



O desempenho ambientalmente sustentável do sistema sifônico de drenagem de águas pluviais de grandes coberturas

Sabine Schmalz Richers

Doutora, UPM, Brasil.
ssrichers@uol.com.br.

Célia Regina Moretti Meirelles

Professora Doutora, UPM, Brasil.
celiaregina.meirelles@mackenzie.br

RESUMO

O objetivo deste artigo foi descrever o desempenho dos dois sistemas de drenagem, o Sistema Convencional de Drenagem de Águas Pluviais (SCDAP) e o Sistema Sifônico de Drenagem de Águas Pluviais (SSDAP), para poder diferenciar estes sistemas e associando-os na sustentabilidade ambiental, portanto, avaliando o seu desempenho na desmaterialização e na mitigação de alagamento de uma edificação. No processo da revisão bibliográfica para este artigo, obteve-se o conhecimento que fundamenta a mitigação de alagamento e a desmaterialização, publicado em revistas científicas, livros, dissertações, teses e rede eletrônica, no período de 1982 até 2023. O estudo foi realizado utilizando as normas internacionais em vigor, a ASPE 45:2018, BS 8490:2007 e a VDI 3806:2000. Apesar do sistema sifônico de drenagem de águas pluviais já ter completado aproximadamente 50 anos desde seu desenvolvimento, no Brasil ele ainda é pouco difundido, daí a relevância dos dados fotográficos apresentados e analisados pelos autores. A desmaterialização com base no cálculo do comprimento e peso nos condutores horizontais e verticais do sistema de drenagem de águas pluviais de uma edificação permitem realizar um exercício projetual no qual pode-se concluir que houve uma redução no peso, no consumo energético e na emissão de dióxido de carbono do SSDAP em PEAD em relação ao SCDAP, tanto em PVC quanto em PEAD.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema sifônico. Sistema de drenagem de coberturas. Desmaterialização.

1 INTRODUÇÃO

A definição de sustentabilidade num sentido mais amplo baseia-se num tripé: sustentabilidade ambiental, social e econômica (PETRIDES *et al.*, 2018). Este autor também define a desmaterialização como sendo o uso de menos materiais em produtos industriais, ligado ao uso mais eficiente das energias. Outros autores se preocupam com os problemas decorrentes do aquecimento global como os alagamentos e os seus impactos nas comunidades mais vulneráveis que vivem em áreas de várzea (MEIRELLES *et al.*, 2019).

Nas últimas décadas registrou-se um crescente aumento na intensidade, frequência e duração das precipitações pluviométricas, e em virtude de adensamento urbano, crescente impermeabilização das superfícies, além de deficiências no saneamento básico, ocorreram alagamentos com danos materiais e humanos.

O Sistema Sifônico de Drenagem de Águas Pluviais (SSDAP), desenvolvido a partir de 1968, é um sistema de drenagem de águas pluviais que pode não somente contribuir para a mitigação de alagamentos, como também através de suas características oferecer uma desmaterialização, através da redução de consumo energético e redução da emissão de gás carbônico (GAUTAM; BUDDHI; SIVASHANKAR, 2017).

A contribuição do SSDAP na sustentabilidade será avaliada por meio da simulação de um estudo em uma obra fictícia, avaliando-se as características dos sistemas convencional e sifônico, de modo a diferenciar a desmaterialização para esta edificação e de modo global o potencial para a mitigação de alagamentos.

Neste artigo analisa-se o SSDAP utilizado em grandes coberturas de edificações comerciais e industriais, incluindo hospitais, centros de distribuição, hotéis, indústrias, estádios e shopping center, e a sua contribuição para: i) mitigação de alagamentos através da eficiência do desempenho, e da característica do seu funcionamento, e ii) desmaterialização baseada nas tubulações utilizadas nos sistemas de drenagem, diferenciando-se os sistemas convencional e sifônico.

A drenagem de águas pluviais é parte da cobertura de edificações, o seu funcionamento deve ser assegurado pelo dimensionamento de acordo com as normas nacionais (quando existentes) ou internacionais. Os sistemas de drenagem de águas pluviais dividem-se em SCDAP

que funciona por gravidade, segundo a norma NBR 10844:1989, e pelo SSDAP que opera por pressão negativa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

O SSDAP é indicado para a captação de água em grandes coberturas. De acordo com a norma alemã VDI 3806:2000, coberturas industriais e comerciais de grande porte devem apresentar no mínimo uma área de 5.000 m² (VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 2000). A comercialização de SSDAP inicia-se na Europa lentamente a partir de 1976 nos países da Escandinávia, Alemanha, Suíça e Inglaterra (BRAMHALL, 2005).

Historicamente o SSDAP foi desenvolvido a partir de 1968, nos Países Nórdicos, pelos pesquisadores Olavi Ebeling e Risto Lunden (BRAMHALL, 2005). O sistema é formado por ralos sifônicos, condutores (tubos) horizontais e verticais, e que permitem um escoamento de seção plena em condições de vazão de projeto, com aproveitamento da diferença de altura total entre ralo sifônico e o ponto de saída do sistema. Segundo Bramhall (2005), no escoamento de seção plena, a água e pequenas quantidades de ar ocupam a seção plena de uma tubulação. O ralo sifônico é um componente projetado para a entrada de água num sistema sifônico, no intuito de permitir a drenagem de água pluvial a partir de uma cobertura ou calha, com o objetivo de impedir a entrada do ar na tubulação.

May (1997) contribuiu para o desenvolvimento do SSDAP descrevendo o dimensionamento do SCDAP e SSDAP, detalhando com equações o funcionamento de ambos os sistemas. Ele concluiu que existem diversos pontos importantes: a escolha correta da intensidade pluviométrica, o dimensionamento correto de ralos sifônicos no intuito de evitar-se a entrada de ar, a importância e o monitoramento da pressão negativa nas tubulações, o processo de enchimento completo do sistema sifônico, também chamado de *priming*, e a necessidade de integração entre sistema sifônico e a rede de drenagem externa ao prédio.

Conforme Arthur e Swaffield (1999), o sistema sifônico opera por pressão negativa, segundo o princípio de Bernoulli, e apresenta uma capacidade de drenagem maior do que o sistema convencional. A pressão negativa é o vácuo que se forma no sistema sifônico após o enchimento completo de todos os componentes do sistema. Ainda segundo Arthur e Swaffield (1999), o sistema convencional opera segundo os princípios dos condutos livres, ou seja, exclusivamente por gravidade, e é dimensionado para funcionar parcialmente cheio, com pressão igual ou maior que a atmosférica. Por outro lado, o sistema sifônico segue os princípios dos condutos forçados. Isso é possível graças à diferença de pressão hidrostática entre o nível da água na calha e o trecho inferior do condutor vertical.

Sommerhein (1999) analisou e salientou os parâmetros mais importantes no dimensionamento de um sistema sifônico, no caso de uma série de falhas em instalações, ocorridas no Reino Unido na década de 1990. Concluiu que os problemas ocorridos no Reino Unido estariam ligados ao tipo de construção de edificações industriais e comerciais naquela época, além do dimensionamento de sistemas sifônicos com intensidade pluviométrica de 75 mm/h. Destacou a escolha correta do roteiro de dimensionamento, a importância da altura da lâmina de água nas calhas, a verificação da carga disponível correta, o dimensionamento do condutor vertical, o tempo de enchimento do sistema sifônico e o uso de prumadas diferentes para telhados em níveis diferentes.

Arthur e Swaffield (2001) realizaram um resumo do estado d’arte do sistema sifônico, após quase 30 anos de existência. O primeiro tópico operacional destacado é a “pressão de

operação”. Apesar do SSDAP ser dimensionado para operar em pressões negativas de até - 800 mbar ou - 80 kPa, podem surgir variações inesperadas devido a: a) interação com rede externa de drenagem; b) bloqueio e / ou entupimento parcial ou total de um ou mais ralos sifônicos; c) mudanças no *layout* do sistema sifônico, pós-projeto e d) entrada de quantidades de ar no sistema sifônico, imprevistas. Finalizam, destacando a importância de se verificar a altura de água nas calhas em plena operação, o que deve ser realizado por ocasião do dimensionamento, além dos tópicos do enchimento completo do sistema sifônico e da manutenção, frequentemente negligenciada.

May (2004) estabeleceu no trabalho *Report SR 654*, as diretrizes básicas para um projeto de sistema sifônico, englobadas na norma BS 8490:2007 (BRITISH STANDARDS INSTITUTE, 2007). Com base nessas diretrizes de 2004, May realizou experiências ao longo dos anos com escoamento de água nas calhas, nos telhados, ar em tubulações, cavitação em tubulações, e estudo de drenagem no sistema convencional. Destacou os seguintes tópicos: i) princípios de dimensionamento hidráulico; ii) pré-requisitos de verificação das perdas de carga das prumada, também denominado de *imbalancing* do sistema sifônico; iii) velocidades mínimas de escoamento no sistema sifônico; iv) velocidade de enchimento total no sistema sifônico e v) pressões mínimas permitidas.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste artigo foi descrever o desempenho dos dois sistemas de drenagem, o SCDAP e o SSDAP, para poder diferenciar estes sistemas e associando-os na sustentabilidade ambiental, portanto, avaliando o seu desempenho na desmaterialização e na mitigação de alagamento de uma edificação.

3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi a revisão bibliográfica seguida de uma demonstração com estudos diferenciadores. Na revisão bibliográfica foram identificados e descritos os sistemas, seus componentes, seu funcionamento e dimensionamento propostos por referências de sistemas de drenagem de águas pluviais. Como demonstração foi realizado um exercício projetual. Na análise das normas internacionais foi dada ênfase às que abordam e descrevem detalhadamente a utilização dos sistemas SCDAP e SSDAP. Foram identificados os autores nacionais e internacionais que estudam e pesquisam em universidades e instituições de pesquisa.

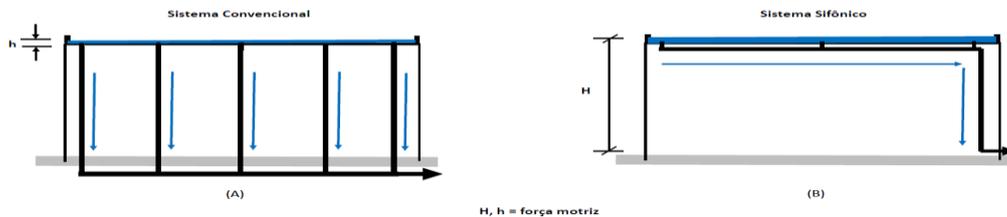
Foram utilizados como termos de busca: diferenças entre sistemas de drenagem de cobertura, sistema sifônico, telhados verdes, mitigação de alagamentos e desmaterialização. As principais normas utilizadas foram a ASPE 45:2018 (AMERICAN SOCIETY OF PLUMBING ENGINEERS, 2018), BS 8490:2007 e a VDI 3806:2000, além dos trabalhos de Rickmann (2019), Friedrich (2019) e Keidel (2020). As ilustrações deste artigo são oriundas das referências bibliográficas levantadas e do exercício projetual.

4 RESULTADOS

4.1 Diferenciação entre SSDAP E SCDAP

Na Figura 1 são mostradas esquematicamente algumas das diferenças entre o sistema convencional e o sistema sifônico. No sistema convencional (A) as águas pluviais são captadas por bocais sendo encaminhadas para diversos condutores verticais deixando a edificação através de um condutor horizontal, abaixo do piso. No sistema sifônico (B) as águas pluviais captadas por ralos sifônicos são encaminhadas para um condutor horizontal suspenso deixando a edificação através de um condutor vertical. Nota-se que o sistema sifônico em (B) possibilita um ganho de espaço dentro da edificação, ao contrário do sistema convencional em (A). As alturas “H” e “h”, expressam a altura disponível para a força motriz necessária para o funcionamento dos sistemas.

Figura 1 – Diferenciação entre sistema convencional (A) e sifônico (B), e com calhas externas e internas e layout de tubulações



Fonte: (A) e (B) modificado de Verstraten (2019, p. 92).

Na Figura 2 é mostrada a captação de águas pluviais no sistema convencional com a formação de um vórtice (A), em (B) visualiza-se um ralo sifônico captando as águas pluviais, totalmente coberto, ou seja, trabalhando na vazão de projeto.

Figura 2 - Sistema convencional – Captação de águas pluviais com formação de vórtice(A) e sistema sifônico – Captação de águas pluviais com ralo sifônico (B)



Fonte: Richers (2023).

Na Tabela 1 é apresentado o resumo das principais características e parâmetros de funcionamento que diferenciam os sistemas de drenagem de águas pluviais convencional e sifônico, destacando-se os parâmetros: i) diâmetros dos tubos; ii) grau de enchimento dos tubos; iii) inclinação dos tubos; iv) pontos de captação; v) princípio de funcionamento; vi) quantidade de caixas de passagem; vii) necessidade de sistema de emergência; viii) necessidade de caixas de passagem, e ix) velocidade nos tubos. As informações foram obtidas nas principais normas internacionais em vigor.

Tabela 1 – Resumo das principais características e parâmetros de projeto dos sistemas convencional e sifônico

Parâmetros	Sistema Convencional	Sistema Sifônico
Diâmetro dos tubos	DN 75 até DN 400	DN 75 - DN 300 (Os tubos têm diâmetro menor do que no sistema convencional)
Enchimento dos tubos	condutores horizontais com enchimento de 50 - 65% / condutores verticais enchimento de 35%	condutores horizontais e verticais 95-97%
Inclinação dos tubos	sim, 1,0 - 1,5 %	não é necessário
Pontos de captação nas calhas e coberturas / prumadas	muitos pontos de captação / mais prumadas (1 prumada ocupa 0,5 m ² de piso)	poucos pontos de captação / menos prumadas
Princípio de funcionamento	gravidade	gravidade até 40% de enchimento dos tubos, acima deste valor começa a sifonação
Quantidade de caixas de passagem	mais prumadas exigem maior quantidade de caixas de passagem internas e externas	menos prumadas exigem menos caixas de passagem
Drenagem de calhas internas exigem sistema de emergência	sim	sim
Drenagem de calhas internas sem caixas de passagem internas	não	sim
Velocidade da água nos tubos / limpeza	max. 0,6 - 0,7 m/s / sistema não é autolimpante	1,0 até 7,0 m/s / sistema é autolimpante

Fonte: Elaborado pelos autores partir das normas internacionais ASPE 45:2018 da American Society of Plumbing Engineers (2018); BS 8490:2007 British Standards Institute (2007); VDI 3806:2000 Verein Deutscher Ingenieure (2000).

4.2 A importância de sistemas de drenagem de coberturas eficientes e sustentáveis

A diferenciação entre os dois sistemas de drenagem de águas pluviais de coberturas, o SCDAP e o SSDAP, quanto a sua sustentabilidade ambiental, será avaliada analisando os seus desempenhos na desmaterialização e na mitigação de alagamentos.

4.2.1 Desmaterialização

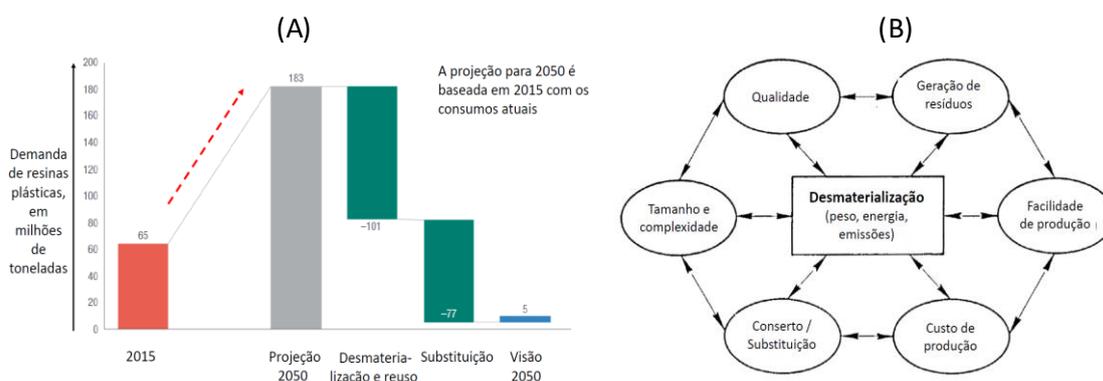
Segundo Petrides (2018) a desmaterialização está ligada ao desenvolvimento tecnológico dos produtos, ao efeito rebote *rebound effect*, este último definido como o fenômeno no qual as economias em materiais e energias são compensadas pelo uso mais frequente destes produtos e outras ações de geração carbono-intensivas ligadas à Análise de Ciclo de Vida (ACV). A otimização da desmaterialização ocorre através do índice de

desmaterialização que é maior do que o índice de consumo de material e leva à sustentabilidade ambiental, observando-se cada etapa do ciclo de vida dos produtos.

O setor da construção civil está sendo pressionado mundialmente para adotar projetos mais sustentáveis, com ênfase na extração e uso de matérias primas. A projeção para os próximos 50 anos indica que poderá haver um acréscimo de 2,3 bilhões de m² em edificações (principalmente residenciais devido ao aumento da população mundial) na construção civil, ligado a um aumento de 50% no consumo de energia global de acordo com Skillington e Crawford (2020). O potencial da desmaterialização de resinas plásticas, aplicadas entre outros em tubos e conexões, pode ser visualizado na figura 3 (A). Os autores Pickard e Sharp (2020), com base no consumo mundial de resinas plásticas na construção civil, de 65 milhões de toneladas em 2015, realizaram uma projeção até 2050 e sugerem quantidades que poderiam ser desmaterializadas e aproveitadas, substituídas e remanescentes em 2050. A quantidade atribuída à desmaterialização e aproveitamento é significativa (55% do total de 183 milhões de toneladas em 2050).

A desmaterialização de um determinado produto segundo Herman, Arkedani e Ausubel (1990) é afetado e influenciado por uma série de fatores além da qualidade do produto. Estes fatores incluem o processo produtivo, custos de produção, tamanho e complexidade do produto, se o produto pode ser consertado ou substituído, e as quantidades de resíduos que são gerados e que devem ser processados. A influência destes fatores entre si é mostrada esquematicamente na Figura 3 (B). Fatores relevantes adicionais são o crescimento econômico e populacional.

Figura 3 – Potencial de redução do consumo de resinas plásticas, incluindo a desmaterialização, projeção para 2050, a partir de 2015 em (A) e fatores da desmaterialização em (B)



Fonte: Modificado a partir de Pickard e Sharp (2020) em (A) e traduzido a partir de Herman, Arkedani e Ausubel (1990) em (B).

Gautam, Buddhi e Sivashankar (2017) definem o desenvolvimento sustentável na construção civil, no qual os ocupantes de um habitat têm o maior conforto com o menor impacto ambiental possível como construção verde. Informam ainda que, em edificações comerciais e industriais com grandes coberturas, há poucos componentes com um potencial tão elevado de desmaterialização como o SCDAP, sendo que o SSDAP é uma tecnologia eficiente de drenagem de telhados com uso de menos material que o sistema convencional em função de necessitar de menos tubulações e com diâmetros menores.

Apesar de todos os esforços para implementar energias mais limpas e políticas ambientais mais sustentáveis, a quantidade de gases de estufa *greenhouse gas emissions* está aumentando (GAUTAM; BUDDHI; SIVASHANKAR, 2017). Adicionalmente, estão ocorrendo mudanças climáticas com aumento da intensidade, da frequência e da duração das chuvas. É imperativo dimensionar os sistemas de drenagem de águas pluviais para aumentar a segurança e o ciclo de vida das edificações.

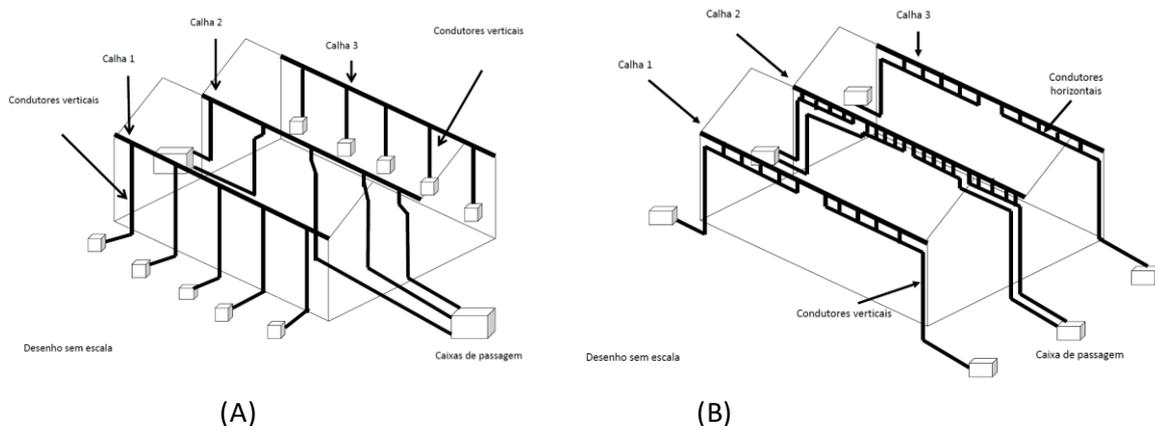
4.2.2 Avaliação da desmaterialização num estudo projetual

A edificação a ser utilizada como exemplo é um galpão de aproximadamente 32.300 m² de cobertura, com calhas externas e interna. A desmaterialização nesta edificação será demonstrada calculando-se o comprimento e peso dos condutores horizontais e verticais. A desmaterialização pode ser caracterizada pelo peso dos tubos de resinas plásticas utilizados, o consumo energético e a emissão de dióxido de carbono. Serão avaliados dois casos diferentes e mais comuns: i) sistema convencional em Policloreto de Vinila (PVC) e sistema sifônico em PEAD, e ii) sistema convencional e sifônico em PEAD. É importante salientar que o sistema convencional normalmente apresenta quantidades de tubulações com diâmetros e metragens maiores, ao contrário do sistema sifônico, conforme já foi citado anteriormente neste trabalho. A seguir são apresentados alguns parâmetros da edificação usada como exemplo (RICHERS, 2018).

Parâmetros básicos da edificação do exemplo (estudo projetual): i) área da cobertura 32.300 m²; ii) comprimento 190 m; iii) largura 170 m; iv) quantidade de águas e área 4 x 8.075 m²; v) caixas de passagem internas: não há; vi) quantidade de calhas externas 2; vii) quantidade de calhas internas 1; viii) inclinação das calhas 0,5 %; ix) seção das calhas externas 0,8 x 0,45 m; x) seção da calha interna 1,0 x 0,65 m e xi) intensidade pluviométrica 191 mm/h.

Na Figura 4 estão representados, esquematicamente, a edificação e o *layout* dos condutores horizontais e verticais para um sistema convencional (A) e para um sistema sifônico (B), referentes ao estudo projetual.

Figura 4 – Edificação com sistema convencional (A) e sistema sifônico (B) do estudo projetual



Fonte: Modificado a partir de Richers (2018).

A aplicação dos parâmetros básicos da edificação mencionados anteriormente, possibilita o cálculo dos comprimentos totais dos condutores horizontais e verticais e os seus respectivos diâmetros: i) sistema convencional em PVC com 230 m tubos DN 100, 1.316 m tubos DN 300, totalizando 1.546 m e ii) sistema sifônico em PEAD com 76 m tubos DN 125, 114 m tubos DN 160, 114 m tubos DN 200, 266 m tubos DN 250 e 112 m tubos DN 315, totalizando 682 m.

A Tabela 2 representa os diâmetros, metragens, pesos por metro, peso parcial e peso dos tubos dos sistemas convencional e sifônico com tubos em PVC e PEAD, assim como o cálculo do consumo energético e emissão de dióxido de carbono. Assim: i) no item (A) representa o cálculo do peso dos tubos em PVC (14.775,0 Kg) do sistema convencional, com base na metragem calculada anteriormente (1.546,0 m); ii) no item (B) representa o cálculo do peso dos tubos em PEAD (12.890,3 Kg) do sistema convencional, com base na metragem calculada anteriormente (1.546,0 m); iii) no item (C) representa o cálculo do peso dos tubos em PEAD (3.586,1 Kg) do sistema sifônico, com base na metragem calculada anteriormente (682,0 m); iv) no item (D) representa o cálculo do consumo energético e a emissão de dióxido de carbono, comparando-se o sistema convencional em PVC e o sistema sifônico em PEAD. A redução é expressa em percentagem (%) e v) no item (E) representa o cálculo do consumo energético e a emissão de dióxido de carbono, comparando-se o sistema convencional e o sistema sifônico, ambos em PEAD. A redução é expressa em percentagem (%).

Tabela 2 – Sistema convencional e sifônico – diâmetros, metragens, pesos por metro, peso total, consumo energético e emissão de dióxido de carbono

(A) Tubos em PVC - Sistema convencional						
Tipo	Diâmetro em milímetros (mm)	Comprimento em metros (m)	Espessura de parede (mm)	Peso por metro (Kg/m)	Peso total (Kg)	
1	DN 100	230,0	2,5	1,30	299,00	
2	DN 300	1.316,0	7,7	11,00	14.476,00	
TOTAL		1.546,0			14.775,00	
(B) Tubos em PEAD - Sistema convencional						
Tipo	Diâmetro em milímetros (mm)	Comprimento em metros (m)	Espessura de parede (mm)	Peso por metro (Kg/m)	Peso total (Kg)	
1	DN 125	230,0	4,8	1,86	427,80	
2	DN 315	1.316,0	9,7	9,47	12.462,52	
TOTAL		1.546,0			12.890,32	
(C) Tubos em PEAD - Sistema sifônico						
Tipo	Diâmetro em milímetros (mm)	Comprimento em metros (m)	Espessura de parede (mm)	Peso por metro (Kg/m)	Peso total (Kg)	
1	DN 125	76,0	4,8	1,86	141,36	
2	DN 160	114,0	6,2	3,08	351,12	
3	DN 200	114,0	6,2	3,88	442,32	
4	DN 250	266,0	7,7	5,98	1.590,68	
5	DN 315	112,0	9,7	9,47	1.060,64	
TOTAL		682,0			3.586,12	
(D) Cálculo do consumo energético e emissão de dióxido de carbono - Sistema convencional em PVC e sistema sifônico em PEAD						
Dados físicos	PVC (tubos)	PEAD (tubos)	Sistema Convencional (SCDAP) PVC (A)	Sistema Sifônico em (SSDAP) PEAD (B)	Redução em % (A - B / A)	
Peso (Kg)			14.775,0	3.586,12	75,7	
Consumo energético (MJ/Kg)	67,5	84,4	997.312,5	302.666,84	69,6	
Emissão de CO ₂ (KgCO ₂ /Kg)	2,5	2,0	36.937,5	7.172,20	80,6	
(E) Cálculo do consumo energético e emissão de dióxido de carbono - Sistema convencional e sistema sifônico em PEAD						
Dados físicos	PEAD	Sistema Convencional (SCDAP) PEAD (A)	Sistema Sifônico em (SSDAP) PEAD (B)	Redução em % (A - B / A)		
Peso (Kg)		12.890,3	3.586,12	72,2		
Consumo energético (MJ/Kg)	84,4	1.087.941,3	302.666,84	72,2		
Emissão de CO ₂ (KgCO ₂ /Kg)	2,0	25.780,6	7.172,24	72,2		

Fonte: Elaborado pelos autores com dados das NBR 7362-2:1999 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (1999, p. 2); DIN 8074:2011 da Deutsches Institut Für Normung (2011, p. 13); e consumo energético e emissão de gás carbônico Hammond e Jones - ICE (2008, p. 13).

Na Tabela 2, ítem (D), na comparação do sistema convencional em PVC e do sistema sifônico em PEAD, na edificação do estudo projetual (Figura 4), observa-se uma redução de peso 75,7%, uma redução no consumo energético de 69,6% e uma redução de emissão de dióxido de carbono de 80,6%. Ainda na Tabela 2, ítem (E), na comparação do sistema convencional e do sistema sifônico, ambos em PEAD, aplicados à edificação do estudo projetual (Figura 4), observa-se uma redução de peso, consumo energético e de emissão de dióxido de carbono de 72,2%. Os valores unitários de consumo energético e emissão de dióxido de carbono utilizados na Tabela 2 referem-se à publicação de Hammond e Jones ICE (2008, p. 13).

4.2.3 Mitigação de alagamento

Segundo Andrade (2006), frequentemente os termos enchente, alagamento e inundação são mencionados como sinônimos, mas devem ser empregados de forma distinta

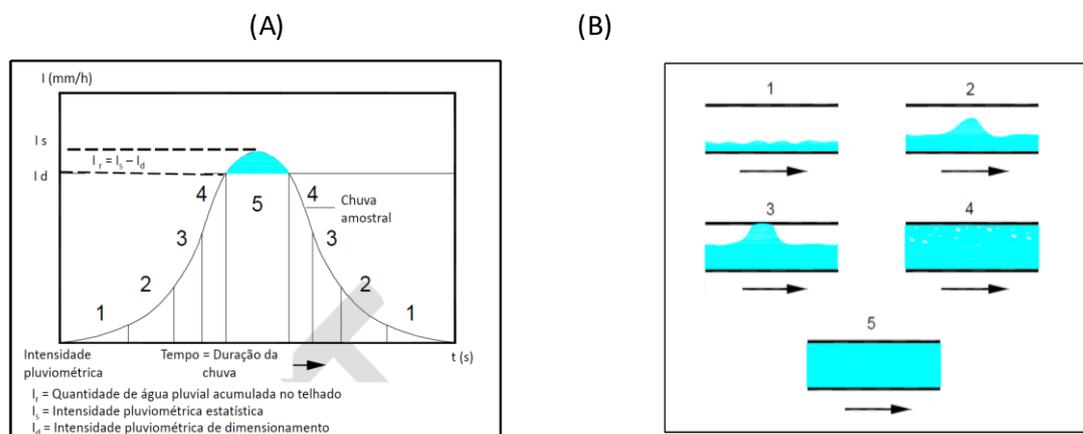
visto que descrevem fenômenos diferentes. O autor define o termo enchente como a situação na qual, após chuvas, a calha do curso d’água está completamente cheia. O termo inundação refere-se ao extravasamento das águas pluviais por ocasião de chuvas fortes para as áreas marginais de um curso d’água e o termo alagamento quando a calha do curso d’água não está cheia mas há acúmulo de águas nas áreas marginais.

Os sistemas de drenagem de águas pluviais podem fazer parte das medidas para a mitigação de alagamento, além de outros dispositivos como por exemplo os telhados verdes. Nas últimas décadas, houve uma crescente urbanização das cidades decorrente do aumento da população. Assim, em 1950, em escala mundial, a parcela da população concentrada em áreas urbanas era de 30%, aumentando para 55% em 2018 e com previsão de atingir 68% em 2050. Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (2020), a Organização das Nações Unidas, na sua publicação Perspectivas para a População Urbana de 2018, constatou que para o Brasil, em 2015, já havia uma concentração de população em áreas urbanas correspondente a 85% atingindo 87% em 2018.

O sistema sifônico é um sistema de drenagem de águas pluviais que funciona de modo intermitente. Esta característica é importante para compreender a capacidade que o sistema apresenta de: i) acumular águas pluviais nas tubulações do seu *layout*, e ii) acumular águas pluviais nas calhas em função da altura da lâmina de água na calha, fato este que pode ser ainda mais acentuado quando o sistema sifônico apresenta um sistema de emergência também sifônico. O SSDAP somente inicia a sua operação quando toda a tubulação está aproximadamente 60% cheia. A vazão de projeto é atingida quando o ralo sifônico está praticamente coberto de água. Nesta situação a lâmina de água pode atingir mais de 100 mm de altura, dependendo do tipo de ralo sifônico utilizado.

Na Figura 5 (A) segundo a norma ASPE45:2018, “ I_d ” representa a intensidade pluviométrica de dimensionamento, no caso, menor do que a Intensidade pluviométrica estatística “ I_s ”, de uma chuva amostral, de tempo de retorno “ T ” e duração “ t ”, em segundos. A área em azul é designada por “ I_r ”, onde $I_r = I_s - I_d$, representando a quantidade de água de chuva acumulada no telhado e calhas, até que o nível da saída de emergência esteja atingido ou até que a chuva pare.

Figura 5 - Processo de enchimento do sistema sifônico à esquerda e tipos de escoamento da água na tubulação à direita



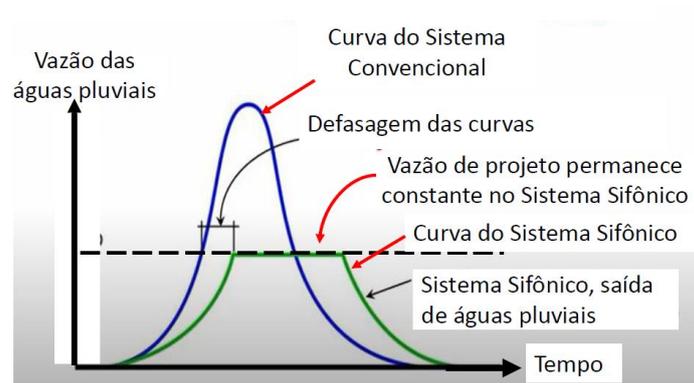
Fonte: ASPE 45:2018 da American Society of Plumbing Engineers (2018, p. 14).

Na Figura 5 (B), ainda segundo a norma ASPE45:2018, são descritos os cinco tipos de escoamento, encontrados na tubulação do sistema sifônico, por ocasião do seu enchimento pleno *priming* e posterior esvaziamento. A direção do escoamento da água é dada pelas setas, na Figura 5 (B). O escoamento tipo 1, ocorre em chuvas leves, bem abaixo da vazão necessária para o enchimento completo dos tubos. O escoamento ondular apresentado é encontrado no tipo 1. O escoamento tipo 2 é um escoamento pulsante, ocorrendo normalmente no encontro do tubo de saída do ralo sifônico e o condutor horizontal. Esse tipo de escoamento normalmente existe por diminuição brusca de velocidade da água, na saída da água dos tubos menores e entrada para os maiores. Nesse ponto, ocorre a transição do fluido em regime supercrítico para subcrítico, ou seja, um ressalto hidráulico. O escoamento tipo 3 ocorre com o aumento da intensidade das chuvas e quando os picos do ressalto hidráulico atingem a parte superior interna dos tubos, propagando-se em direção ao condutor vertical, ou seja, à saída do sistema sifônico. No escoamento tipo 4, com o novo aumento da intensidade da chuva, os tubos começam a ficar cheios e a quantidade de ar na água diminui. Quando a quantidade de ar decresce até aproximadamente 40%, o sistema começa a sifonar, paralelamente há uma diminuição da pressão estática, ficando menor que a pressão atmosférica, ou seja, tornando-se negativa. O ar que ainda existe nos tubos mistura-se com a água e é levado para fora do sistema, através do condutor vertical. Finalmente, o escoamento tipo 5 não contém mais ar e é denominado de escoamento típico do enchimento completo do sistema sifônico, equivalente ao atingimento da vazão de projeto do sistema sifônico. As pequenas quantidades de ar ainda presentes normalmente são menores que 5%. Quando a chuva diminui de quantidade, ocorre a reversão dos escoamentos do tipo 5 para o tipo 1 até que a chuva pare totalmente. Com a variação da intensidade da chuva, os escoamentos podem passar rapidamente de tipo 1 para 5 e vice-versa.

Na Figura 6 a seguir, é apresentada, de forma qualitativa, a curva de vazão por tempo de escoamento do sistema convencional, em cor azul, no qual os condutores horizontais e verticais estão cheios com 30% até 50% de água. O restante é ar. A curva de vazão por tempo de escoamento do sistema sifônico, em cor verde, no qual os condutores horizontais e verticais estão cheios com 100% de água e apresenta diâmetro que corresponde à metade do diâmetro dos tubos no sistema convencional. Segundo Keidel (2020) a vazão de projeto de um SSDAP é atingida quando os condutores horizontais e verticais estão completamente cheios e os ralos sifônicos praticamente cobertos. Este tempo de enchimento pode levar alguns minutos, de acordo com a edificação. Telhados, lajes e calhas, dependendo da edificação, podem acumular águas pluviais, contribuindo para a mitigação. As águas pluviais armazenadas nos condutores e na calha até cobrir os ralos sifônicos representam um volume de água retido que pode ajudar na mitigação de um possível alagamento. As calhas, em especial as calhas internas devem ser providas de um sistema de drenagem secundário ou de emergência, conforme prevê a EN 12056-3:2000 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2000). Observa-se uma diferença no traçado das curvas de escoamento e que entre o sistema convencional e sistema sifônico há uma defasagem que corresponde ao tempo de enchimento do sistema sifônico, ou seja, o *priming* e ao volume de água armazenado na calha. Quando o sistema sifônico atinge a vazão de projeto, o escoamento é constante durante um espaço de tempo, decrescendo após este tempo. Conforme já mencionado, o sistema sifônico funciona de forma intermitente. No sistema

convencional há um aumento muito pronunciado na vazão de escoamento em um curto espaço de tempo. A diferenciação das curvas indica que o sistema sifônico pode atuar na mitigação dos alagamentos em função do traçado da curva vazão por tempo, regularizando a vazão de escoamento, com efeito nas caixas de passagem externas e/ou internas da edificação (Keidel, 2020).

Figura 6 – Diferenciação entre as curvas do sistema sifônico e convencional referente variação da vazão das águas pluviais com o tempo



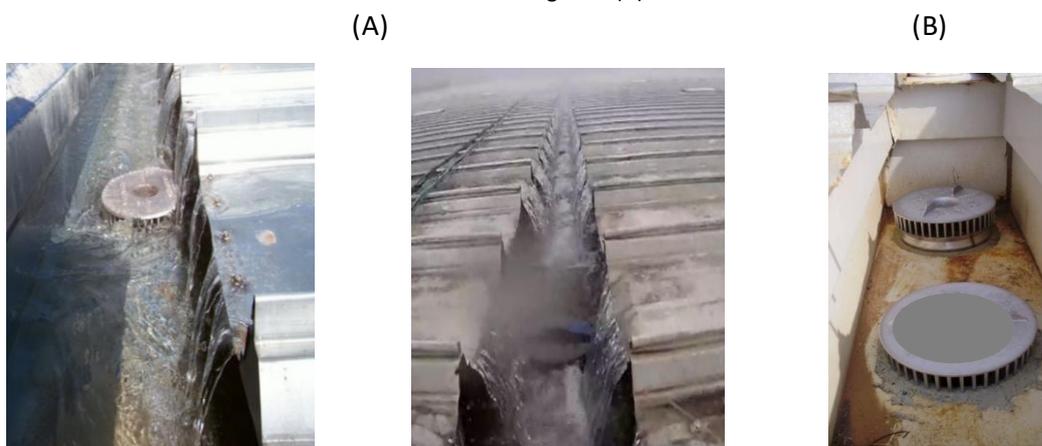
Fonte: Keidel (2020, tradução nossa).

As calhas não fazem parte dos SCDAP e SSDAP. Como podem acumular águas pluviais, os autores Rickmann (2019) e Friedrich (2019) informam que uma calha para captação de águas pluviais, poderá apresentar um fluxo de água pluvial com três alturas distintas: i) altura da lâmina de água na calha com vazão de projeto; ii) altura da lâmina de água na calha correspondente à saída de emergência, e iii) altura da calha do bordo livre.

A norma DIN 1986-100:2008 estabelece valores mínimos para a altura do bordo livre dependendo da altura da lâmina de água na calha na vazão de projeto (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, 2008). Assim: i) para alturas da lâmina de água na calha (sempre na vazão de projeto) menores que 85 mm o bordo livre deverá ser maior que 25mm; ii) para valores entre 85-250 mm o bordo livre deverá ser de três vezes a altura da lâmina de água, e iii) para alturas da lâmina acima de 250mm o bordo livre deverá ser maior que 75 mm.

Na Figura 7, em (A), são visualizados trechos de calhas com ralos sifônicos, em edificações comerciais e industriais, parcialmente submersos e totalmente submersos. Deve ser lembrado de que ralos sifônicos somente atingem a sua vazão de projeto quando estão encobertos por água.

Figura 7 – Trecho de calha com chuva e ralos semi submersos e totalmente submersos (A) em sistema de emergência (B)



Fonte: Richers (2023).

Em edificações comerciais e industriais, as calhas internas e ocasionalmente também as externas possuem um sistema de drenagem de águas pluviais denominado de secundário ou de emergência, principalmente quando as calhas são extensas, por exemplo acima de 100 m. Na Figura 7 (B), é mostrado um trecho de calha com dois ralos sifônicos. O ralo sifônico em primeiro plano (parte inferior da figura) é o ralo sifônico primário, sendo que o ralo sifônico em segundo plano (parte superior da figura) é um ralo sifônico secundário ou de emergência, instalado sobre um anel de aço inoxidável, ou seja, o ralo sifônico atua numa cota mais elevada e somente entra em operação quando o nível de água atingir a parte superior do anel. Esta disposição dos ralos sifônicos evitará um possível transbordamento da calha.

4.2.4 Aproveitamento de Águas Pluviais

Lucke, Beecham e Zillante (2007) observam a importância da gestão das águas como uma parte integrante na prática da construção sustentável. Em alguns países como a Austrália, em novas edificações, o foco está sendo a redução de energias e água, sendo que as águas pluviais estão sendo captadas e aproveitadas. Os autores mencionam que no SSDAP, as águas pluviais devido à sua força motriz proveniente da sua energia potencial e alta velocidade, usando poucos condutores verticais, podem ser direcionadas para tanques de coleta mesmo distantes, sem qualquer necessidade de bombeamento. No caso do SCDAP devido aos muitos condutores verticais e o uso de caixas de passagem, as águas pluviais necessitam de bombeamento para um tanque de coleta.

4.2.5 Telhados verdes

O SSDAP pode contribuir para a mitigação de alagamentos quando instalados em telhados verdes. As altas velocidades das águas pluviais nos seus condutores asseguram uma autolimpeza, mesmo que o SSDAP esteja operando com apenas 10-15 % de sua vazão de projeto (CAPCON, 2022). As coberturas de edificações que possuem telhados verdes podem reter águas pluviais que serão drenadas lentamente pelo sistema de drenagem projetado para esta finalidade. Na Figura 8 (A) é visualizado uma edificação com telhado verde. Na Figura 8 (B) pode

servisto o corte de um telhado verde. O telhado verde é composto por cinco camadas: i) camada de grama ou vegetação similar; ii) camada de terra com areia; iii) filtro de feltro ou sintético; iv) camada de material filtrante, e v) camada de material impermeável ou sintético. O posicionamento dos ralos sífônicos especiais (com dispositivo tipo flange e proteção contra entupimento) está sinalizado por uma seta vermelha.

Figura 8 – Edificação com telhado verde (A) e corte de telhado verde com as camadas que o compõem (B)



Fonte: Summit Mobilidade (2020) em (A) e adaptado pelos autores de HydroMax™ Siphonic Drainage / B. Ross (2012) em (B).

5 CONCLUSÃO

A diferenciação quanto as características e parâmetros de drenagem de água pluvial, do SCDAP e do SSDAP, só foi possível a partir da coleta das três normas internacionais em vigor, a ASPE 45:2018, BS 8490:2007 e a VDI 3806:2000. Estas normas destacam os seguintes parâmetros: i) Diâmetros dos tubos menor no sistema sífônico, ii) Enchimento pleno dos tubos horizontais e verticais no sistema sífônico e iii) Quantidade de caixas de passagem menor no sistema sífônico devido a menor quantidade de prumadas.

A desmaterialização com base no cálculo do comprimento e peso dos condutores horizontais e verticais de uma edificação permitem realizar um exercício projetual no qual pode-se concluir que: i) o SSDAP em PEAD apresenta uma redução de peso de 75,7%(kg), uma redução de consumo energético de 69,6%(MJ/kg) e uma redução de emissão de dióxido de carbono de 80,6%(kgCO₂/kg) em relação ao SCDAP em PVC e ii) o SSDAP em PEAD apresenta uma redução de 72,2% em peso(kg), em consumo energético (MJ/kg) e emissão de gás de dióxido de carbono (kgCO₂/kg) em relação ao SCDAP também em PEAD.

A mitigação de alagamento é estudada a partir de três variáveis: i) A vazão de escoamento da água, ii) A presença de calhas e iii) A instalação de telhados verdes. No primeiro item a diferença no traçado das curvas de escoamento dos dois sistemas aponta para uma defasagem que corresponde ao tempo de enchimento dos mesmos, no qual o sistema convencional tem um aumento pronunciado na vazão do escoamento em um curto espaço de tempo o que não ocorre no sistema sífônico. No segundo item as calhas no qual está instalado

um sistema sifônico podem armazenar um volume considerável de água pluvial retendo o volume de água do alagamento. E por fim no terceiro item a instalação de telhados verdes contribui de forma similar ao item dois, pois atua na retenção do volume de água pluvial também mitigando o efeito do alagamento.

Apesar do SSDAP já ter completado aproximadamente 50 anos desde o seu desenvolvimento, no Brasil ele ainda é pouco difundido. Na Europa, Ásia, Austrália e Estados Unidos da América o uso do SSDAP é difundido e o dimensionamento é baseado em normas, além das suas vantagens serem conhecidas. Conclui-se portanto que o fato do SSDAP ainda ser pouco difundido no Brasil, deve-se, entre outros fatores, à falta de maior divulgação, ao emprego em larga escala do SCDAP e pela falta de uma norma brasileira para o SSDAP.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF PLUMBING ENGINEERS. **ASPE 45:2018**: Siphonic roof drainage. Rosemont: ASPE, 2018.

ANDRADE, J. P. M. **Previsão hidrometeorológica visando sistema de alerta antecipado de cheias em bacias urbanas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ARTHUR, S.; SWAFFIELD, J. A. Siphonic roof drainage: current understanding. **Urban Water**, v. 3, p. 43-52, 2001.

ARTHUR, S.; SWAFFIELD, J. A. Understanding siphonic rainwater drainage systems. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 25., Edinburgh, 1999. **Proceedings** [...]. Delf: CIB W062, 1999. B1.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10.844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7362-2**: Sistemas enterrados para condução de esgoto – Parte 2: Requisitos para tubo de PVC com parede maciça. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

BRAMHALL, M. A. **The performance of siphonic rainwater outlets within gutters**. 2005. Thesis (PhD Civil Engineering) - University of Sheffield, Sheffield, South Yorkshire, 2005.

BRITISH STANDARDS INSTITUTE. **BS 8490:2007**: Guide to siphonic roof drainage systems. London: BSI, 2007.

CAPCON. **Green Roof Drainage Design**. Disponível em: <https://capconeng.com/siphonic-drainage-green-roofs/>. Acesso em: 07 jun. 2022.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1986-100**: Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke –Teil 100: Bestimmungen in Verbindung mit DIN EN 752 und DIN EN 12.056. Berlin: DIN, 2008.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 8074**: Rohre aus Polyethylen (PE) – PE 80, PE 100 – Maße; Text Deutsch und Englisch. Berlin: DIN, 2011.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN EN 12.056-3**: Schwerkraftentwässerungsanlagen innerhalb von Gebäuden. Teil 3: Dachentwässerung, Planung und Bemessung. Deutsche Fassung. EN 12.056-3:2000. Berlin: DIN, 2000.

FRIEDRICH, M. **Basiswissen für Dachentwässerung**. Markus Friedrich Datentechnik, Berlin, Sept. 2019. p. 19. Disponível em: <https://www.friedrich-datentechnik.de/download/basiswissen/Basiswissen-Drain.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2020.

GAUTAM, B.; BUDDHI, D.; SIVASHANKAR, P. Siphonic Roof Drainage: a dematerializing approach towards Green Construction. **International Journal of Science, Engineering and Technology**, v. 5, n. 3, 2017.

HAMMOND, G; JONES, C. **Inventory of Carbon & Energy (ICE) – Version 1.6a – Sustainable Energy Research Team (SERT)**. Bath: Dept. Mechanical Engineering University of Bath, 2008. p. 13. Disponível em: <https://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2023.

HERMAN, R.; ARKEDANI, S. A.; AUSUBEL, J. H. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 38, p. 333-347, Feb. 1990.

HYDROMAXTM. **HydroMax Siphonic Drainage**. (Powerpoint), 2012. Disponível em: http://www.hydomax.com/136_MultimediaTechnicalPresentation.html. Acesso em: 02 jan. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Controle de Enchentes**. Rio de Janeiro: IPEA, 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/231-controle-de-enchentes>. Acesso em: 24 jan. 2022.

KEIDEL, R. **Better Methods for Preventing Flooding**. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/better-methods-preventing-flooding-rolf-keidel/>. Acesso em: 03 set. 2020.

LUCKE, T.; BEECHAM, T.; ZILLANTE, G. Rainwater harvesting options for commercial buildings using siphonic roof drainage systems. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE, AUSTRALIAN INSTITUTE OF BUILDING SURVEYORS, 4., 2007, Adelaide. Proceedings [...]. Adelaide, Australia EN, 2007.*

MAY, R. W. P. **Design criteria for siphonic roof drainage systems**. Wallingford: HRS, 2004. (Report SR 654).

MAY, R. W. P. The design of conventional and siphonic roof drainage systems. **Journal CIWEM**, n. 11, Feb. 1997.

MEIRELLES, C. R. M. *et al.* A problemática da urbanização na região amazônica: Bairro da Correnteza em Manacapuru. *In: PASQUOTTO, G. B.; GULINELLI, É. L. (org.). Desenho Urbano*. 1. ed. Tupã: ANAP, 2019. v. 1, p. 1-184.

PETRIDES, D. *et al.* Dematerialization and Environmental Sustainability: Challenges and Rebound Effects. **Procedia CIRP**, v. 72, p.845-849, 2018.

PICKARD, S.; SHARP, S. **Phasing out plastics – The construction sector**. London: [s.n.]: 2020.

RICHERS, S. S. **Sistema de drenagem de águas pluviais de alta performance: Parâmetros no projeto de grandes coberturas**. 2023. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2023.

RICHERS, S. S. **Sistema sifônico de drenagem de águas pluviais em grandes coberturas – Estudo de Caso**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2018.

RICKMANN, B. **Gebäude-und Grundstücksentwässerung: Schadensbilder**. Münster: Fachhochschule Münster, 2019. Disponível em: https://www.fh-muenster.de/egu/downloads/seminar_symposium_workshop/2019/Prof_Bernd_Rickmann_-_Schadensbilder_Dachentwaesserung.pdf Acesso em: 21 set. 2023.

SKILLINGTON, K.; CRAWFORD, R. Design for Dematerialization: an approach for reducing a building’s embodied environmental flows. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ARCHITECTURAL SCIENCE ASSOCIATION, 54., 2020, Auckland. Proceedings [...]. [S.l.]: ANZAScA-Verlag, 2020.*

SOMMERHEIN, P. Design parameters for roof drainage systems. *In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 25., 1999, Edinburgh. Proceedings [...]. Delf: CIB W062, 1999. A4.*



SUMMIT MOBILIDADE. Como cidades ao redor do mundo evitam danos de enchente. **Estado de São Paulo**, 11 fev. 2020. Disponível em: <https://summitmobilidade.estado.com.br/ir-e-vir-no-mundo/como-cidades-ao-redor-do-mundo-evitam-danos-de-enchentes/>. Acesso em: 19 jan. 2022.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 3806:2000**: Roof drainage with siphonic system. Apr. 2000.

VERSTRATEN, L. K. **Improved Design of Roof Drainage Systems with Box Gutters, Overflows and Downpipes**. 2019. Thesis (PhD in Science and Engineering) - University of Sunshine Coast, Australia, 2019.