoulli. A partir da altura da água acumulada na superfície de captação, tem-se uma força motriz que permite um fluxo de escoamento mais rápido se comparado ao sistema convencional (Sasso *et al.*, 2019; Lucke; Beecham, 2015).

A ação sifônica é baseada em princípios energéticos simples, que estima a diferença de energia entre dois pontos (montante e jusante) somando-se a pressão, as energias cinética e potencial nesses pontos, sendo igual ao somatório do atrito e das perdas de cargas do sistema (Equação 1). As perdas de energia em determinados pontos da rede resultam nas condições de escorva e fluxo total na tubulação (Lucke; Arthur, 2011).

$$\left(p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2\right)_{\text{ponto 1}} - \left(p_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2\right)_{\text{ponto 2}} = \Delta E_{1,2} - \rho g \Delta z_{1,2} \quad (1)$$

Em que:  $p$  é a pressão estática em um ponto do fluido ( $\text{N/m}^2$ ),  $\rho$  é a densidade do fluido ( $\text{kg/m}^3$ ),  $V$  é a velocidade do fluido no ponto ( $\text{m/s}$ ),  $[\Delta E]_{(1,2)}$  perda de energia entre dois pontos,  $g$  é a aceleração da gravidade ( $\text{m/s}^2$ ) e  $\Delta z_{(1,2)}$  altura vertical do ponto 1 acima do ponto 2 (m).

Iniciada a precipitação, o sistema opera como um sistema convencional, com capacidade de fluxo de água controlada pelo tamanho dos diâmetros do ralo de captação e pela altura de água acima delas. À medida que a precipitação aumenta, a água atinge o anti-vórtice no ralo (Sasso *et al.*, 2019; Arthur; Swaffield, 2001).

Para o cálculo das perdas de carga, pode-se utilizar qualquer fórmula adequada ao tipo

de material escolhido para a tubulação, May (2004) sugere a equação de Colebrook-White (Equação 2), apoiada na BS EM 12056-3 (BSI, 2000).

$$i_f = \left( \frac{V^2}{8gd_p} \right) \left\{ \log_{10} \left[ \frac{k_p}{3710d_p} + \frac{1.775v}{\sqrt{(gi_f d_p^3)}} \right] \right\}^{-2} \quad (2)$$

Em que:  $i_f$  é o gradiente de perda de carga por atrito (m),  $V$  velocidade do fluxo (m/s),  $g$  é a aceleração da gravidade ( $m/s^2$ ),  $d_p$  diâmetro interno do tubo (m),  $k_p$  valor de rugosidade (mm),  $v$  viscosidade cinemática da água ( $1,14 \times 10^{-6} m^2/s$  para  $15^\circ C$ ). Percebe-se que o valor da rugosidade é função da superfície do tubo, das irregularidades das juntas e da distância em relação ao diâmetro do tubo. Considerando que no SSDAP a tubulação está completamente cheia de água, a perda de carga, equivale a (Equação 3):

$$\Delta h_l = \delta \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Tem-se que:  $\delta$  é o coeficiente de perda de carga, fornecido em estudos e a partir de estes adequados para determinados materiais, a BS EM 12056-3 em seu anexo NF, fornece alguns desses valores.

Tem-se que:  $\delta$  é o coeficiente de perda de carga, fornecido em estudos e a partir de estes adequados para determinados materiais, a BS EM 12056-3 em seu anexo NF, fornece alguns desses valores.

Como condições necessárias para o funcionamento eficaz do SSDAP, temos:

- O desnível geométrico entre os pontos de entrada e saída de água deve ser, no mínimo, equivalente à soma das perdas de carga total  $\Delta h_l$  ao longo do trecho de escoamento (Equação 4). Isso garante que a gravidade possa propiciar o escoamento adequado da água.

$$\Delta E_{1,2} \geq \Delta h_l \quad (4)$$

- A segunda condição envolve a necessidade de prevenir a ocorrência de pressões negativas elevadas nos pontos mais críticos do sistema, assegurando que os valores absolutos não fiquem abaixo da pressão de vapor da água (Equação 5). Isso é expresso pela fórmula  $P/y \geq (p_{atm}/y - P_v/y)$ , onde a

$$\frac{p}{h} \geq \frac{p_{atm}}{h} - \frac{p_v}{y} \quad (5)$$

### 2.3 A concepção a partir do traçado arquitetônico

O SSDAP foi desenvolvido oferecendo uma alternativa mais eficiente e esteticamente discreta, atendendo melhor às exigências do projeto arquitetônico (Williams; Saul, 2012). Uma das vantagens é a ausência de inclinação, no SCDAP uma inclinação de 3% em 20 metros exigiria um desnível de 60 cm, o que pode comprometer a estética e funcionalidade da edificação, levando ao uso de tetos falsos baixos (Pereira, 2012).

A versatilidade do SSDAP é vista na sua utilização em diversos tipos de coberturas, planas ou inclinadas, e em áreas acessíveis a pedestres e veículos, desde que os ralos sejam

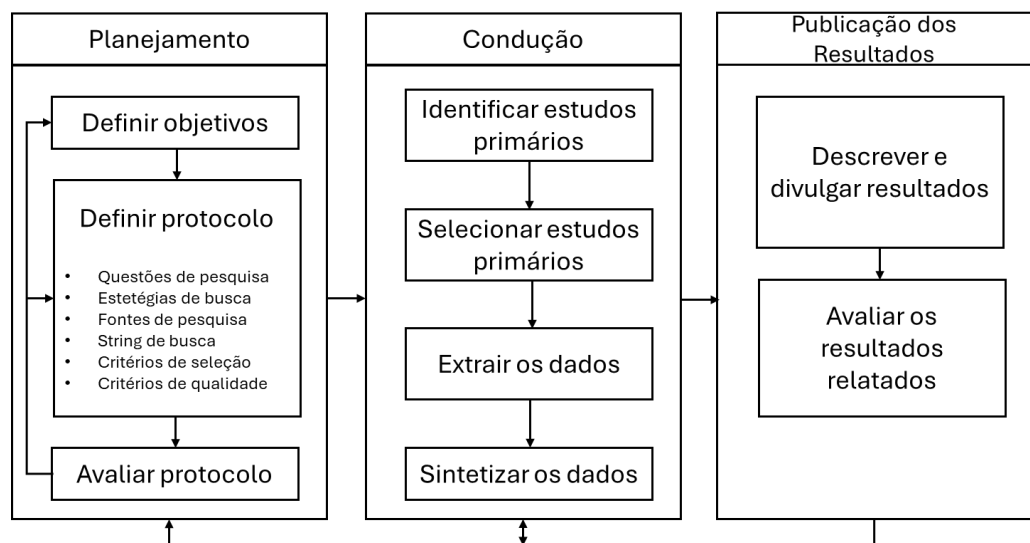
protegidos. A instalação requer acessórios específicos, de acordo com o tipo de cobertura, fornecidos pelos fabricantes. No entanto, estruturas com geometrias irregulares podem complicar a instalação e afetar a vazão nos pontos de coleta, tornando o desempenho do sistema dependente do formato e design (Pereira, 2012; Jack; Beattie, 2013).

Então, resumidamente, as vantagens são a adequação do SSDAP às arquiteturas arrojadas. Isso permite rapidez na instalação, redução dos diâmetros nominais, do número de condutores, das linhas subterrâneas horizontais, além de segurança e conforto, com alto nível de conforto acústico, a utilização de materiais não inflamáveis, que não propagam fumaça e com estabilidade das instalações (Marcadella, 2023; Rattenbury, 2001).

### 3 Metodologia

Um estudo de revisão, a partir da metodologia mapeamento sistêmico foi feito para garantir o que Vosgerau e Romanowski (2014) entendem como processo investigativo em uma pesquisa – a busca em fontes das mais diversas – tendo como critério único um tema central estudado. Assim, seguiu-se com um amplo mapeamento por meio da técnica do Mapping Study ou Scoping Review. Uma metodologia estruturada em três estágios, objetivando classificar e categorizar estudos, Figura 2, que por meio de meta-análise estatística, entrega informações que possam melhor serem aceitas pela comunidade científica (Petersen *et al.*, 2008).

**Figura 2:** Fases de um mapeamento.



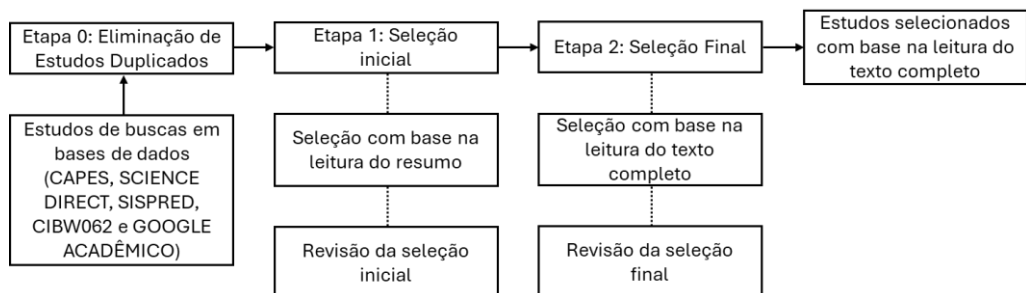
Fonte: Falbo (2015).

Ao caso, o objetivo da pesquisa é, a partir de fontes científicas, permitir a contextualização, a problematização e a condução de um novo estudo voltado para o SSDAP. Para a fase de protocolos, o método de busca artigos foram pré-selecionadas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), na plataforma Science Direct, no repositório bibliográfico do Google Acadêmico (sem a opção “incluir citações”), no Simpósio Nacional de Sistemas Prediais (SISPRED) e no CIBW062.

A triagem de artigos partiu das expressões lógicas, aplicadas para apurar aquelas que fazem menção ao sistema de água pluvial sifônico. As palavras-chaves utilizadas foram, “Siphonic Drainage Pluvial”, “Siphonic Outlets” e “Siphonic Roof Drainage System”. Optou-se por utilizá-los em inglês por ser uma língua universal, tal como foi feito pelos estudiosos que utilizam a técnica de mapeamento sistêmico. Partindo dos repositórios e periódicos, todos os dados coletados foram levados para o software de gerenciamento de referência JabRef, sendo posteriormente exportados para a plataforma Microsoft Excel.

Finalizada essa etapa, os artigos foram selecionados manualmente através da leitura dos títulos, resumos e texto completo, classificados em aderentes e não aderentes, Figura 3, desde que atendam ao questionário especificados no Quadro 1.

**Figura 3:** O processo de seleção de estudos.



Fonte: Falbo (2015) – adaptado.

**Quadro 1:** Questões da pesquisa.

Quando e onde os estudos têm sido publicados?
Quais periódicos incluem artigos sobre o tema?
Quais os objetos mais investigados e como eles mudaram ao longo do tempo?
Quais são os métodos de investigação mais frequentemente aplicados e em que contexto de estudo?
Qual aspectos têm sido enfocados?
Que tipos de pesquisa têm sido feitas?
Quais os propósitos de se empregar o método sifônico?
Quais são as normas existentes?
Quais as principais conclusões reportadas?
Diz respeito a estudos que discutem novas técnicas?
Refere-se a estudos que avaliam a prática?
Buscam novas forma de dimensionamento?
Apresentam informações que possam auxiliar na determinação do seu traçado geométrico e sua ligação com a arquitetura?

## 4 Resultados e Discussão dos Resultados

A partir da metodologia apresentada, com base nas strings e bases de dados selecionadas, foram encontrados 64 artigos aderentes, sendo 4 encontrados pela base SISPRE, 20 a partir da CIBW62, 6 na Elsevier, 11 no repositório CAPES e mais 23 no Google Acadêmico. Portanto, 36% das pesquisas divulgadas encontram-se no Google Acadêmico. As revistas e eventos com maiores números de publicações estão apresentadas no Quadro 2.

**Quadro 2:** Principais revistas e repositórios com artigos publicados a respeito do tema.

<i>Journal</i>	Nº de artigos	<i>Journal</i>	Nº de artigos
CIBW62 - Water Supply and Drainage for Buildings	20	Journal of Building Engineering	1
Building Services Engineering Research & Technology	6	Journal of Water and Environment Technology	1
Building and Environment	5	Journal of Water Resource and Protection	1
XIII Simpósio Nacional de Sistemas Prediais Desempenho e Inovação De Sistemas Prediais Hidráulicos	5	Mapan-J Metrol Soc I	1
Building Research & Information	4	Environments (Basel, Switzerland)	1
HR Wallingford	2	Physics of Fluids 35,	1
Repositório Digital Heriot-Watt University	2	Repositório Digital UFGRS	1
UniSC Research Bank	2	Repositório Digital Unicamp	1
Urban Water	2	Repositório Digital UNIVERSIDADE DE AVEIRO	1
12th International Conference on Urban Drainage	1	Repositório Digital UNIVERSIDADE DO PORTO	1
Czech Journal of Civil Engineering	1	Repositório Digital University of Sheffield	1

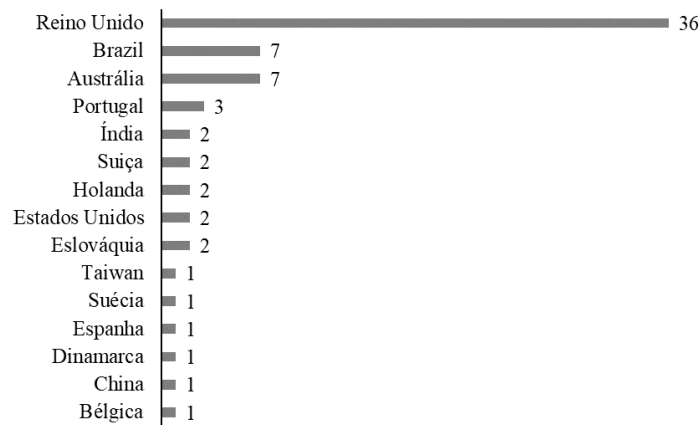
Os artigos publicados focam em sua grande maioria na escorva e nas condições de fluxo dentro da calha do telhado. Assim, consoante a Arthur e Swaffield (2001), pouco se sabe sobre os custos operacionais, faltando compreender ações como a preparação de sistemas e a representação das condições variável de fluxo.

O método de investigação para tanto mais utilizado é o bibliográfico – apesar disso, avalia informações de práticas de funcionalidade do sistema –, seguido do experimental. Pouco se fala sobre as normativas vigentes, apenas Richers e Sowny (2019) se propuseram a confrontar os requisitos por elas exigidos. Em contrapartida, os principais estudos enfocam nas questões de custos e comparação com o sistema convencional. Os eixos de estudos pouco se inclinam para questões de interferência da escolha do traçado do telhado ou dos materiais escolhidos para essa cobertura.

#### 4.1 O estudo das normas vigentes

Normativas vigentes são encontradas somente no Reino Unido, Alemanha, Estados Unidos e Austrália (Richers; Sowny, 2019), coincidentemente, são os países com maiores números de publicações, exceto para Alemanha, Figura 4. O Brasil vem despontando como um país onde as pesquisas acerca do tema começam a ser realizadas, mas tudo ainda a pequenos passos, com trabalhos desenvolvidos no âmbito bibliográfico e de comparação entre os sistemas convencionais e sinfônico.

**Figura 4:** Número de artigos publicados por países.



Fonte: Autores (2024).

Foi identificado que as principais normas são a BS EM 12.056-3:2000, inglesa, amplamente utilizada na Europa, principalmente por fabricantes do sistema, cabendo destacar as marcas Valsir e Geberit. Tem-se ainda a norma australiana e neozelandesa, AS/NZS 3.500.3:2018, a alemã DIN 1986-100:2008-05, servindo, também como referência a países europeus.

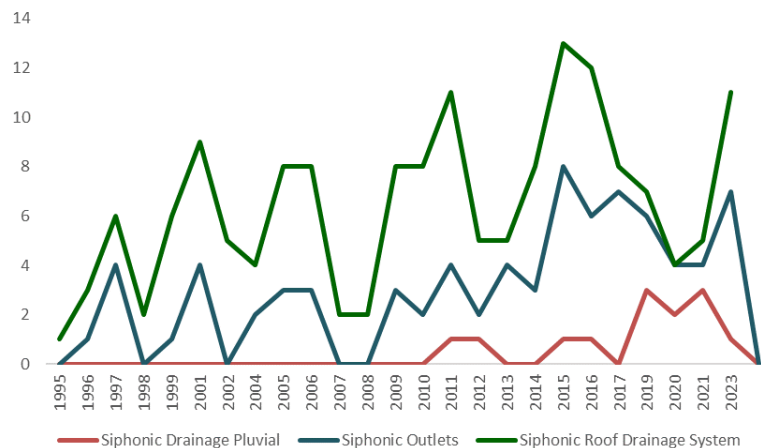
Ainda sobre as normativas, no quesito dimensionamento de calhas para o SSDAP, a australiana AS 3500.3:2003 estabelece que o nível de transbordo não deve ser inferior a vazão de projeto de saída da calha, já a britânica BS 8490:2007 impõem a necessidade de pelo menos uma tubulação de transbordamento/extravasador de emergência em cada telhado. Isso é observado, também, na americana ASTM F2021:2006. Para a alemã, VDI 3806:2000, a capacidade de drenagem é o cálculo obtido da diferença entre a precipitação em um período de retorno de 100 anos e a capacidade máxima de drenagem (Lucke; Beecham, 2015).

Outro ponto, a BS8490:2007, estabelece uma faixa de pressão entre -76,5 a 86,3 kN/m<sup>2</sup> e velocidade de fluxo no ponto de pressão mínima de até 6 m/s. Os motivos, garantir a geração de transientes de pressão negativa de modo a não gerar colapso da parede da tubulação (Arthur; Swaffield, 2001; Arthur; Wright, 2007), e ainda, diminuir a possibilidade de cavitação. Entretanto, Lucke e Beecham (2009) em seu estudo comprovaram que é muito improvável a ocorrência de dano nas tubulações por tal fenômeno (Lucke; Arthur, 2011).

## 4.2 As vantagens do SSDAP e a sua integração a edificação

A Figura 5 apresenta um gráfico com os artigos publicados ao longo do tempo, numa base histórica acompanhada desde 1995. Ao que parece, a partir dessas publicações ao longo dos anos, existe um grupo restrito de profissionais e pesquisadores interessados em elucidar e entender o comportamento do sistema sinfônico para coberturas.

**Figura 5:** Série histórica considerando repetições de artigos publicados.



Fonte: Autores (2024).

De modo geral, a grande vantagem desse sistema é a altura manométrica - cria um fluxo pressurizado que permite o escoamento de grandes volumes de água sem a necessidade de inclinações naturais nas tubulações -, que está entre o fundo da calha e o ponto de descarga, normalmente próximo ao nível do solo. Tem-se ainda, o fluxo de escoamento, que consegue conduzir dez vezes mais quando se comparado ao sistema convencional. Para May (1997), isso permite flexibilidade de espaço na edificação, podendo gerar economia para unidades em sua maioria industriais e comerciais de grande porte. Esses podem ser considerados critérios ou pontos de partidas para a definição do sistema pluvial se convencional ou sifônico, para a partir daí, segundo Pereira (2012), justificar essa escolha e poder dimensionar o sistema.

O SSDAP, como já mencionado, possui uma flexibilidade de traçado melhor quando comparado ao sistema convencional. A pouca interferência arquitetônica se dá pelo menor número de caixas de passagens, permite um espaçamento maior entre os condutores verticais, redução do diâmetro nominal, declividade quase nula, coleta e montagem rápida (Sasso *et al.*, 2019; Richers; Sowny, 2019), além disso, uma diminuição de corte e aterro para as redes subterrâneas (Freitas; Reis, 2019). Entretanto, acrescenta a necessidade de espaço para sustentação dos condutores elevados e suporte da estrutura.

Richers (2023), analisa questões arquitetônicas e de funcionamento do próprio sistema em três edificações brasileiras, os resultados impressionam, visto que no Aeroporto Internacional de Confins – Terminal TPS 2, Laboratório Nacional de Luz Síncrotron e o Centro Paraolímpico Brasileiro. A autora sugere a necessidade de se buscar maior conhecimento a respeito dos materiais que compõem esse sistema, das análises dos índices pluviométricos que vão auxiliar na escolha do sistema e no equacionamento para coberturas diversas.

A partir dessas considerações, é um sistema que permite uma maior personalização, isto é, a maior flexibilidade da instalação permite o desenvolvimento de projetos arquitetônicos complexos, de modo a não interferir em sua estética e funcionalidade. Porque, como já mencionado, não exige inclinações nas tubulações, adaptando-se facilmente a diferentes coberturas. Além disso, utiliza menos condutores e tubulações visíveis, resultando em um sistema mais discreto e eficiente, o que favorece projetos com

maior liberdade estética e funcional. O sistema pode ser facilmente pré-fabricado, podendo ser adaptado a diferentes configurações de coberturas e telhados. Entretanto, os estudos encontrados não tratam desses aspectos, reforçando as conclusões de Richers (2023).

### 4.3 A materialidade das tubulações do sistema

Os requisitos fundamentais para tubos e conexões do SSDAP estão relacionados a aspectos hidráulicos. É crucial que os componentes sejam capazes de suportar as pressões máximas, tanto positivas quanto negativas, que podem ocorrer. As características de perda de carga dos tubos e conexões devem ser bem entendidas e incorporadas adequadamente nos projetos. O sistema de suporte deve ser projetado para lidar com as forças resultantes de efeitos térmicos, expansão, vibrações e as pressões geradas pelo fluxo em curvas e outros acessórios (May; Escaramela, 1996). Além disso, as juntas precisam ser seladas de forma hermética para garantir a efetividade da ação sifônica (Campbell, 2015).

As instalações purgam o ar deste sistema, estabelecendo um fluxo total dentro das tubulações que ligam a saída das calhas à rede de águas superficiais ao nível do solo (Wright *et al.*, 2006b). É projetado, nesse sentido, para funcionar em toda sua extensão a uma pressão subatmosférica, com maior vazão e maior velocidade de escoamento do sistema (Arthur; Wright, 2005a).

Entretanto, quanto maior a área drenada e altura dos condutores verticais, mais resistente deve ser o material. Assim, os diversos fabricantes fornecem os componentes em diferentes tipos de materiais, tais como: ferro fundido, cloreto de polivinila não plastificado (PVC-U) e polietileno de alta densidade (PEAD) são algumas das opções. Isso porque, em razão do efeito de sucção, devido os gradientes de pressão, as paredes das tubulações tendem a deformar assimetricamente em direção ao centro. Nesse caso, o sistema convencional se mostra mais vantajoso, os custos com as peças, em PVC, para qualquer vazão são baixos, com aplicações 6 a 8 vezes menores (Freitas; Reis, 2019; Lucke; Arthur, 2011; Sasso *et al.*, 2019). Além disso, o PVC gera menos ruídos e vibrações. Outro aspecto importante é a facilidade de instalação, os pontos de fixação e as estruturas de sustentação são mais simples e econômicas.

O efeito de sucção tem ainda mais impacto em países tropicais, visto que para altas temperaturas, a resistência do material é reduzida. No entanto, estudos sugerem uma classe de pressão mínima de  $630 \text{ kN/m}^2$  para tubos PEAD para resolver os problemas com pressão negativa. Nesse sentido, para garantir que as pressões na tubulação de descarga estejam dentro do limite recomendado, utiliza-se diâmetros menores. Logo, a velocidade de fluxo aumenta, aumentando as perdas de carga na tubulação, o que por sua vez, garante pressões de flambagem muito baixas. Outra maneira seria interromper a ação sifônica dentro do condutor, a uma certa distância do condutor vertical, aumentando-se o diâmetro da tubulação ou injetando ar em determinados pontos do condutor vertical (Lucke; Arthur, 2011).

Para sistemas com diâmetro de 50, 65, 80 e 100 mm e material em PVC-U, cuja pressão mínima atingida foi de  $-70 \text{ kN/m}^2$  com uma diminuição na capacidade do sistema de 52% é improvável que haja falha devido ao colapso de parede por transientes de pressão, Tabela 1, a pressão mínima para essa situação não fica abaixo de  $-99 \text{ kN/m}^2$  (Lucke; Beecham, 2009). Para diâmetros maiores, entre 150 e 300 mm os projetistas precisam ser

cautelosos ao especificarem esse tamanho de tubo para o SSDAP, desde que a diferença de pressão (DP) não seja maior que a valores apresentados na Tabela 1 e a classe do material seja SN4 ou SN8 – onde SN é a classe de rigidez do material, sendo que a classe de pressão é respectivamente 65 kN/m<sup>2</sup> e 229 kN/m<sup>2</sup> (Lucke; Arthur, 2011).

**Tabela 1:** Faixa de pressão para tubos de PVC-U e PEAD.

Diâmetro	Pressão aproximada	Faixa de diferença de pressão (kN/m <sup>2</sup> )	Material
50	5,3	585-665	PVC-U
65	5,3	395-405	PVC-U
80	5,3	460-470	PVC-U
100	5,3	135-155	PVC-U
150	5,3	110-135	PVC-U
225	4	120-125	PVC-U
300	4	100-105	PVC-U
250	4	65-70	PEAD
315	4	65	PEAD
315	6,3	140-165	PEAD

Fonte: Lucke e Arthur (2010) – adaptado.

Quanto ao PEAD, Tabela 1, para o maior diâmetro possível, 315 mm, é improvável a ocorrência de falhas devido ao colapso da parede do tubo por transientes de pressão negativa, entretanto, cuidados devem ser tomados quando da especificação de condutores verticais para esse material e diâmetro (Lucke; Arthur, 2011).

Se a pressão for limitada via incremento de ar no sistema, é indicado que para PVC-U, grandes diâmetros, orifícios de 100 mm de diâmetro sejam introduzidos a cada 9,0 m, sendo improvável que haja falha por colapso. Caso opte-se por PEAD, a distância entre os furos seria de 4 em 4 m (Lucke; Arthur, 2011).

Ainda sobre os efeitos de sucção, esse efeito se tornar mais intenso quando a intensidade pluviométrica cai, abaixo das premissas de projeto, “muito em função da quantidade de ar arrastado ou a intensidade de chuva variando ao longo do tempo”. As fases pulsantes e cíclicas podem levar, também, a ruídos e vibrações. Uma grande desvantagem do sistema é a dificuldade em se atingir o estado estacionário e as dúvidas para com os métodos atuais de dimensionamento, inadequados para determinar o desempenho diário do sistema. A solução para minimizar é a adoção de um purgador de ar (Lucke; Beecham, 2015; Wright *et al.*, 2006a).

O SSDAP é projetado para uma taxa específica de escoamento de água da chuva, que, embora ocorra raramente, pode ser vulnerável a chuvas mais intensas do que as previstas. Nesses casos, o volume excedente deve ser gerido por sistemas secundários ou pontos de transbordo, que ajudam a reduzir riscos de eventos climáticos extremos ou entupimentos (Jack; Beattie, 2013). Esses sistemas secundários são acionados quando o nível da água ultrapassa a altura da calha principal, variando entre 70 e 120 mm, dependendo de fatores geográficos e ambientais. Contudo, a adição desses sistemas eleva os custos de projeto, instalação e materiais (Lucke; Beecham, 2015).

Mesmo assim, Wright *et al.* (2006a) e Arthur e Swaffield (2001) questionam a simplificação das condições de fluxo nos sistemas de drenagem sifônica que pode resultar em problemas e falhas operacionais. Em primeiro estudo, Wright *et al.* (2006b) interpela pelo desenvolvimento de um modelo numérico um pouco mais completo e abrangente para simular o desempenho do sistema. Já Morgado e Campos (2021) aponta a necessidade

de uma otimização do sistema a partir de avaliações de desempenho e viabilidade econômica com base nos diferentes regimes pluviométricos, em especial para o Brasil, em detrimento ao sistema convencional.

#### 4.4 Os principais requisitos para projeto

Nos estudos de Richers e Sowny (2019), comparou-se normativas e definiu-se os principais critérios de parâmetros para dimensionamento, Tabela 3. Para Williams (2016), o dimensionamento envolve sete áreas principais, o projeto hidráulico, os critérios de projeto, o balanceamento do sistema (quantidade de água a ser escoada, a resistência do escoamento na rede de tubulações e a altura fornecida pela edificação), as velocidades mínimas de fluxo, a velocidade de escorva, as pressões mínimas admissíveis e o ar dentro do sistema.

**Tabela 2:** Parâmetros para dimensionamento e operação

Parâmetros	Valores	Fonte
<b>Projeto</b>		
Verificação da perda de carga por prumada	Máx. 10% ou 1,0 m	BS8490:2007/ ASPE 45:2013
Fator de segurança	10% na vazão do projeto	ASPE 45:2013
Pressão negativa	Máx. 900 mbar	VDI 3806:2000
Condutor vertical	Comprimento mínimo 4,0m; diâmetro igual ou menor que o tubo horizontal, apresentar no topo duas curvas de 45°	VDI 3806:2000/ ASPE 45:2013/ BS 8490:2007
Tubo de saída do ralo sifônico	Mín. 1,0 m comprimento, curva 90° na parte inferior	VDI 3806:2000/ ASPE 45:2013
Velocidades no sistema sifônico	Mín. 1,0 m/s e máx. 6-7 m/s, tubo vertical de saída de 2,5 a 3 m/s	VDI 3806:2000/ ASPE 45:2013/ BS 8490:2007
Tempo de enchimento	Máximo 60s	BS 8490:2007
<b>Calhas</b>		
Inclinação e tamanho	Até 1% de inclinação, capacidade da vazão de projeto	ASPE 45:2013/ BS 8490:2007
<b>Sistemas secundários ou extravasores</b>		
Posicionamento	Distância máxima 20m, equidistante um do outro e mínimo de dois ralos por calha	VDI 3806:2000/ BS 8490:2007
<b>Tubulação</b>		
Espessura das paredes	PEAD Schedule 40	ASPE 45:2013/ ASTM F 2021: 2006
<b>Operação</b>		
Limpeza e caixas de passagem	Mín. 3 a 4 vezes/ano	BS 8490/ ASPE 45:2013

Fonte: Richers e Sowny (2019) – adaptado.

Jágerská e Peráýková (2016) enfatizam que: as calhas deverão ser equipadas com pelo menos um local de escoamento; para superfícies de telhados acima de 5.000 m<sup>2</sup> a drenagem deve ocorrer por pelo menos dois sistemas independentes, para elevada energia cinética de pressão do sifão, deve se reduzir a velocidade de fluxo para 2,5 m/s; deve-se evitar a combinação de áreas de telhado com diferentes intervalos de tempo de descarga; telhados com inclinações diferentes ou níveis muito diferentes devem ser drenadas através de condutores diferentes.

Já Sasso *et al.* (2019), deu enfoque ao dimensionamento e comparação técnico-

econômica dos pontos de aplicação, quer seja para obras industriais e convencionais, ou ainda, o dimensionamento do sistema pelos softwares de empresas do ramo; algo similar ao que foi feito por Freitas e Reis (2019) que buscaram, também, aprofundar a relação área x custo, a fim de tornar o sistema viável.

Somando-se, ainda, as contribuições de Wright *et al.* (2006b), quanto ao desenvolvimento de um modelo que simula as condições dentro do sistema de drenagem com saídas múltiplas e de um método numérico capaz de direcionar a chuva do telhado da superfície ao solo. Bem como Lucke e Beecham (2015), que a partir de sete configurações experimentais diferentes, relacionaram as dimensões das calhas ao diâmetro das tubulações de alimentação.

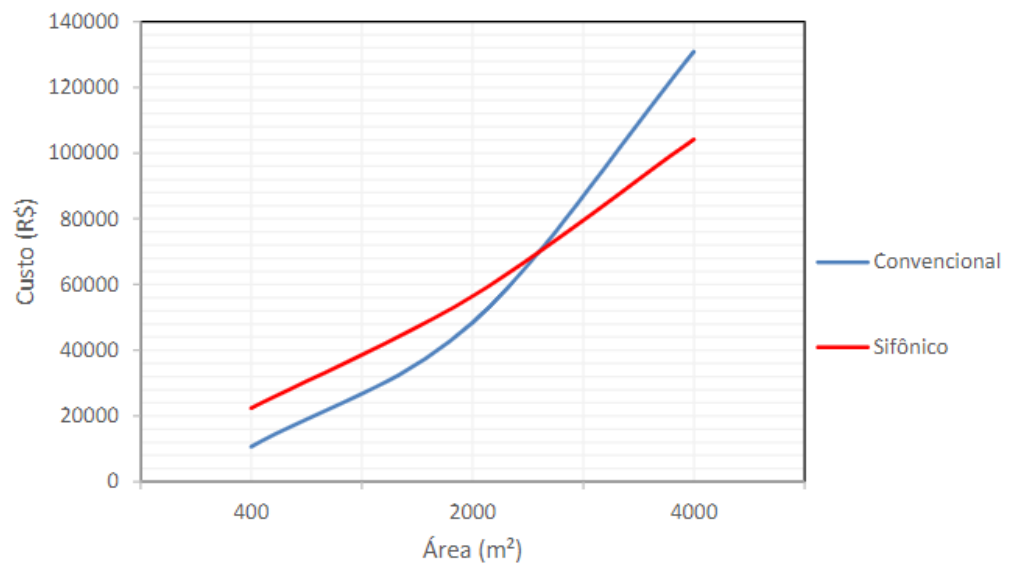
É possível apontar, também, a necessidade de se prever uma maior capacidade de descarga para o sistema, frente ao cenário de mudanças climáticas, essa deve ser a condição de projeto da instalação. Além dos aspectos aqui apontados, difundir-se softwares ou dimensionamentos que não só usem dados empíricos, hoje aplicados a modelos comerciais comercializados por cada fabricante. Isso porque, o profissional responsável pelo projeto, construção e a própria manutenção, acaba tendo a sua responsabilidade legal terceirizada, é o que aponta López-Patiño *et al.* (2023).

#### **4.5 O processo de difusão do sistema**

O SSDAP trata-se de um sistema que existe há pouco mais de 30 anos e que vem buscando o seu lugar no mercado, como um elemento comum de infraestrutura de drenagem urbana, persuadindo a indústria da construção e comparando os seus benefícios aos sistemas convencionais (Wright *et al.*, 2006a). Contudo, apesar das vantagens apresentadas, poucas orientações (Wright *et al.*, 2006b) e poucos trabalhos foram desenvolvidos.

Além disso, algumas desvantagens se comparadas ao sistema convencional precisam ser superadas ou minimizadas. Como já apontado, os custos elevados para pequenas áreas de contribuição, Figura 16, a serem drenadas ou telhados em que a sua geometria (múltiplas saliências, reentrâncias ou alturas) dificulte a coleta de água por um único ralo são uma delas. A definição a priori da altura manométrica, que implicará no acúmulo de água na cobertura. Maiores cuidados quanto a manutenção preventiva, visto que estão mais suscetíveis a entupimentos (Pereira, 2012).

**Figura 6:** Custo do SSDAP em relação com o aumento de área de captação.



Fonte: Freitas e Reis (2019).

Com relação as lacunas que ainda necessitam melhor exploração, Morgado e Campos (2021), por exemplo, sugere a relação otimizada de projetos de sistema predial pelo método sifônico baseado na viabilidade econômica e avaliação de desempenho sob diferentes regimes pluviométricos, em especial para o Brasil. Ressalta-se também a influência dos diferentes componentes e materiais utilizados pelos fabricantes, que resultam em interferências nos custos das composições, tempo de montagem e custo de mão de obra. Destaca-se também como lacuna de pesquisa, maior necessidade de explorar o que Sommerhein (1999) aponta como uma das principais causas para o fenômeno do *priming*, o desenvolvimento de cálculos corretos que considerem, também, o tipo de cobertura. Relacionado a isso, tem-se a sugestão de Bramhall e Saul (1999), buscar métodos de cálculo para dimensionamento de calhas, visto que o posicionamento delas interfere na vazão de saída de todo o sistema.

## 5 O estado da arte para o SSDAP

O SSDAP é ideal para grandes edificações como fábricas, armazéns, aeroportos, centros de convenções, estádios e grandes lojas de varejo (Smith, 2008). Rattenbury (2001) destaca que o sistema foi amplamente adotado em países como Austrália, Nova Zelândia, Cingapura, Coreia, Canadá, México, Rússia e Oriente Médio. Exemplos notáveis incluem o Estádio Austrália em Sydney, o Aeroporto Chek Lap Kog em Hong Kong, o Aeroporto Internacional Kuala Lumpur e a unidade da Rolls-Royce na Escócia, conforme relatado por Lucke e Beecham (2011) e Lucke e Arthur (2011). Isso demonstra a versatilidade e eficácia do SSDAP em diversos contextos.

Apesar disso diversas são as falhas que o sistema estará sujeito, a seleção inadequada da intensidade de projeto, que não reflete as condições reais de chuva, erros na estimativa das perdas de carga, resultando em eficiência reduzida, obstruções por detritos, bloqueios devido a falhas na vedação e o uso de materiais inadequados afetam a funcionalidade do sistema. Danos causados por vibrações e expansão térmica, atrasos na ativação do efeito sifônico, insuficiência na capacidade de drenagem subterrânea, pressões negativas extremas e mudanças no layout das tubulações durante a instalação

também contribuem para o mau funcionamento. Esses fatores ressaltam a importância de um planejamento cuidadoso e da consideração de múltiplos aspectos para garantir a eficácia dos sistemas sifônicos.

A Tabela 4 resume as contribuições, lacunas identificadas e sugestões para estudos futuros sobre o SSDAP. Os estudos destacam vantagens e desafios do sistema, as lacunas apontam áreas que requerem mais pesquisa e as sugestões visam orientar novas investigações para melhorar a eficiência, sustentabilidade e desempenho do SSDAP em diversos contextos, fortalecendo sua implementação e operação a fim de superar os desafios descritos anteriormente.

**Tabela 4:** Análises dos estudos analisados

<b>Estudos</b>	<b>Contribuições</b>	<b>Lacunas</b>	<b>Sugestões para Estudos Futuros</b>
May (1997), Freitas <i>et al.</i> (2019) e Sasso <i>et al.</i> (2019)	Vantagens do SSDAP em diversas condições; redução de volume de corte e aterro; flexibilidade no planejamento.	Necessidade de maior conhecimento sobre a resistência dos materiais utilizados.	Investigar mais sobre materiais alternativos e suas propriedades na prática.
Lucke e Arthur (2015)	Identificação de desafios relacionados à influência do ar na pressão do sistema.	Superestimação dos impactos negativos de pressão; necessidade de mais pesquisas.	Realizar estudos experimentais para quantificar a influência do ar no sistema.
Lucke e Beecham (2015)	Complexidade no dimensionamento de sistemas para edifícios; necessidade de softwares matemáticos.	Falta de uma abordagem simplificada para o dimensionamento iterativo.	Desenvolver ferramentas de modelagem mais acessíveis para engenheiros.
López-Patiño <i>et al.</i> (2023)	Análise da integração do EPANET para dimensionamento de drenagem sifônica; validação do modelo.	Necessidade de adaptações nos cálculos de perda de carga; número insuficiente de estudos.	Expandir a pesquisa sobre a eficácia de softwares em diferentes cenários.
Gonçalves (2016)	Sensibilidade dos condutores a entupimentos; importância da manutenção regular.	Falta de diretrizes claras para manutenção e operação eficaz.	Propor protocolos de manutenção específicos para diferentes condições climáticas.
Campbell (2015)	Problemas operacionais podem ser resolvidos na fase de concepção do projeto.	Subprojetos em partes do sistema que causam falhas; necessidade de estudos comparativos.	Investigar a relação entre concepção e desempenho em sistemas convencionais e SSDAP.
Richers (2023)	Facilitação da captação e aproveitamento de águas pluviais; sustentabilidade do sistema.	Necessidade de avaliação dos impactos ambientais de sistemas de drenagem.	Realizar estudos sobre a sustentabilidade e a eficiência hídrica em diferentes contextos.
Williams e Saul (2012)	Introdução do SSDAP como uma solução estética e eficiente em drenagem de telhados.	Falta de estudos sobre a durabilidade e desempenho estético a longo prazo.	Avaliar o desempenho estético e funcional do SSDAP em diferentes condições climáticas.

Estudos	Contribuições	Lacunas	Sugestões para Estudos Futuros
Pereira (2012)	Vantagens da inclinação em SSDAP; impacto na estética e funcionalidade das edificações.	Necessidade de explorar o equilíbrio entre estética e funcionalidade no design.	Analisar casos de estudo onde o design estético foi bem-sucedido em SSDAP.
Marcadella (2023), Rattenbury (2001)	Versatilidade do SSDAP em diferentes coberturas; benefícios acústicos e de segurança.	Falta de dados sobre a eficácia de acessórios específicos para diferentes materiais.	Investigar o impacto dos acessórios na performance do SSDAP em diferentes tipos de cobertura.

Fonte: Autores (2024).

Observa-se ainda, a necessidade de incluir uma análise detalhada dos fenômenos transitórios em um sistema, especialmente devido à crescente complexidade dos ambientes construídos e à operação dos edifícios. Enquanto se busca simplificar o projeto, é crucial atender às expectativas elevadas dos usuários e enfrentar os desafios das mudanças climáticas. A inclusão de simulações de fluxo instável no desenvolvimento do sistema é uma abordagem essencial para lidar com essas questões (Swaffield *et al.*, 2004).

Os principais fabricantes que atuam no mercado brasileiro são: a Saint Gobain, com o sistema Epams; a FullFlow, com a PrimaFlow; a Geberit, com a linha Pluvia; e a Wavin, com o Quickstream. Seus produtos, que abrangem tubos e conexões, são feitos de: Polietileno de Alta Densidade (PEAD), unidos por eletrofusão ou eletrossoldagem; ferro fundido (FF); polipropileno (PP); policloreto de vinila (PVC); e aço inoxidável (Richers, 2023; May; Escarameia, 1996).

A Tabela 5 fornece um resumo das principais normas internacionais sobre SSDAP, incluindo regulamentações de diversos países. Cada norma é acompanhada do ano de publicação e uma breve descrição, que abrange desde diretrizes para drenagem de águas pluviais. Essas normas são essenciais para garantir a eficiência e segurança dos sistemas de drenagem, refletindo as melhores práticas do setor.

**Tabela 5:** Normas e regulamentações mundiais

País	Norma	Ano	Descrição
Alemanha	VDI 3806	2000	Diretrizes para a drenagem de águas pluviais
	DIN 1986-100	2008	Requisitos para sistemas de esgoto e drenagem
	ASME A.112.6.9	2005	Normas para sistemas de drenagem em edifícios
Estados Unidos	ASTM F 2021	2006	Padrões para tubos de drenagem
	ASPE 45	2018	Diretrizes para projetos de sistemas de drenagem
Reino Unido	BS 8490	2007	Especificações para drenagem de águas pluviais
Austrália/Nova Zelândia	Chapter 16	2010	Diretrizes para sistemas de abastecimento e drenagem

<b>País</b>	<b>Norma</b>	<b>Ano</b>	<b>Descrição</b>
	CPCPPS5012A	2012	Normas para a instalação de sistemas hidráulicos
	AS/NZS 3500.3	2015	Padrões para drenagem e esgoto
Singapura	SS 525	2006	Normas para drenagem e controle de águas pluviais
Suíça	SN 592 000	2012	Diretrizes para a drenagem de águas pluviais

Fonte: Autores (2024).

Portanto, o sistema possui características operacionais complexas, o que torna necessário o desenvolvimento de normas que padronizem os projetos e garantam a eficácia na manutenção (Arthur; Wright, 2007). No Brasil, o uso do sistema é ainda restrito e não há normas específicas em vigor. O dimensionamento, a concepção dos projetos e as análises detalhadas são de responsabilidade dos fabricantes, enquanto os estudos no país se baseiam em normas internacionais e focam na comparação de custos com sistemas de drenagem convencionais (Sasso *et al.*, 2019).

## 6 Considerações finais

As pesquisas de May (1997), Freitas *et al.* (2019) e Sasso *et al.* (2019) indicam que o SSDAP apresenta vantagens em diversas alturas, configurações arquitetônicas e localizações geográficas. Os benefícios incluem a diminuição do volume de corte e aterro, maior eficiência no planejamento arquitetônico, flexibilidade no traçado, redução do diâmetro dos tubos e a possibilidade de operação sem necessidade de inclinação. Para otimizar a eficiência do sistema e a área drenada, é fundamental considerar a resistência dos materiais, sendo o uso de ferro fundido recomendado para os condutores verticais.

O que se torna importante a partir das análises feitas é a busca por modelo numérico efetivo, que apresente e simule o desempenho real do sistema, a simplificação destes contribuem para que o método sifônico ainda seja pouco explorado por não se conhecer ao certo o seu comportamento. Para o Brasil, isso se torna ainda mais relevante, pois não há uma normativa vigente, tão pouco estudos que abordem aspectos de operação e manutenção do sistema. De modo geral, o entendimento é que além de um método de dimensionamento, é necessário estudar todos os fenômenos relacionados a esse sistema e, em especial, a sua relação com os elementos os quais interagem entre si, o traçado geométrico do telhado, a altura da cobertura, o tipo de material utilizado na cobertura, o posicionamento das calhas, de suas saídas, a necessidade de sistemas secundários, para comportar um possível transbordo e tanto outros, que compõem um leque de assuntos ainda não explorados.

Como sugestão à norma brasileira, seguir exemplos de trabalhos como o de Pacheco e Alves (2023), que atribuam a sua estrutura equacionamentos ou modelos, possibilitando a identificação de um regime pluviométrico, o mais exato para aquela região. Uma vez que, como já mencionado, a previsibilidade dos eventos vem diminuindo com as mudanças climáticas. ter desta forma, ter todos os parâmetros hidrológicos bem definidos é uma importante prerrogativa para que o sistema tenha um bom desempenho. Além dessas questões, aspectos de origem sociais e econômicas também precisam estar

presentes na norma para apoiar o meio técnico quanto as tomadas de decisões relacionadas ao uso desse sistema.

Apesar de toda análise feita, a presente pesquisa se limita a observar o que já foi desenvolvido, sendo necessário uma avaliação mais aprofundada, não só do ponto de vista do funcionamento do sistema, aqui indicado como fenômeno, mas também da necessidade de se pensar em sua concepção a partir da arquitetura, algo até aqui pouco feito. Além de uma altura e área de contribuição máxima estabelecida, o tipo de cobertura, a sua inclinação, o seu traçado em si precisa ser estudado para compor esse complexo sistema. A partir desse entendimento, do sistema sifônico como parte que pode auxiliar na concepção da arquitetura, buscar uma metodologia de dimensionamento que se enquadre a realidade brasileira.

## Referências

- ALVES, L. D.; SOUZA, C. M. de; ALMEIDA, J. C. A. de; SOUZA, A. B. A. de; ANDRADE, R. C. de; NETTO, A. T.; ONHUMA JR, A. A. Influência do revestimento de telhados na qualidade de águas pluviais na região centro norte da cidade do Rio de Janeiro. **Paranoá** 34, p.1-25, 2023. DOI: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.16>
- ARTHUR, S.; SWAFFIELD, J.A. Siphonic roof drainage: current understanding. **Urban Water**, Edinburgh, v. 3, n. 1-2, p. 43–52, 2001. DOI:10.1016/s1462-0758(01)00021-8
- ARTHUR, S.; WRIGHT, G. B. Recent and future advances in roof drainage design and performance. **Building Services Engineering Research & Technology**, Edinburgh, v. 26, n. 4, p. 337-348, 2005. DOI: 10.1191/0143624405bt127tn
- ARTHUR, S; WRIGHT, G. B. Recent and future advances in roof drainage design and performance. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 26, n. 4, p. 337–348, 2005. DOI: 10.1191/0143624405bt127tn
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.
- BRAMHALL, M. A.; SAUL, A. J. The hydraulic performance of syphonic rainwater outlets relative to their location within a gutter. Proceedings of water supply and drainage: **CIB W62**, Edinburgh, UK, 1999.
- BUITENHUIS, M. Siphonic roof drainage systems. Research Engineer Hydro-Dynamics, **Aliaxis**, p. 97-101, 2017.
- CAMPBELL, D. Novel modulated flow, self configuring, siphonic roof drainage system. **Building Services Engineering Research and Technology**, Edinburgh, v. 35, n. 4, p. 349–361, 2014. DOI:10.1177/0143624413497482
- FALBO, Ricardo de Almeida. Mapeamento Sistemático. 2015. Disponível em: <http://claudiaboeres.pbworks.com/w/file/fetch/133747116/Mapeamento%20Sistem%C3%A1tico%20-%20v1.0.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2024.
- FREITAS, T. O. V.; REIS, R. P. A. Análise comparativa entre sistema sifônico e convencional de captação de água pluvial. **XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS DESEMPENHO E INOVAÇÃO DE SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS**, São Paulo, v.1, p. 256-267, 2019. DOI: 10.46421/sispred.v1i.1613
- GONÇALVES, J. D. M. C. **Estudo dos efeitos da colmatção parcial do ralo de sistemas**

- sifônicos de drenagem de coberturas.** 2016. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro, Aveiro, 2016.
- JÁGERSKÁ, L; PERÁČKOVÁ, J. Characteristic of siphonic roof drainage system – principles and design conditions. **Czech Journal of Civil Engineering**, v. 2, n.1, p. 50-55, 2016. DOI: 10.51704/cjce.2016.vol2.iss1.pp50-55
- LUCKE, T.; ARTHUR, S. Plastic pipe pressures in siphonic roof drainage systems. **Building Research & Information**, v. 39, n. 1, p. 79–92, 2011. DOI:10.1080/09613218.2010.527684
- LUCKE, T.; BEECHAM, S. Alternative low-cost overflows for siphonic roof drainage systems: Proof of concept. **Journal of Building Engineering**, Australia, v. 2, p. 9-16, 2015. DOI: 10.1016/j.jobe.2015.03.006
- LUCKE, T.; BEECHAM, S.; ZILLANTE, G. Rainwater harvesting options for commercial buildings using siphonic roof drainage systems. **Internacional Transitions Conference**, Australian Industry of Building Surveyors, Adelaide, p. 1-11, 2007.
- LÓPEZ-PATIÑO, G. IGLESIAS-REY, P. L., MARTÍNEZ-SOLANO, F. J.; FUERTES-MIQUEL, V. Analysis of Siphonic Roof Drainage Systems with EPANET. **Advanced Technologies of Water and Wastewater Treatment**, Espanha, v. 10, n.7, p. 123. DOI: 10.3390/environments10070123
- MAY, R. W. P. Design criteria for siphonic roof drainage system. **HR Wallingford**, Departament of Trade and Industry, r. 1, p. 1-42, 2004. Disponível em: <https://eprints.hrwallingford.com/535/1/SR654-Designing-criteria-siphonic-roof-drainage-system.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2024.
- MAY, R. W. The Design of Conventional and Siphonic Roof-Drainage Systems. **Water and Environment Journal**, v. 11, n. 1, p. 56-60, 1997. DOI: 10.1111/j.1747-6593.1997.tb00088.x
- PACHECO, G. C. R.; ALVES, C. M. A. Influência das incertezas no regime pluviométrico no aproveitamento de água pluvial em três cidades de Goiás -Brasil. **Paranoá** 34, p. 1-18, 2023. DOI: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.26>
- PEREIRA, J. P. D. N. **SISTEMAS PREDIAIS NÃO TRADICIONAIS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS PLUVIAIS**: Sistemas sifônicos ou em pressão. Orientador: r Carlos Alberto Baptista Medeiros. 2012. 96 p. Dissertação (MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/68215/1/000155149.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2024.
- PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. Systematic Mapping Studies in Software Engineering. School of Engineering, Blekinge Institute of Technology. University of Bari, Italy, 26 - 27 June. 2008.
- RATTENBURY, J. Fundamentals of siphonic roof drainage. **PM Engineer**, p. 52-58, mar. 2001.
- RICHERS, S. S. **Sistema convencional de drenagem pluvial x sistema sifônico: estudo de caso em obra de Montes Claros/MG.** 2023. 305 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2023.

- RICHERS, S.; SOWMY, D. Aplicabilidade das normas internacionais para a seleção de parâmetros de dimensionamento do sistema sifônico de drenagem de águas pluviais no Brasil –pesquisa documental. **XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS DESEMPENHO E INOVAÇÃO DE SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS**, São Paulo, v. 1, p. 196-202, 2019. DOI: 10.46421/sispred.v1i.1606
- RICHERS, S. S. **Sistema convencional de drenagem pluvial x sistema sifônico: estudo de caso em obra de Montes Claros/MG**. 2023. 305 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Presbiteriana Mackenzie, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, São Paulo, 2023.
- SASSO, F.; SCORTEGAGNA, V.; PAGNUSSAT, R. V.; FERNANDES, V.; FIORI, S.; LOPES, A. S. Sistema convencional x sistema sifônico: uma análise técnico-econômica no uso em sistemas prediais de águas pluviais. **XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS DESEMPENHO E INOVAÇÃO DE SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS**, São Paulo, v.1, p. 239-248, 2019. DOI: 10.46421/sispred.v1i.1611
- SMITH, J. R. The Fundamentals of Siphonic Roof Drainage System Design. **AIA Continuing Education Program**, American Institute of Architects, p. 67, 2008
- SOMMERHEIN, P. Design parameters for roof drainage systems. Proceedings of water supply and drainage: **CIB W62**, Edinburgh, UK, 1999.
- VOSGERAU, D. S. R.; ROMANOWSKI, J. P. Estudos de revisão: implicações conceituais e metodológicas. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 14, n. 41, p. 165-189, 2014. DOI: 10.7213/dialogo.educ.14.041.DS08
- WILLIAMS, K. J. **Experimental Study of Multiple Outlets in a Siphonic Roof Drainage System**. 2016. 299 p. Tese (Doctor of Philosophy) - Department of Civil and Structural Engineering, University of Sheffield, South Yorkshire, England, 2016. Disponível em: <https://etheses.whiterose.ac.uk/12019/1/Kieran%20James%20Williams%20-%20Experimental%20Study%20of%20Multiple%20Outlets%20in%20a%20Siphonic%20Roof%20Drainage%20System%20-%20PhD%20-%20090109502%20-%20February%202016%20%28Final%29.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2024.
- WRIGHT, G. B.; ARTHUR, S.; SWAFFIELD, J. A. Investigation and numerical modelling of roof drainage systems under extreme events. **Building and Environment**, Scotland, v. 41, p. 126-135, 2006 a. DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.12.006
- WRIGHT, G. B.; ARTHUR, S.; SWAFFIELD, J. A. Numerical simulation of the dynamic operation of multi-outlet siphonic roof drainage systems. **Building and Environment**, Scotland, v. 41, p. 1279–1290, 2006 b. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.05.003
- WRIGHT, G.B.; ARTHUR, S.; SWAFFIELD, J.A. Investigation and numerical modelling of roof drainage systems under extreme events. **Building and Environment**, v. 41, n. 2, p. 126–135, 2006 b. DOI: 10.1016/j.buildenv.2004.12.006
- WRIGHT, G.B.; ARTHUR, S.; SWAFFIELD, J.A. Numerical simulation of the dynamic operation of multi-outlet siphonic roof drainage systems. **Building and Environment**, v. 41, n. 9, p. 1279–1290, 2006 a. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.05.003