

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AGRARIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

EDNALDO BARBOSA MARQUES

**CARACTERIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE TELHADOS E CONDIÇÕES DE
ESCOAMENTO DE AGUA PLUVIAL DO CECA-UFAL**

RIO LARGO – AL

2021

EDNALDO BARBOSA MARQUES

**CARACTERIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE TELHADOS E CONDIÇÕES DE
ESCOAMENTO DE AGUA PLUVIAL DO CECA-UFAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Campos de engenharia e Ciências Agrárias/UFAL,
como parte dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Brancildes Monte
Calheiros

RIO LARGO – AL

2021

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecária Responsável: Myrtes Vieira do Nascimento

M357c Marques, Ednaldo Barbosa

Caracterização de superfícies de telhados e condições de escoamento de água pluvial do CECA - UFAL. / Ednaldo Barbosa Marques – 2021.
75 f.; il.

Monografia de Graduação em Agronomia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Rio Largo, 2021.

Orientação: Prof. Dr. Carlos Brancildes Monte Calheiros

Inclui bibliografia

1. Telhados - escoamento. 2. Água de chuva. 3. CECA - UFAL.
I. Título.

CDU 692:63

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDNALDO BARBOSA MARQUES

CARACTERIZAÇÃO DE SUPERFÍCIES DE TELHADOS E CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL DO CECA – UFAL.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do curso de Agronomia do Campus de Engenharia e Ciências Agrárias – CECA, da Universidade Federal de Alagoas - UFAL como parte dos requisitos para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo e aprovação em 21 de dezembro de 2021.

BANCA EXAMINADORA:



Dr. Carlos Brancildes Monte Calheiros

Orientador

CECA/UFAL

Prof. Dr. Reinaldo de Alencar Paes

Membro Titular da Banca

CECA/UFAL



MSc. Marcelo Augusto da Silva Soares

Membro Titular da Banca

CECA/UFAL

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino, me guia, socorro presente na hora da angústia, ao meu pai Pedro Barbosa Marques, minha mãe Maria Cicera dos Santos Marques e minha irmã Edna Barbosa Marques; a toda minha família”.

OFEREÇO

A toda minha família e aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram na realização de um dos meus sonhos, além da minha formação e desenvolvimento, no âmbito pessoal ou profissional. A todos os meus amigos, professores e orientadores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, sempre presente em minha vida, concedendo-me força e sabedoria para a realização de um dos meus sonhos. A Ele toda honra e toda glória.

Aos meus pais, Pedro Barbosa Marques e Maria Cicera dos santos Marques, que são à base de tudo, sempre depositando confiança em mim, apoiando-me em decisões e nos momentos difíceis com amor e carinho, dando-me força e incentivando-me a persistir nos meus sonhos e objetivos. A eles todo o meu amor.

À Universidade Federal de Alagoas (UFAL) e ao Campos de Engenharia e Ciências Agrárias (CECA), em conjunto com a Coordenação do Curso de Agronomia e a todos os docentes por produzir conhecimento, gerar pensamento crítico, organizando e articulando os saberes, formando cidadãos, profissionais e lideranças intelectuais.

À minha irmã Edna Barbosa Marques, pelo amor, carinho e compreensão concedidos nos momentos mais importantes.

À toda minha família, em especial meus avós (Albertina pereira e Domingos José) e a todos os meus tios e tias, por todo amor, carinho, orações e momentos compartilhados, sempre me ajudando a alcançar meus sonhos.

Aos amigos de graduação, em especial aos da turma do curso de Agronomia de qual fiz parte, pelos momentos de desafios e descontração, tornando-se especiais e jamais esquecidos, contribuindo para minha formação. Obrigado Aleska Batista, Allan Santana, Anderson Barcelos, Cláudio José, Saniel Carlos, Gessyca Thays, Cosme Angelo, João Rodrigues, Khayke Fernando, Manoel Mariano, Marcos Davi, Ramon Souza, Renato Barbosa, René Porciuncula e Rodney Cardoso.

Agradeço em especial a Willames Bernardos, Clinston Paulino, Divanuzia Cavalcante, João Cavalcante, Claudia Oliveira, Amauri Araújo, João Rodrigues, José Waligton, Walisson Cavalcante, klaysson, Marcio Moreira meus compadres e comadres e afilhados por contribuírem para minha formação, assim como pela amizade e momentos de descontração e desafios compartilhados que serão sempre lembrados.

Ao meu orientador Prof. Dr. Carlos Brancildes Monte Calheiros, pelo suporte que me deu, paciência, incentivos essenciais e por aceitar o convite para me orientar.

Aos auxiliares de campo (Gilmar e Zé Tel), pelo desprendimento na colaboração com os pesquisadores

Ao Msc. Marcelo Augusto, por contribuir para a realização de um dos meus sonhos.

Ao Dr. Iedo Teodoro, pelos ensinamentos, paciência e compreensão, contribuindo para a realização de um dos meus sonhos.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta meus agradecimentos.

RESUMO

Faz-se um estudo das condições gerais das superfícies de interceptação de água de chuvas do tipo telhado em todo o Campus de Engenharias e Ciências Agrárias. Com base em análises comparativas entre as condições físico-hídricas das várias superfícies de telhados e os dados já publicados na literatura pertinente, discute-se e estima-se as características do fluxo pluvial nessas superfícies e as implicações destas no Projeto de Aproveitamento de águas de chuva (PAC) bem como no dimensionamento das estruturas hídricas inerentes ao mesmo. As condições dessas superfícies são obtidas a partir de registros fotográficos das mesmas. Com base nestes, faz a caracterização geral de cada superfície de escoamento (físicas, morfometrias, geométricas, hidrológicas e hidráulicas). Estas, por fim, são correlacionadas com os fluxos e suas magnitudes, o qual, por sua vez, determinam o volume de água pluvial armazenada (disponibilidade de água pluvial) e as demandas, numa perspectiva de exequibilidade/viabilidade do PAC.

Palavras-chave: Telhados, fatores de escoamento superficial, subsídios para o PAC (Programa de Aproveitamento de Água de Chuvas).

ABSTRACT

A study is made of the general conditions of the roof-type rainwater interception surfaces throughout the Campus of Engineering and Agricultural Sciences. Based on comparative analyzes between the physical and water conditions of the various roof surfaces and the data already published in the relevant literature, the characteristics of the pluvial flow in these surfaces and the implications of these in the Project for the Utilization of waters are discussed and estimated. rain (PAC) as well as in the design of the water structures inherent to it. The conditions of these surfaces are obtained from their photographic records. Based on these, it makes the general characterization of each flow surface (physical, morphometric, geometric, hydrological and hydraulic). These, finally, are correlated with the flows and their magnitudes, which, in turn, determine the volume of stored rainwater (availability of rainwater) and the demands, in a perspective of feasibility/feasibility of the PAC.

Key words: Roofs, runoff factors, subsidies for the PAC (Rainwater Use Program)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3. MATERIAIS E METODOS.....	44
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5. CONCLUSÃO.....	72
6. RECOMENDAÇÕES.....	73
7. REGISTRO.....	73
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1. INTRODUÇÃO

As coberturas de edificações (CE), primordialmente, sempre foram idealizadas para cumprir a função que seu próprio nome já deixa claro: proteger os humanos e, ou, animais das intempéries locais. Até ainda hoje essa denominação é utilizada, mesmo quando se estuda essa superfície sob uma ótica totalmente diferente e para uma função também muito diferente.

Embora com estudos ainda incipientes (GOMES et al, 2014), as CE, já há décadas, passaram a serem vistas como superfícies de escoamento pluvial (SEP). Além disto, essa nova visão surgiu sob a perspectiva da elaboração de um PAC (Programa de aproveitamento de água de chuvas). Somente a partir disto é que as CE passaram a ser de interesse dos estudos em Hidrologia-Hidráulica, no que se refere às suas caracterizações físicas e as interações destas com os atributos do fluxo pluvial sobre elas. Contudo, as pesquisas acerca dessa variável – escoamento pluvial em SEP – são ainda mais escassas...; são raros os artigos publicados!

Somente a partir da consideração das CE como SEP, pode conceber seu estudo para fins Hidrológicos, mais especificamente, de substituição das águas de utilização tradicional, nas diversas atividades humanas, tanto em relação a estes seres, quanto, também, com relação aos outros animais e vegetais. Sob esse aspecto, as SEP ocorrem em duas categorias gerais: (01) antigas (SEP já instaladas) e (02) novas (SEP a serem instaladas). As primeiras são aquelas instaladas por tempo considerável. Do ponto de vista de suas características físicas e, portanto, dos atributos do fluxo, são muito diferenciadas. Isto, certamente, afeta o PAC, já desde sua concepção.

O caso para o qual desenvolvemos esse estudo – SEP da área edificada do CECA/UFAL – se enquadra na primeira categoria.

A concepção de aproveitamento de água de chuvas para atender às atividades humanas em geral é secular. Até algumas décadas atrás estava restrita às Regiões Secas e ao meio rural. Já desde essa época, contudo, se estendeu para as atividades humanas também em Regiões Sub-úmidas e, mesmo, Úmidas. Isto se deveu ao fato da escassez de água já não mais estar restrita a causas climáticas. Já há anos essa escassez também atingiu as demandas urbanas, fortemente impactadas pelo crescimento populacional, pelas atividades perdulárias dos humanos e da contaminação dos corpos hídricos. A base

causal de todas essas mazelas é a conjunção entre educação-instrução dos humanos em geral. A partir disto a água de chuvas vem sendo cogitadas como substituição a águas comuns e naturais em várias atividades.

Essas demandas mais recentes – de substituição das águas comuns por água de chuvas – requereu maiores conhecimentos do todo no qual se insere esse problema. Até então, os conhecimentos – principalmente em países subdesenvolvidos como o Brasil – permaneceram restritos às estimativas e medições expeditas no enfrentamento dos períodos de seca severa, ou seja, ações emergenciais. Falta uma massa crítica tanto de conhecimentos quanto, a priori, de estudiosos do assunto. Atualmente já existe uma gama considerável de conhecimentos neste assunto, porém restrita aos países desenvolvidos. Mesmo nesses, há lacunas no conhecimento que ainda devem ser preenchidas. Sem considerar, claro, o dinamismo do próprio conhecimento, dado que os objetos de estudo e de aprendizado são sistemas naturais (dinâmicos no TEME¹, variáveis e muito complexos).

Dentre os conhecimentos necessários à elaboração racional de Programas de Aproveitamento de Água de Chuvas (PAC), estão aqueles inerentes às condições da superfície de escoamento. Nesse estudo, essa superfície é a de telhados tradicionais² (constituídos de elementos rígidos, inertes, que não interage com o ambiente, diferentemente do telhado verde). Os atributos dessas superfícies são dos mais importantes na definição do valor do escoamento superficial em telhados (Est)

FREITAS, SILVA E VELOSO (2019) estudaram, comparativamente, o escoamento pluvial em telhas cerâmicas utilizando duas técnicas (SCS-CN e Método Racional). A partir dos resultados por eles obtidos, concluíram que a modelagem do sistema de coleta de água de chuva deve levar em consideração a complexidade do fenômeno de escoamento, com base experimental mais intensificada, optando por métodos que incluam no seu processo de dimensionamento fatores relacionados às principais variáveis envolvidas no processo de escoamento, evitando dimensionamento inadequado e ineficiente de sistemas de coleta de água de chuva. SILVEIRA et al. (2018), concluíram que a intensidade de chuvas pode ser zero em telhas cerâmicas e isto afeta o escoamento superficial, tendo implicações no sistema de aproveitamento de água de chuvas, dado que ocorre perdas por absorção – e posterior evaporação – conduzindo a

¹ Contínuo tempo-espaço-matéria-energia.

² Este tipo de telhado apenas é modificado pela ação do ambiente no TEME. Não interage com os elementos do ambiente.

projetos superdimensionados e com eficiência reduzida. CAVALCANTI (2010) testou diferentes tipos de áreas de captação (interceptação) e, com base em seus dados, chegou às seguintes conclusões: (01) o Est (escoamento em superfície de telhados) para as precipitações diárias apresenta baixa eficiência para as coberturas de argamassa de cimento e areia e de telhas cerâmicas, (02) as coberturas com telhas de fibrocimento e lona plástica de polietileno são mais eficientes o aproveitamento da água de chuvas para as condições do SAB (Semiárido do Brasil) e (03) um aumento na intensidade da chuva reduz as diferenças entre os valores do Est para os diferentes tipos de áreas de interceptação.

O Campus CECA/UFAL vem desenvolvendo estudos para implantação de um PAC. A partir disto, necessita de dados básicos acerca das relações entre as superfícies de escoamento de suas edificações e o fluxo pluvial. Estes estudos são o objeto desta pesquisa, envolvendo as variáveis relacionadas com as superfícies de escoamento e o fluxo pluvial sobre as mesmas.

OBJETIVOS

GERAL – desenvolver a caracterização de superfícies de telhados e condições de escoamento de água pluvial em um estudo de caso, para implantação de um PAC.

ESPECÍFICOS - Características da área; Área edificada do CECA/UFAL; Regime local de chuvas (RLC); Entorno da área do estudo; Variáveis da pesquisa e técnicas de obtenção dos dados; Declinação geométrica (D) das SCE.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A utilização de água de chuvas vem, cada vez mais, ocupando espaço de pesquisas, em todo o mundo científico, como concepção alternativa de grande viabilidade na substituição das águas tradicionalmente utilizadas nas várias atividades humanas. Os programas de aproveitamento de água de chuvas (PAC) já há muito vêm sendo implantados em Regiões Secas de vários países (África e Ásia, principalmente na Índia). Recentemente, o NEB (Nordeste do Brasil) vem implantando esse tipo de Programa. Um PAC, contudo, exige conhecimentos especializados sobre, pelo menos, dois sistemas que lhes são inerentes: (01) o pluvial (sistema natural) e (02) o de interceptação-escoamento-captção de água pluvial (sistema artificial). Ambos sistemas têm atributos inerentes que, continuamente, interagem no sentido de determinar os elementos de um PAC.

2.1 Interceptação de água de chuvas (IAC). Fundamentos.

A priori, devemos reforçar o fato de que a interceptação de água pluvial é desta – água – no estado líquido e na forma de gotas (diâmetros de valores muito variados). A interceptação pode ser, também, de soluções aquosas³, quanti e qualitativamente, de várias constituições. Se constitui num PFH (processo físico-hídrico) dos mais importantes para o abastecimento humano e suas atividades em Regiões Secas.

De acordo com (LYE ,2009), os sistemas de coleta de água podem ser categorizados em dois: (01) aquelas com áreas de captação à superfície e (02) aqueles com áreas acima da superfície. Nessa última categoria enquadram-se os SAP (sistemas de aproveitamento de águas pluviais). Esta interceptação envolve dois constituintes fundamentais: (01) a chuva e (02) a superfície de interceptação. A existência dessa superfície é óbvia, sempre estará presente. Mas a ocorrência de chuva não. A chuva não é um constituinte sempre presente. A ocorrência de chuva é um fenômeno estocástico. Há muitos dias sem chuva, principalmente em Regiões Secas e, ou, Subúmidas. Portanto, a IAC não é um estudo trivial. Ela é dependente do Regime Local de Chuvas (RLC).

Portanto, a chuva, do ponto de vista de um Programa de Aproveitamento de Água de Chuvas (PAC), deve ser considerada como um PFH, o qual é identificado por um

³ Há casos nos quais o entorno da SCE (superfície da cobertura de edificações) – Mares e, ou, Oceanos, por exemplo – que o líquido pluviométrico é uma solução aquosa. Isto afeta todo o escoamento sobre essa SCE.

conjunto de variáveis inerentes ao mesmo em cada condição ambiental (Volume Ambiental de Atividades, VAA⁴).

O escoamento em superfícies de coberturas de edificações (CE), portanto, é função, primordialmente, da ocorrência de chuva. Então, certamente, é, também, indiretamente, um evento estocástico. Esta condição tem significativos efeitos sobre os seus atributos e, por consequência, sobre os volumes de água pluvial interceptado e captado.

2.2 Categorias de cobertura de edificações

Com base em diferenciações em função da natureza do material constituinte da SCE e de arquitetura construtiva, determinando variações da interação e transformação contínuas, ou não, com o entorno.

2.2.1 Inertes

Aquelas que, devido à natureza – físico-química e microbiológica (FQMB) do material constituinte da cobertura – e, por consequência, do telhado – não interage com o ambiente. Apenas permanece exposta aos seus elementos. Portanto, num tempo hábil, não há modificação de sua constituição física. São as CE formadas por telhas, lajes, etc., constituídas de barro, cerâmica, concreto, amianto, fibrocimento, vidro, plástico e outros materiais inertes. Constituem-se nas coberturas tradicionais, muito frequentes. São, até o momento, as mais numerosas, pois são seculares.

2.2.2 Interativas

Ativas, vivas. Ou seja, constituída de material natural, morto⁵ ou vivo⁶. Ao contrário das CE inertes, interagem continuamente com os elementos do ambiente em que se encontram. São as coberturas constituídas de materiais de origem vegetal: (01) palha (sapé, coqueiro), (02) de madeira (tábuas) ou (03) “telhado verde” (espécies vegetais cultivadas).

Portanto, os constituintes dessa classe de cobertura de edificações quase sempre são vegetais: (01) partes, mortas, como palhas, madeira trabalhada (tábuas) ou aglomerados (vegetal triturado e prensado, adensado), e (02) espécies vegetais cultivadas.

⁴ Ambiente, volúmico, onde ocorrem as atividades humanas e das outras vidas no TEME: vegetais e animais em cultivo, além das demandas hídricas ecológicas.

⁵ Madeiras (tábuas, tabletes, troncos, etc.), palhas, aglomerados, etc.

⁶ “Telhados verdes” (cultivos vegetais como CE).

Neste segundo caso, há necessidade de projetar-se e implantar o substrato – um tipo de solo, desestruturado.

2.3 Tipologia de cobertura de edificações

Diferenciações feitas em função da maior ou menor exposição da CE relativamente às correntes de ar e, ou, ventos locais. Figuras 1 e 2. (fonte:google,2021)



Figura 1 – Exposto

Figura 2 – Embutido

2.3.1 Expostas

Tipo de existência imemorial (Figura 1). Telhados abertos, expostos, visíveis de imediato. Construídas e instaladas de forma a permanecerem durante toda o ciclo de vida totalmente expostas às correntes de ar e, ou, ventos locais. Estes chocam-se permanentemente com a superfície da CE, em períodos com o sem chuva, modificando a condição da SCE sob a perspectiva tanto de seu estado físico quanto do fluxo pluvial.

2.3.2 Embutidas⁷

De existência bem mais recentes (Figura 2). A CE é protegida pelo prolongamento vertical das paredes, em torno de seu perímetro, da construção como um todo. O extremo superior desse prolongamento permanece no mesmo plano – ou um pouco acima – do da cumeeira da CE. Ou seja, protege-a quase totalmente das correntes de ar e, ou, ventos, os

⁷ O estilo da cobertura tem seu nome derivado de sua natureza oculta de construção. O telhado escondido ou embutido é um tipo de telhado composto do telhado principal e outro telhado abaixo. O segundo telhado atua como o beiral do telhado com um tom mais baixo do que o telhado principal. O beiral, que é o segundo telhado que só é visível por baixo é o que é chamado o telhado embutido. O telhado principal é o “telhado cosmético”, com o propósito apenas de elemento decorativo. O telhado embutido pode também ser escondido por muretas ou outros elementos arquitetônicos. Toda a estrutura do telhado fica então “embutida”, sem estar à mostra ou com beirais externos. Calhas e outros elementos ficam todos na parte de dentro do telhado. (Disponível em: <https://www.2quartos.com/telhado-embutido-conheca/> Acesso em: 13.11.21).

quais não conseguem atingi-la. Isto contribui para manter as deposições sobre a superfície, afetando ainda mais o escoamento pluvial.

O “embutimento” da CE impõe diferentes efeitos sobre os atributos da SCE, relativamente ao tipo clássico. Também diferencia os efeitos sobre os atributos hidráulico-hidrológicos do escoamento pluvial.

2.4 Condição de umidade das superfícies de CE

Dado que as chuvas, bem como o grau de umidade da atmosfera adjacente, são eventos estocásticos, isto é, de ocorrência imprevisível no tempo e, ou, espaço, os graus de umidade dessas superfícies variam muito. À esta imprevisibilidade, alia-se a variabilidade da magnitude das alturas de chuva no local. Isto é ainda mais significativo em Regiões Secas e, ou, Subúmidas, onde as chuvas são de distribuição muito mais irregulares – tanto no tempo quanto no espaço – e o potencial evaporativo do ar é alto. Portanto, as superfícies de edificações estão submetidas a ciclos frequentes de umedecimento-secamento. Este se constitui em outro fator do escoamento superficial nessas superfícies, principalmente nas inertes.

Outro aspecto desta mesma questão, reside no tipo físico-hídrico da superfície. As CE, em geral, podem ser categorizadas em (01) superfícies absorventes e (02) adsorventes. Essas categorias afetam diferentemente o grau de umidade. Há necessidade de se estudar a interação entre os atributos de ambas as condições superficiais sobre o grau de umidade e os outros processos físico-hídricos em CE.

Fatores do escoamento superficial em SCE

A superfície de coberturas de edificações, do ponto de vista do escoamento pluvial – aspectos hidrológicos e hidráulicos – é diferenciada. Ela permanece, durante toda sua vida útil, exposta às intempéries locais. Além disto, há uma grande diversidade em sua morfometria areal, geometria superficial, natureza do material constituinte, inclinação, deposição de material, etc.

Portanto, há uma grande quantidade de fatores que fazem variar os processos de interceptação e de escoamento pluvial sobre essas superfícies. Com isto, há uma grande imprevisibilidade nos processos de captação e de armazenamento de águas pluviais. Isto, por fim, complexa a concepção, elaboração e execução do PAC (programa de aproveitamento de água de chuvas) para o local.

Esses fatores podem ser enquadrados nos seguintes conjuntos categóricos: (01) RLC, (02) natureza do material de constituição/fabricação da SCE, (03) morfometria areal e geometria superficial, (04) inclinação e (05) resistência ao fluxo (magnitude das asperezas (rugosidade superficial), grau de incrustação, grau de deposição de material, etc.).

2.5 RLC (regime local de chuvas)

O RLC de uma localidade, Municipalidade ou Região, se constitui no conjunto de comportamento das variáveis de chuvas em cada um desses âmbitos espaciais, a partir de SHD (séries históricas de dados). Todos os projetos hídricos e todos os dimensionamentos de estruturas hídricas (EH) dentro de cada projeto, prescindem dos dados do RLC. É com base nesses dados que se obtém o VRC (valor representativo consistente) – ou seja, o valor médio – de cada variável nas condições do projeto.

I. Padrão de ocorrência de chuvas diárias

A demanda e – por consequência – o consumo de água pelas vidas e pelas atividades humanas é, sempre, diário. Isto é uma essência das relações entre as vidas e as águas no TEME⁸. Então, a disponibilidade dessas águas também tem que ser definida, em base temporal diária. Em decorrência disto, todos os estudos pluviométricos e os parâmetros deles decorrentes, devem, também, obedecer essa mesma base temporal. Há que se manter uma coerência, do ponto de vista hidrológico, entre demandas-disponibilidades-consumo (DDC).

Portanto, há necessidade, para se ter um PAC consistente, a definição do RLC em base diária, especificando, em base diária, dias com e sem chuvas, mínimos, médios e máximos diários, verânicos e invernicos, etc.

II. Variáveis pluviárias diárias do local (das condições onde o PAC será implantado).

Essas condições perfazem os conjuntos relacionados tanto ao ambiente físico quanto os de atividades – pessoais/particulares e laborais – desenvolvidas pelos humanos.

i. Altura (lâmina de água) diária

1. Mínima
2. Média
3. Máxima

⁸ Contínuo tempo-espaço-matéria-energia.

- ii. Intensidade
- iii. Duração
- iv. Frequência
- v. Variabilidade
- vi. Distribuição
- vii. Tempo de retorno
- viii. Natureza FQMB (físico-química e microbiológica) da água das chuvas.
- ix. Número de dias consecutivos sem chuva. Veranicos.
- x. Número de dias consecutivos com chuva. Invernicos.

2.6 Natureza do material de constituição, processo de fabricação e nível da MDO⁹.

Tanto a natureza FQMB do material de constituição da cobertura quanto o processo de fabricação (telha) ou de implantação (laje), interagem, tanto isoladamente quanto em conjunto, para determinar a condição física da superfície de escoamento, do ponto de vista da hidrologia-hidráulica do fluxo sobre a mesma. A conjugação entre esses dois elementos, determinam a ocorrência de (01) rugosidade, (02) saliências e (03) depressões. Enfatize-se que, independentemente de ser telha ou laje, estas se distribuem por toda a superfície da CE. Alie-se àquela conjugação o nível da MDO utilizada na fabricação, assim como – também muito importante – a gestão empresarial, no que se refere às demandas trabalhistas.

2.6.1 Asperezas e rugosidade superficial

Micro saliências ao longo da superfície de algumas telhas – caracteristicamente aquelas de cerâmica, de barro, amianto, etc. – e, por consequência do telhado, que impõe resistência contínua ao escoamento. Provoca, portanto, uma perda de energia cinética, de velocidade, do fluxo, aumentando o tempo de percurso até a calha coletora. Como a vazão depende desse tempo de percurso, ou seja, da velocidade do fluxo, ela diminui em função do maior ou menor grau de rugosidade da superfície.

A rugosidade de superfície de telhas e de telhados é um efeito, normal, do processo¹⁰ de fabricação da telha. É uma limitação desse processo e da natureza do material original utilizado, que é material particulado (barro, cimento, serralha, etc.). Há

⁹ Mão-de-obra.

¹⁰ Processo que envolve a conjugação entre a qualidade do material utilizado, a qualidade do conjunto MEA (materiais-equipamentos-acessórios) e a qualidade do vínculo empregatício (gestão empresarial).

telhas, inclusive, que são porosas, há um espaço poroso em sua superfície superior. A partir disto, há absorção de uma pequena parcela da água escoada, tanto maior quanto mais seca estiver a telha¹¹. Esta, em função da área do telhado, se constitui em considerável volume retido – e, em pouco tempo, evaporado – de água de chuva. Este é subtraído do volume captado, em relação ao interceptado.

Deve ser salientado que algumas telhas de cerâmica, aquelas de fabricação mais rústica, tem superfícies com rugosidades muito diferentes. Há duas superfícies: (01) a inferior e (02) a superior. A inferior, a qual, após instalação formando o telhado, permanece na parte inferior da SCE, tem rugosidade (asperezas superficiais) muito maior. Essa parte é aquela onde se verifica o escoamento propriamente dito – ou escoamento principal – nesse tipo de telhado¹².

2.6.2 Saliências

São elevações na superfície, geralmente de telhas e lajes de cimento-concreto. Nas telhas são originadas do processo de fabricação, principalmente de telhas de olarias antigas, com baixa tecnologia. Já as elevações de lajes são oriundas de má confecção da argamassa e do espalhamento deficiente dessa sobre a coberturas. Em ambas as condições, estabelecem uma maior rugosidade da superfície e impõem maior resistência ao escoamento, tornando o fluxo mais turbulento, com maior energia cinética, maior tempo de percurso e menor volume captado. Enfim, menor vazão pluvial.

2.6.3 Depressões

São aberturas – buracos ou rachaduras – a partir da superfície para o interior da telha ou da laje. Surgem também devido ao processo de fabricação e de implantação da argamassa, respectivamente. Nesse caso, processos ainda mais grosseiros. As rachaduras podem surgir ao longo do tempo tanto por deficiência na confecção do material de cobertura quanto por fatores externos (choques). As depressões além de provocarem obstáculo ao escoamento – não apenas resistência, como na rugosidade – também promovem acúmulo de água na superfície (depressões propriamente) e no

¹¹ Numa Região Seca (elevados índices de insolação, calor, temperatura, evaporação e baixos índices de chuva), as superfícies de telhas-telhados permanecem a maior parte do tempo secas. O albedo dessas superfícies tem valor muito alto. Com isto, uma chuva de baixa altura pode não gerar escoamento e, portanto, captação. Com o agravante de que, nessas Regiões, pobres, os telhados são, quase sempre, de telhas cerâmicas, de fabricação manual, com elevada porosidade. Às vezes, até, com alto grau de saliências.

¹² Tipos de escoamento de água pluvial em telhados (SCE formada por telhas): (01) Superior e (02) Inferior. Em função da forma geométrica da seção transversal da telha.

interior (frestas, rachaduras), aumentando as perdas por evaporação e reduzindo, também, o VECA (volumes escoado, captado e armazenado).

2.7 Morfometria areal e geometria superficial

A morfometria areal é a da SCE, ou seja, em função da variação da forma geométrica da SCE. A geometria superficial é a da telha, a qual corresponde àquela da seção transversal de escoamento (STE) – ou de fluxo (STF) – desta e, por extensão, à de toda SCE. Portanto, os efeitos sobre a hidro-hidráulica do fluxo pluvial são tanto de intensidade quanto de escala areal.

2.7.1 Morfometria areal

Os constituintes – componentes unitários – característicos de telhados – as telhas – geralmente, têm regularidade na morfometria areal de suas superfícies, variando, na sua quase totalidade, entre quadrados, quadrângulos e retângulos. Geralmente seguem a arquitetura dos cômodos do edifício e arquitetura geral. A morfometria dos telhados parece, quase invariavelmente, seguir a das telhas.

2.7.2 Geometria superficial

Quase sempre a superfície de telhas não é uniforme. A dos telhados, então, assumem a geometria das superfícies destas. Ou seja, se a telha é de geometria curva, como a maioria das telhas cerâmicas, a superfície do telhado, obrigatoriamente, tem sua geometria como resultado da propagação areal da geometria da telha. Portanto, todos os atributos superficiais da telha são “exponencializados” na área da superfície do telhado, cujos atributos – e efeitos – serão tanto maiores quanto maior for essa área.

Há uma grande diversidade de geometria de superfície de telhas. Esta vai desde superfícies retas e uniformes a superfícies curvas e irregulares. Passando, inclusive, por superfícies de geometria diversa (uma conjugação de diferentes curvimetria ao longo de uma mesma STF).

Evidentemente, os efeitos sobre a turbulência do fluxo e, certamente, sobre a hidrologia e hidráulica do escoamento, são óbvias. Por consequência, afeta, também, o volume de escoamento e o de captação. Por outro lado, há uma grande complexidade no estudo quantitativo desses efeitos.

2.8 Inclinação da SCE (I)

Corresponde à obliquidade da superfície de escoamento de águas fluviais, em relação a um plano horizontal de referência arbitrário. Nos referimos, por racionalidade, à inclinação da SCE¹³, no caso de ser constituída de telhas (telhados, superfícies fracionadas, heterogênea), ou de laje (superfície única, homogênea, uniforme). A magnitude desse fator causa, diretamente, variação na velocidade do fluxo ao longo da superfície de escoamento. Portanto, também é fator de causação direta da variação dos valores dos volumes escoado, captado e armazenado.

A magnitude da velocidade do escoamento, devido a produzir maior turbulência e, por conseguinte, maior perda de energia por fricção, também reduz o volume transportado por unidade de espaço percorrido. Isto é agravado pela magnitude das asperezas da superfície da SCE e da maior ou menor ocorrência de obstáculos (incrustações, deposições, desuniformidade, etc.) ao fluxo.

A inclinação do telhado depende do tipo de telha escolhida, existem modelos que suportam maiores inclinações e outras que já não suportam por isso há uma norma regulamentadora imposta para cada tipo de telha. A NBR responsável por coberturas é a 5720 nb 344.

As telhas mais usadas em um canteiro de obras é a telha cerâmica que é regulamentada pela NBR 8039, ela suporta até uma inclinação de 36%. Valores maiores que esse pode acarretar problemas, como por exemplo, goteiras.

A Tabela 2 contém valores indicativos/recomendados de valores de I em função de alguns tipos de telha-telhado.

2.9 Incrustação (Δe)

Se constitui numa camada (Δe) de material estranho e alheio àquele de constituição da superfície de escoamento. Surge após um longo tempo de utilização do conjunto telha-telhado e, principalmente, devido à manutenção precária. A constituição, geralmente, é uma junção entre materiais originários de reações entre aquele/s de constituição da superfície e elementos (dejetos de pássaros, poeira, partes vegetais, etc.) e os fatores ambientais (atributos do RLC). Por isto, ela permanece incrustada sobre toda a superfície ou grande extensão desta, de uma maneira uniforme. Então é uma camada agregada à superfície e acima desta. Por sua natureza – quase sempre de alta rugosidade

¹³ Não há sentido nenhum referir-se à inclinação de telha, dado que esta (a telha) é apenas elemento físico básico constituinte da superfície de escoamento de águas pluviais e aquela (a inclinação) é imposta pela posição dessa superfície em relação à horizontal, efetivada pelo construtor/projetista da CE.

– também aumenta a turbulência do fluxo, a perda de energia deste – por redução de sua velocidade ao longo do percurso – e o VECA.

2.10 Grau de deposição de materiais. Obstruções/obstáculos.

As obstruções, seja qual for a natureza, é causa de variação da turbulência do fluxo e, por consequência, de resistência – perda de energia do – ao escoamento. Isto é fator de redução do volume escoado e, mais ainda, do captado pela calha coletora.

2.11 Material particulado (poeira, sal, etc.)

As partículas sólidas iniciam sua deposição já a partir da instalação da CE. É um fator permanente, independentemente da localização. Em Regiões com entornos sem vegetação e, mais ainda, com superfície com areias, a deposição é ainda mais acentuada. As correntes de ar agravam ainda mais.

2.12 Fezes de pássaros

Esse fator só não é efetivo nos locais nos quais não há pássaros...! Mesmo em Regiões com baixa população ornitológica¹⁴, em virtude da oportunidade para que esse fator se verifique – as CE são permanentes – em cada condição, esse fator é bastante significativo. As fezes de pássaros, após atingirem a superfície da CE, sofrem espalhamento¹⁵, reagem com o material da CE e aderem fortemente, além de imporem saliências. Essas são tão numerosas e elevadas, quanto forem a descarga sanitária das aves. Todos esses elementos desse fator contribuem para estabelecer resistência ao escoamento. Considere-se, também, o fator escala, relativamente à área da CE. Esses outros elementos são agravantes.

2.13 Partes vegetais (folhas, galhos, ramos, etc.)

Este é um dos fatores de grande ocorrência em superfícies de CE, principalmente quando essas superfícies se encontra próximas a árvores e áreas com frequentes correntes de ar. Para que se possa inferir, quantitativamente, os efeitos desse fator, há necessidade, portanto, de se monitorar esses elementos do entorno da CE.

¹⁴ De Ornitologia. Ramo da Zoologia que se dedica ao estudo das aves a partir a partir da sua distribuição na superfície da Terra, das condições e peculiaridades de seu meio, costumes e modo de vida, de sua organização e dos caracteres que as distinguem umas das outras, para classifica-las em espécies, gêneros e famílias.

¹⁵ Em grande parte dos casos, as fezes são depositadas a partir de uma certa altura acima da superfície da CE, quando o pássaro a sobrevoa. Então se constitui numa queda, de diferentes alturas. Isto impõe um impacto sobre a CE promovendo espalhamentos dos dejetos.

Essencialmente difere dos outros fatores de mesma natureza pela variação no tipo, tamanho e forma dos depósitos. Vão desde grãos de pólen até grandes ramos de árvores. Os efeitos desses, portanto, podem ser desde simples resistência ao escoamento até destruição da própria estrutura da CE, dado que, como as fezes de pássaros, também são originados a partir de quedas; então, impondo impacto sobre a superfície da CE.

Além da resistência ao escoamento, em várias magnitudes, as partes de vegetais, dado que são materiais porosos e vivos, adsorvem e absorvem água. Portanto, impõem, também, um efeito de redução do volume escoado ao longo da superfície da CE (SCE). A magnitude é função da quantidade e natureza do depósito e sua extensão na SCE. Há uma variabilidade muito grande nesses valores, dado o dinamismo dos elementos que interveem. Há necessidade de monitoramento desses elementos e da variável em cada condição de escoamento em SCE.

2.14 Umidade antecedente

Este é um fator imposto pela interação entre o grau de intermitência das chuvas e a natureza da SCE. Vários tipos de telhas, por suas naturezas, possuem SCE que retêm água. A retenção se verifica tanto por absorção quanto por adesão superficial. Afeta, diretamente, o volume de escoamento. A magnitude vai desde a junção da condição de uma SCE seca e mínimas alturas de água de chuva até a de uma SCE saturada e máximas alturas de água de chuvas. Portanto, há uma variabilidade muito grande do valor do volume escoado.

Este fator é ainda mais importante em Regiões Secas. Nestas a junção entre os atributos das chuvas, os das SCE e o albedo dessas SCE, conduzem a uma variabilidade imensa dos valores do escoamento e de seu coeficiente. Saliente-se que nessas Regiões, caracteristicamente de elevadas demandas evaporimétricas, as SCE permanecem por muito mais tempo secas e quentes, além das chuvas serem escassas e de baixas alturas e intensidades. Contrariamente, é nessas Regiões para as quais os PAC são ainda mais importantes para as vidas e nas atividades das populações.

2.15 Adesão-Absorção de água

Adesão é uma propriedade da interface líquido-sólido. O líquido apenas impregna a superfície sólida, sem que haja infiltração. A absorção é uma também uma propriedade da interação líquido-sólido, porém vai além da superfície... atinge a subsuperfície. Ocorre infiltração do líquido. A depender da natureza FQMB do meio sólido, o qual, no caso, é

um meio poroso (MP), a infiltração atinge várias profundidades. As telhas de barro e as cerâmicas sem revestimento, são meios porosos.

Tabela – 2 – Alguns atributos de diferentes tipos/materiais de telhas comuns no comércio brasileiro (fonte:google,2021) (Adaptado pelo autor).

Tipo/Material da telha	Declinação mínima		Absorção de água (?)
	Decimal	%	
Francesa	0,36	36	55
Colonial/Paulista	0,30	30	85
Romana	0,30	30	60
Portuguesa	0,17	17	60
Fibrocimento	0,10	10	18
Metálica	0,15	15	12

Coberturas de edificações (CE). Caracterização geral dos principais tipos.

2.16 Telha-telhado

Não se instala uma CE com uma telha, por mais extensa que ela seja. Também não se constitui um telhado com uma telha. Enfim, uma CE de telhas é feita com muitas telhas, variando esse número em função da área da superfície do telhado. Por outro lado, tanto a própria existência do telhado quanto seus atributos decorrem, diretamente, das telhas. Enfim, há que se considerar, sempre, a dualidade – como uma moeda – telha-telhado.

2.16.1 Tipos de telha-telhado

As telhas variam de forma geométrica, material de construção, tamanho e área, seção transversal, rugosidade superficial e, mais recentemente, de cor. Há séculos que se constituem em elementos de composição de telhados nos vários Continentes. Os telhados, claro, adquirem, por serem constituídos de telhas, esses mesmos atributos. Os telhados são, portanto, de superfícies onduladas, irregulares e inclinadas. Isto conduz a grande complexidade nos estudos de hidrologia-hidráulica do escoamento e do fluxo sobre suas superfícies.

2.16.2 Material uniforme

Aqueles, muito mais frequentes, constituídos de, apenas, um tipo de material por toda sua superfície. O fluxo, portanto, mantém as mesmas características em qualquer ponto da superfície.

2.16.3 Material diverso

Não raro, há superfície de telhados compostas por dois ou mais diferentes tipos de materiais. Há, então, conjunções entre telhas cerâmica-vidro, cerâmica-plástico, concreto-vidro, etc. Isto, claro, estabelece diferentes condições de fluxo ao longo da superfície. Certamente, as importâncias do estudo dessas diferenciações no fluxo somente se justificam a partir de uma relação relativa areal entre os dois ou mais tipos de material na mesma superfície.

2.16.4 Laje

Denominação dada às CE projetadas e implantadas utilizando três componentes básicos: (01) lajotas, (02) nervuras e (03) argamassa de cimento, areia e brita. Diferentemente dos telhados, as CE são de superfícies planas, inclinadas, uniformes e, na maioria dos casos, muito rugosas, às vezes, até, esburacadas (muito esburacadas; quando mal executadas). Só são importantes para os estudos de escoamento pluvial quando nuas, não cobertas com telhas. Isto, contudo, não é frequente.

2.16.5 Madeira trabalhada

São aquelas CE constituídas por partes trabalhadas de madeira: tábuas, tabletes, troncos, etc. Em anos recentes, surgiram as CE de aglomerados (serragem prensadas, adensadas, compactadas). São muito frequentes em Regiões Frias (Temperadas e Polares). Atuam como isolantes térmicos contra o frio intenso, característicos e frequentes nessas Regiões. Quase não existem em Regiões Secas e, ou, Subúmidas. As madeiras, assim como as telhas de cerâmica, se constituem em elementos muito antigos de composição dos telhados.

2.16.6 Palha e aglomerado

Também um elemento de constituição de telhado de utilização secular, principalmente em lugares remotos, com populações sem recursos. As mais conhecidas e utilizadas se constituem em partes da planta da Palmeira (folhas de coqueiro, p. ex.) e do Sapé (uma gramínea de terrenos alagados).

As de palha, são CE construídas manualmente, pela sobreposição de camadas de palhas. Há um espaço poroso muito acentuado. Mas, então, como evitar a infiltração e as goteiras no interior do cômodo? Inicialmente, claro, pela sobreposição cuidadosa (criteriosa) das camadas de palhas e, principalmente, pelos elevados valores de inclinação. Esta age de maneira a mesma que ocorre, infiltração, o gradiente de declive acentuada impulsiona a água para a extremidade superior da CE, antes que ela alcance o interior desta, provocando goteiras.

Quando de aglomerados, a porosidade é minimizada. Embora haja umedecimento da superfície, este é muito superficial e não atinge maiores profundidades. Além disto, a evaporação, principalmente em Regiões Secas, elimina grande parte dessa umidade. Os valores da inclinação, embora menores que os da CE de palhas, também são altos, minimizando o acúmulo de água.

Se encontram em processo de extinção, principalmente as CE de palha. Vêm sendo substituídas pelas telhas e lajes.

2.16.7 Cultivo (Vegetal). “Telhado verde”.

Os estudos acerca dos “Telhados verdes” como SCE, sob a perspectiva de elaboração de um PAC, serão efetuados em outra oportunidade, dado que não é objetivo desta pesquisa. Há, por outro lado, uma farta quantidade de artigos publicados sobre esse assunto.

Telhas

2.17 Tipologia geral

Os tipos de telhas são definidos principalmente pelo material constituinte e pelo processo de fabricação/confecção. Outros fatores são a qualidade do conjunto MEA¹⁶ e da MDO. Os principais atributos dos principais tipos de telhas estão no Quadro 1. A variação desses atributos, tanto de um para outro tipo – como, p. ex., área, forma geométrica e rugosidade superficiais – quanto no âmbito de um mesmo tipo – forma geométrica da seção transversal de escoamento – determinam variações nos volumes de escoamento, de captação e, por consequência, do volume armazenado.

2.17.1 Telhas de BCR (Barro-cerâmica)

¹⁶ Conjunto de materiais-equipamentos-acessórios, especializado no processo de confecção de cada tipo de telha.

Tipo de telha de maior utilização em quase todas as condições de edificações em todo o país. Em função dos atributos dos processos de fabricação dessas telhas, há uma enorme variação em suas características, afetando sua utilização e o fluxo pluvial. LUIZ et al. (2019) contém uma maior significação sobre esse tipo de telha. Há necessidade de maior fiscalização das empresas de fabricação dessas telhas (BESERRA et al., 2017), pois várias não atendem às especificações técnicas necessárias (LIMA et al., 2018).

2.17.2 Telhas de AFC (Amianto-Fibrocimento)

Essas telhas têm uma imensa utilização no mercado nacional. Segundo Eternit (2012), citado por LUIZ et al. (2019), é um produto que a população de baixa renda tem imenso acesso, após a lona preta. Em virtude de comprovação de prejuízos à saúde, sua utilização está proibida no Brasil desde 1995. Além de inúmeros problemas relacionadas à saúde, as telhas de fibrocimento sofrem deterioração ao longo da vida útil, como carbonatação, eflorescência e desenvolvimento de fungos devido à exposição às intempéries e as manutenções na estrutura (LUIZ et al., 2019).

2.18 Forma geométrica

Quase sempre são quadrangulares e retangulares, estas com uma predominância muito maior que aquelas. Quase sempre, também, determina a forma geométrica dos telhados e, daí a forma geométrica da superfície de interceptação de água (gotas) de chuva e, também, de escoamento pluvial (fluxo na forma de uma massa de inúmeros filetes líquidos).

2.18.1 Dimensões geométricas

Não há grandes variações dessas dimensões. O que ocorre é uma grande diferença nessas dimensões entre alguns tipos de materiais de telhas (barro, cerâmica, plástico e vidro) em relação a outros tipos (amianto, plástico, zinco).

2.18.2 Geometria da seção transversal de fluxo (STF)

Em geral, no todo do tema, há morfometrias formadas por curvas e por retas, independentemente do tipo de material ou do tamanho da Te-Te.

2.18.3 Telhas de superfícies mais densas

São as telhas cujos materiais são metais, plástico, amianto e, ou, vidros. Há três particularidades importantes: (01) a área, (02) a geometria da STF tanto do elemento de telhado (telha) quanto deste próprio e (03) o grau de asperezas.

2.19 Rugosidade

Parâmetro que mede a magnitude das asperezas superficiais das telhas (ϵ). Estas variam de mínimas a máximas. As primeiras caracterizam as telhas lisas, polidas, e as segundas as telhas ásperas, rugosas. As telhas lisas estabelecem turbulência mínima e regime de fluxo fluvial calmo, com baixas perda de energia ao longo do percurso. As rugosas, ao contrário, causam turbulência ao fluxo e impõe perda de energia.

2.20 Superfícies de telhas de barro

2.20.1 Tipos

Muito importantes, do ponto de vista hidrológico-hidráulico, por imporem duas diferentes superfícies de escoamento: (01) superior, e (02) inferior. Alternadamente, quando instaladas – formando o telhado – ambas essas partes interceptam as gotas de chuva, dado que, na formação do telhado, as telhas são montadas através de encaixes sucessivos côncavo-convexo. Portanto, o telhado formado por esse tipo de telha estabelece dois planos de interceptação de água de chuvas. Um superior, formado pelas sucessivas superfícies convexas das sucessivas telhas de cada conjunto-de-encaixe e, outro, inferior, formado pelas sucessivas superfícies côncavas das sucessivas telhas de cada um dos mesmos conjuntos-de-encaixes.

Quadro 1 – Atributos característicos dos principais tipos de telhas-telhados e de SCE (superfícies de coberturas de edificações). (fonte:google,2021)

Tipo	Elementos	Constituintes	Processo de fabricação/instalação	FGS ¹⁷ Predominante	Dimensões	Geometria da STE ¹⁸	Superfícies	Rugosidade ¹⁹
CTT (CONJUNÇÃO TELHA-TELHADO)								
Barro		Areia, argila e água	Cozimento ²⁰ artesanal	Retangular	Variadas	Semicircular	Superior	Baixa
							Inferior	Alta
Cerâmica	Trabalhada	Argila, impermeabilizante e água	Industrial	Retangular	Variadas	Diversa	Superior	Baixa
							Inferior	Baixa
Amianto	Industrial		Industrial	Retangular	Variadas	Ondulada	Única	Média

¹⁷ Forma geométrica superficial.

¹⁸ Seção transversal de escoamento.

¹⁹ Original. Ou seja, aquela com causa apenas na magnitude das asperezas da superfície do elemento de telhado (telha). Estas, por outro lado, são função do material utilizado, do MEA empregado no processo de fabricação e da qualidade da MDO.

²⁰ Forno de tijolos e fogo à lenha.

Vidro	Industrial		Industrial	Retangular e quadrangular	Variadas	Diversa	Única	Nula ²¹
Plástico	Industrial		Industrial	Retangular	Variadas	Ondulada	Única	Nula
Zinco	Industrial		Industrial	Retangular	Variadas	Ondulada	Única	Nula
Fibrocimento	Industrial		Industrial	Retangular	Variadas	Ondulada	Única	Nula
Polietileno	Industrial		Industrial	Retangular	Variadas	Ondulada	Única	Nula
Ecológica	Industrial	Variado	Industrial	Retangular	Variadas	Onduladas	Única	Média
COBERTURA								
Tipo	Elementos	Constituintes	Processo de fabricação/instalação	FGS ²² Predominante	Dimensões	Geometria da STE ²³	Superfícies	Rugosidade
Laje	Lajotas e nervuras	Cimento, areia, argila e água	Industrializado	Retangular	Variadas	Plano uniforme e inclinado	Única	Média

²¹ Se ocorrerem asperezas, essas não são de magnitudes suficientes para conferirem significância científica às rugosidades e, por conseguinte, à turbulência no fluxo pluvial, perda de energia, etc.

²² Forma geométrica superficial.

²³ Seção transversal de escoamento.

Cimento		ACA ²⁴	Industrial	Retangular	Variada	Variada	Única	Média
Palha	Folhas de vegetais	Partes vegetais	Manual artesanal	Retangular	25	Amorfa e irregular	Única	Extrema ²⁶
Madeira	Tábuas	Madeira	Industrial	Retangular	Variada	Retangulares alongadas	Única	Média
	Tabletes	Madeira	Industrial	Retangular	Variada	Quadrangulares	Única	Média
	Troncos	Madeira	Industrial	Retangular	Variada	Cilíndricos	Única	Extrema
Aglomerado	Restos vegetais	Serralha (Partículas vegetais trituradas)	Industrial	Retangular	Variada	Diversa (material particulado)	Única	Extrema

²⁴ Argamassa de cimento-areia-água.

²⁵ Em função da espécie vegetal (Palmeira) utilizada.

²⁶ Na verdade, nem mesmo se pode incluir esse tipo de SCE na categoria de rugosidade. Em função da diversidade morfométrica do elemento de formação dessa SCE, ocorre a formação de orifícios descontínuos sobre toda a superfície. Sendo essa descontinuidade volúmica, promove um entrelaçamento dessas inúmeros elementos, impedindo a formação de goteiras no interior do cômodo. Contudo, a superfície, em regiões de elevados índices pluviométricos, permanece úmida por muito tempo. Porquanto, esse tipo de superfície ser típico de regiões secas.

Os telhados formados por esse tipo de telhas, principalmente as de barro, impõem um sistema de escoamento-fluxo superficial bastante peculiar e complexo. Há duas condições extremas que podem ser facilmente imaginadas: (01) condição de superfície seca e baixa altura-intensidade de chuva e (02) condição de superfície saturada e elevada altura-intensidade de chuva. Entre esses extremos, ocorrem uma infinidade de condições de escoamento-fluxo nesses telhados. Todas essas condições – seus atributos inerentes – afetam o volume escoado e o captado.

Chamemos a atenção para o fato de que os outros tipos de conjuntos telhas-telhado definem outros tipos de sistemas de escoamento-fluxo. Da mesma forma que os outros tipos de SCE. Esse elevado grau de complexidade dos característicos do fluxo em telhados, impõe a necessidade de elaboração de MMS (modelos-modelagem-simulação) para os casos de interesse.

2.20.2 Superior

Convexa, abaulada, que apresenta aclave na superfície, isto é, parte elevada ao centro. Esta superfície é bem menos rugosa que a inferior, chegando a ser polida em algumas fabricações. Em conjunção, formam um plano superior de interceptação de água de chuvas. Devido serem proeminentes, os choques das gotas de água pluvial impõem respingos para todos os lados, mesmo quando na condição de superfície seca, determinando novas quedas e afetando o escoamento-fluxo.

2.20.3 Inferior

Côncava, enfunada, que apresenta declive na superfície, isto é, parte funda no centro. Essa parte do telhado – na verdade, um conjunto de várias superfícies côncavas formadas pelos sucessivos encaixas das telhas (de barro) – forma o plano inferior de interceptação de água de chuvas. Essa superfície é, nesse tipo de telhado, aquela, propriamente, de fluxo pluvial. Ou seja, há, sim, a formação e continuidade – enquanto houver ocorrência da chuva – de uma massa líquida em escoamento-fluxo no sentido da extremidade inferior (menor altura) do telhado, onde será coletado pelas calhas coletoras, em forma de um conjunto de sucessivos jatos de água ao longo dessa calha. Esse conjunto perfaz o volume escoado.

Contudo, a questão é a maior rugosidade dessa superfície côncava das telhas de barro. As asperezas são expressivas e contínuas ao longo dessa superfície. Isto determina grande turbulência e impõe forte resistência ao fluxo pluvial. A partir disto há redução da

velocidade do líquido ao dessa superfície e, por fim, redução do volume escoado e da vazão pluvial.

Em muitos casos – facilmente observáveis nas edificações residenciais nas regiões mais carentes e, principalmente, no meio rural – há um aumento da inclinação desse tipo de telha-telhado. Isto contribui para compensar a redução de vazão. Outro efeito – devido a elevar a velocidade da água sobre essas superfícies – combate a deposição de material e a incrustação, elevando a vida útil do telhado.

2.21 Área

Do ponto de vista do PAC, a área da SCE – da telha ou do telhado – é definida pela projeção horizontal em planta. Corresponde à área de interceptação das gotas de água de chuvas²⁷. Não varia com a inclinação da superfície do telhado. Difere daquela área utilizada para o cálculo do número de telhas para formar o telhado; esta, sim, cresce com a inclinação da superfície do telhado.

2.22 Superfície de telha cerâmica e processos físico-hídricos (PFH) em superfícies de telhados.

Os PFH são bastante diferentes em cada uma das diferentes superfícies desse tipo de telha: (01) na superfície abaulada – convexa – o PFH é de interceptação das gotas de chuva, de respingos e de deslizamento da água para a parte descoberta da superfície côncava, contribuindo com o escoamento nesta – o qual é o escoamento pluvial em CE propriamente dito, considerado nos projetos do PAC. Verifica-se que na superfície abaulada da telha ocorrem, na verdade, três PFH; (02) o escoamento no parte inferior da telha, a qual, quando instalada formando o telhado, permanece voltada para cima, ou seja, também fazendo interceptação de gotas de água de chuvas, ocorrendo respingos – embora bem menos intensamente – e na qual ocorre o escoamento pluvial em telhados considerado nos PAC. Este escoamento se verifica no mesmo sentido da inclinação do telhado, conduzindo a água pluvial até a calha coletora.

2.23 Geometria superficial

Se traduz na geometria da seção transversal da telha (STT), que é a mesma da seção transversal de escoamento. Há várias geometrias da STT, afetando a hidrologia-hidráulica do escoamento pluvial. Portanto, esse outro elemento de complexidade do

²⁷ A partir da assunção – bastante racional e consistente – de que as gotas de água de chuva precipitam sobre a SCE seguindo linhas verticais de fluxo..., não ortogonal à superfície do telhado.

fluxo pluvial em SCE, alia-se aos outros para complexar ainda mais o processo hidro-hidráulico desse fluxo.

2.24 Telhados

2.24.1 Altura

Situam-se, certamente, para que se constituam em CE, sempre acima da superfície do terreno. Evidentemente que, sem essa altura nem mesmo existiria a ciência do aproveitamento de água de chuvas. Apenas intentamos enfatizar a relação da posição em que se situa a SCE com os atributos ambientais do local

Há padrões de variação dessa altura, a qual varia em função do tipo de edificação: (01) residências tradicionais (casas), (02) prédios (residenciais, comerciais e industriais), (03) galpões, (04) coberturas para animais em produção e, ou, atividade. As alturas menores correspondem ao padrão de casas residenciais – de 3 a 5 m, em média – e as maiores ao padrão de prédios – 9 a 15 m, em média.

2.24.2 Inclinação (I)

Os valores de inclinação de um telhado variam principalmente em função dos seguintes fatores: (01) material de constituição da telha, (02) área da superfície da telha, (03) capacidade de absorção e (04) extensão do vão (rampa de escoamento). A Tabela 3 traz alguns valores indicativos. A inclinação ideal de um telhado garante uma maior vida útil do mesmo, na medida em que minimiza o grau de deposição de materiais e, por consequência, a proliferação de incrustação. Também evita acúmulo de água e goteiras. A inclinação do telhado é uma das pré-condições naturais, juntamente com a altura média de água de chuva, da prática de coleta de água de chuvas (VOHLAND e BARRY, 2009).

Tabela 3 – Valores de I e alguns atributos técnicos dos principais tipos de telhas-telhados²⁸.

Tipo de Telha	Subtipo/Modelo	I (%). I ⁰
Fibrocimento	Vogatex Tropical Ondulada Etermax	≥ 9

²⁸ Fonte: google,2021

	Modulada Canalete (ou Kalheta)	
Cerâmica	Francesa	45
	Colonial	20-25; 11 a 14
	Portuguesa	35
	Romana	30-45; 17-25
	Americana	?
Concreto		30-47
Resinadas		?
Vidro		15
Plástica ondulada		15
Alumínio		5
Zinco		15
Lage		1

2.25 Geometria superficial

Decorre da conjunção entre a geometria da STT, do tamanho e da forma dessa telha. Essa conjunção determina superfícies desde lisa, polida, até superfícies irregulares, passando por rugosas. Esses padrões de resistência ao fluxo, afetam, diretamente, a magnitude do escoamento superficial e dos volumes deste e do captado pelas calhas.

2.26 Dimensão areal de escoamento

Considerando a morfometria mais comum de superfícies de CE – o retângulo – o tempo de escoamento (t_e) – ou de fluxo (t_f) – varia com o lado no qual esse escoamento ocorre; se percorrendo o lado maior, certamente, o t_e é maior. A inversa é verdadeira. Então, considerando uma superfície de CE de mesma área, o volume captado (V_c) será menor quando o escoamento ocorrer pelo maior lado da superfície.

2.27 Número de “águas” de uma CE

Constitui-se no número de planos inclinados – superfícies de escoamento ou de fluxo pluvial – que compõem uma CE (Figura 7). Os valores de NA varia de 1 a vários, fundamentalmente em função do número de cômodos e arquitetura da edificação.

2.28 Área

Sob a égide de um PAC, a área de um telhado corresponde à área da superfície de interceptação de água de chuvas. Difere da área do telhado tomada como base para o cálculo do número de telhas. Independe do número de cômodos (partes do telhado total), e da forma geométrica destes. Corresponde à projeção horizontal em planta da extensão areal de toda a SCE.

2.29 Albedo de SCE (Superfícies de cobertura de edificações)

O albedo de uma superfície significa o quanto – qual parcela dos – raios solares que nela incidem ela reflete. Por outro lado, é uma estimativa de o quanto esta mesma superfície absorve e, a partir desta parcela absorvida, o quanto ela aumenta sua temperatura na unidade de tempo e, ainda, qual potencial para Ev da água nela contida. O Quadro 4 traz uma estimativa desses valores para duas categorias de telha com relação a coloração. MUNIZ-GAAUL et al. (2018) desenvolveu estudos sobre eficiência térmica de materiais de cobertura e obteve dados sobre telhas cerâmicas, esmaltadas e rústicas, e concreto rústico, em relação a diversas cores desses materiais. O SRI (índice de reflectância solar) variou de 4% a 82%.

Quadro 4 – Valores estimados do albedo de superfícies de telhados (fonte:google,2021)

	Albedo (%)
Telhado escuro	8 a 18
Telhado claro	35 a 50

Coefficiente de escoamento superficial para coberturas de edificações (CE_{ce}). Valores típicos para projetos.

Parâmetro fundamental nos projetos de qualquer PAC. Muito difundido na literatura pertinente como *run-off coefficient* ou *coefficient of runoff* (Cr) (GOULD e NISSEN-PETERSEN, 1999; ZAGELOW, 2014). Adotaremos a simbologia de CE_{ce} (coeficiente de escoamento em coberturas de edificações).

De acordo com RIBEIRO e MARINOSKI (2020), devem ser adotados materiais para coberturas que apresentem coeficientes de runoff (coeficiente de escoamento superficial) que maximizem o aproveitamento da água pluvial, dado que o volume captado depende da eficiência do escoamento.

A literatura também se refere a este parâmetro como traduzido por um fator denominado eficiência da superfície de interceptação (roof efficiency) (AVIS e AVIS, 2019).

O conceito e definição geral sobre o coeficiente de escoamento superficial é o de que consiste na relação entre o volume total escoado (V_e) e o volume total precipitado (V_p), variando conforme a superfície (ABNT, 2007). Considerando-se que a superfície de escoamento – e, antes, de interceptação – é uma CE, tanto o V_p quanto o V_e são volumes de águas pluviais. Enfatizamos que as superfícies de CE são, sob a égide do escoamento pluvial, muito diferenciadas. Essas diferenciações causam efeitos sobre os valores do CE_{ce} . É mais racional, portanto, que, no cálculo de CE_{ce} , seja substituído pelo volume interceptado por esta superfície (V_i). Este volume é, efetivamente, aquele que atinge, choca-se, com a superfície da CE.

O CE_{ce} define a fração da água pluvial que atingiu a SCE mas não se constituiu em volume de água armazenado (AVIS e AVIS, 2019). Ou seja, assume-se que há, sempre, uma diminuição do volume armazenado em relação ao interceptado.

$$CE_{ce} = \frac{V_e}{V_i}$$

O valor de V_i somente é afetado pelos elementos meteorológicos locais. Deve ser medido à superfície da CE. Porém, o V_e é afetado por esses elementos – principalmente pela evaporação (albedo da SCE) – e, muito mais, ainda, pelas condições da superfície de escoamento, tanto as de sua natureza física – material de constituição e processo de fabricação – quanto aquelas decorrentes das interações com o ambiente local. De uma forma simplória, há uma diferença muito grande nos valores do CE_{ce} em função do tempo de utilização da CE. Esses, quase sempre, diminuem com esse tempo²⁹.

Os valores do CE_{ce} podem variar de 0,00 a 1,00 (CAVALCANTI, 2010). V_e pode ser zero³⁰. Em Regiões secas, isto é frequente. Nessas Regiões, aliam-se dois fatores (meteorológicos): (01) as baixas alturas e intensidades de chuvas e (02) o albedo da CE. Este último, devido aos elevados índices de luz solar. Ao contrário, em Regiões de altos

²⁹ Não há registro científico de manutenção da SCE no sentido de mantê-la com as condições próximas àquelas do momento da instalação.

³⁰ Na verdade, considerando a junção entre os fatores meteorológicos e os atributos das CE nas Regiões Secas, para que se cogite de escoamento, mínimo que seja, demanda-se um valor de h (altura de água de chuva) > 1 mm (ou maior ainda). Este, inclusive, é um dos pontos que demandam pesquisa: Qual valor mínimo de h , numa determinada Região Seca, para que haja escoamento considerável?

índices pluviométricos e em CE polidas, novas – com períodos de utilização reduzidos – e de geometria uniforme, os valores de CE_{ce} se aproximam de 1,00.

Os valores de CE_{ce} são definidos, frequentemente, em função do tipo de material da SCE, quando da seleção desta (AVIS e AVIS, 2019). Não considera, portanto, as modificações na natureza desse material ao longo do tempo nem, tão pouco, a ocorrência de material depositado sobre ela.

2.30 Visão crítica

Devido à imensa e crescente importância da utilização de água de chuvas nas atividades humanas em geral e às essencialidades técnico-científica das concepções, principalmente nas condições de Campus Universitários, urge a implantação de pesquisas diretamente relacionadas das variáveis do tema em cada condição. As pesquisas continuam insipientes, principalmente em condições pluviais de zonas urbanas e, mais ainda, referentes às relações hidro-hidráulicas do fluxo pluvial em SCE. Com relação a esse assunto, transcrevo as considerações finais de GOMES et al. (2014):

“A reduzida produção acadêmica brasileira no tocante à captação e armazenamento de água de chuva, para fins potáveis ou não potáveis, contrasta com a crescente importância que esta temática tem adquirido nos últimos anos e, conseqüentemente, coloca em evidência o baixo impacto das pesquisas brasileiras sobre o tema na produção científica internacional. Percebe-se que há aspectos relevantes a serem abordados sobre essa temática, podendo contribuir sobremaneira para melhorar a qualidade de vida das populações brasileiras urbanas e rurais. Por outro lado, a publicação de pesquisas desenvolvidas no Brasil que versam sobre esse assunto deve ser estimulada em veículos de circulação internacional, a fim de que o Brasil penetre de modo irreversível no debate mundial sobre este tema”

Quadro 2 – Faixas de valores do CE_{ce} (Coeficiente de escoamento em superfícies de coberturas de edificações) para diferentes materiais constituintes e processos de fabricação. (fonte:google,2021)

Referência	Valores médio e faixas de valores do CE _{ce} de CE																Condiçio- nantes
	Asf ¹	MG ²	Conc ³	TTC ⁴	Al ⁵	Mad ⁶	TC ⁷	TFC ⁸	LPP ⁹	ACA ¹⁰	Plást ¹¹ , PVC	CC ¹²	Met ¹³	SP ¹⁴	TA ¹⁵	TGF ¹⁶	
Zagelow, 2014.	0,90	0,85	0,85	0,07	0,90	0,65											
Cavalcanti (2010).							0,60 – 0,71	0,78 – 0,82	0,80 – 0,91	0,57– 0,60							
Silveira et al. (2018).							0,00										Chuvas com $i \leq 0,20 \text{ mm h}^{-1}$
							0,05										3 chuvas consecutivas de $0,24 \text{ mm h}^{-1}$, $h = 12\text{mm}$ e h_e (altura de

						escoamento) = 0,01mm.
		0,34				1 chuva de 0,71 mm h ⁻¹ , h = 0,12 mm e h _e = 0,04 mm
		> 0,90				A partir de chuvas com i = 12,76 mm h ⁻¹
Gould e Nissen- Petersen, 1999. ³¹		0,62				<i>Cement tile</i>
		- 0,69				
		0,30				<i>Clay tile</i> <i>(Machine- made)</i>
		- 0,39				

³¹ Estimativas obtidas a partir de estudos realizados na Província de Gansu, China (Zhu e Liu, 1998), em áreas com alturas médias anuais de água de chuvas variando de 200 a 500 mm.

Frasier (1975) ³⁴							0,80					0,70					
							-					-					
							0,90					0,90					

¹ Asfalto; ² Metal galvanizado; ³ Concreto; ⁴ Telha (Terra Cotta); ⁵ Alumínio; ⁶ Madeira; ⁷ Telha cerâmica; ⁸ Telha de fibrocimento; ⁹ Lona plástica de polietileno; ¹⁰ Argamassa de cimento e areia; ¹¹ Plástico; ¹² Chapa corrugada (ou telha corrugada de metal); ¹³ Metal; ¹⁴ Superfície pavimentada; ¹⁵ Telha de Ardósia; ¹⁶ Tar and Gravel (Flat) (Pedregulho-e-pixe, liso);

³⁴ Citação de VERDADE (2008).

3 MATERIAIS E MÉTODO

3.1 Características da área

O caso, de interesse deste estudo, refere-se às dependências do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas (CECA/UFAL). Mas especificamente, às superfícies de coberturas de edificações (SCE) existentes nesse Campus.

O Centro Geométrico da área desse Campus localiza-se a $9^{\circ} 27' S$ e $35^{\circ} 49' W$ e a 127m, do Município de Rio Largo, à BR 104, Norte, km 86, distando 29 km de Maceió (distância de condução), Alagoas. Toda a área está incrustada na extremidade Nordeste do Tabuleiro Costeiro de Maceió, abrangendo os Territórios dos Municípios de Satuba, Atalaia, Rio Largo, Messias e Murici.

No que se refere ao conjunto de edificações, ocorrem duas classes destas relativamente às suas durações: (01) a quase totalidade data do início da década de 1970 e (02) a parte menor, construída ao longo das duas últimas décadas. Portanto, a maior parte das SCE são muito antigas (quase 50 anos de instaladas).

Essencialidades da DDC (Disponibilidade-demanda-consumo) de água

A área do estudo é a de um Campus Universitário de Engenharias e Ciências Agrárias. Num Campus dessa Categoria, do ponto de vista dos recursos hídricos – e, por consequência, do RLC (Regime Local de Chuvas) e de um PAC (Programa de Aproveitamento de Água de chuvas) – coexistem (01) variados conjuntos de MEA (Materiais, equipamentos e acessórios) especializados, (02) vegetais em cultivo e ornamentais, (03) animais em cultivo e domésticos e (04) humanos (alunos, funcionários e Professores). Todos esses dependem de água. Essa é utilizada para existência e desenvolvimento biológicos (manutenção das vidas economicamente ativas), higienização (humana, animal, dependências e MEA) e preservação ambiental (vidas silvestres em geral).

Importa ressaltar a sazonalidade da demanda/consumo de água, essência de um Campus Universitário. Este se constitui num importante elementos de planejamento e projeto de um PAC. Na perspectiva de um Programa como esse, a condição de Campus

Universitário é ainda mais agravada quando esse Campus é de Engenharias e Ciências Agrárias³⁵.

Sendo um Campus Universitário, ou seja, onde se desenvolvem atividades acadêmicas, essas edificações são ocupadas, por um lado, com materiais, equipamentos e, ou, acessórios, inerentes às várias especialidades da Ciência, por outro, por humanos (Professores, alunos, técnicos e prestadores de serviços). Estes de forma sazonal (ocupação parcial – por diferentes períodos – durante um ano civil).

3.2 Área edificada do CECA/UFAL

A Figura 1 (SHCEIBEL, 2018), contém a parte edificada da área total do CECA/UFAL, com as edificações existentes no ano desta foto de Dronimetria. Essas edificações, em conjunto, num total de 62, foram o objeto desta pesquisa.

No que se refere às demandas por água, há uma diversidade muito grande no âmbito de um Campus Universitário, mais ainda de Engenharias e Ciências Agrárias. Ocorrem desde prédios administrativos desde áreas irrigadas, passando por laboratórios de várias especialidades, casas-de-vegetação, garagens, etc.

Figura 3 – Foto de Dronimetria da área edificada do CECA/UFAL. (Fonte: Foto e elaboração de SHEIBEL, 2018).



³⁵ Essa categoria de Campus, relativamente às DDC de água, impõe uma complexidade ainda maior nessas relações, na medida em que as atividades hídricas em geral envolve todos os sistemas naturais e muitos sistemas artificiais (construídos pelos humanos).

3.3 Regime local de chuvas (RLC)

Comportamento médio das variáveis de chuva nas condições da área de desenvolvimento das pesquisas. O Quadro 1 contém esses dados, coletados pelas várias equipes de especialista, na área do CECA/UFAL, no período de 1972-2014.

Os valores dos parâmetros da estatística descritiva definidos no Quadro 1, para os anos menos chuvoso, médio e mais chuvoso, foram obtidos utilizando a Planilha Excel (2013), com base nos dados fornecidos pelo Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia (LIA), do CECA/UFAL³⁶.

Quadro 1 – Descrição estatística clássica das alturas diárias de chuva para os anos mais seco (menos chuvoso), médio e mais úmido (mais chuvoso), no período de 1972-2014. Fonte: SIC³⁷-COONE/PLANALSUCAR; GTAI³⁸-PLANALSUCAR; Setor de HHID³⁹-CECA/UFAL; Dpto. Meteorologia-CCEN⁴⁰/UFAL; LIA⁴¹-CECA/UFAL.

DEC ⁴²	Ano menos chuvoso (1993)	Média do período (1972-2014) (“Ano-Médio”) ⁴³	Ano mais chuvoso (1989)
N (Dias)	365,25	366	365,25
Vm (mm)	0,0	0,2	0,0
MAS (mm)	2,7	4,9	8,1
Med (mm)	0,0	3,7	0,2
Moda (mm)	0,0	0,0	0,0
VM (mm)	93,0	16,3	197,0
T (mm)	991,7	1776,5	2.954,7
Var (mm)	74,32	12,2937	339,23
DPM (mm)	8,621	3,5062	18,418

³⁶ E-mail enviado pelo Prof. Ricardo, por solicitação do Professor Carlos Brancildes Monte Calheiros.

³⁷ Seção de Irrigação e Climatologia da Coordenadoria Regional Nordeste (COONE) do Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (PLANALSUCAR).

³⁸ Grupo de Trabalho em Agrometeorologia e/ Irrigação.

³⁹ Setor de Hidrologia-Hidráulica-Irrigação-Drenagem do Centro de Ciências Agrárias da UFAL.

⁴⁰ Centro de Ciências Exatas e Naturais da UFAL.

⁴¹ Laboratório de Irrigação e Agrometeorologia.

⁴² Descritor estatístico clássico.

⁴³ Ano virtual – ou composto de dados virtuais – que é/são substituídos ao fim de cada ano de coleta dos dados da mesma variável nas mesmas condições de medição. Dados que não existem fisicamente.

CV (%)	317,3	72,23	227,52
Assimetria	6,188	0,8936	4,7842
Curtose	48,25	0,1199	34,661

3.4 Entorno da área do estudo

As adjacências da área de estudo, ou seja, a proximidade das superfícies das coberturas das edificações no CECA/UFAL, são diversas. Ocorrem edificações (residenciais, comerciais e industriais), resquícios florestais, corpos hídricos e plantio de cana-de-açúcar.

3.5 Variáveis da pesquisa e técnicas de obtenção dos dados

Serão obtidos os seguintes conjuntos de dados: (01) Tipos de telhas-telhados, (02) Áreas de cada tipo, (03) geometria de telhas e de telhados, (04) Inclinação, (05) Estimativa do grau de rugosidade superficial, (06) estimativa do grau de incrustação, (07) tipos de materiais depositados e estimativa de suas magnitudes, (08) inferências acerca dos coeficientes dos escoamentos pluviais (CEp) e de eficiência desses escoamentos (EEp).

As estimativas qualitativas de variação das magnitudes dessas variáveis foram obtidas a partir de documentação/registros fotográficos. Esses registros serão obtidos de tal forma a evidenciar os elementos de confirmação da ocorrência ou não dos elementos das variáveis estudadas. Deverão, portanto, ser priorizadas as fotos em *close-up*. Evitar, a todo custo, as fotos panorâmicas.

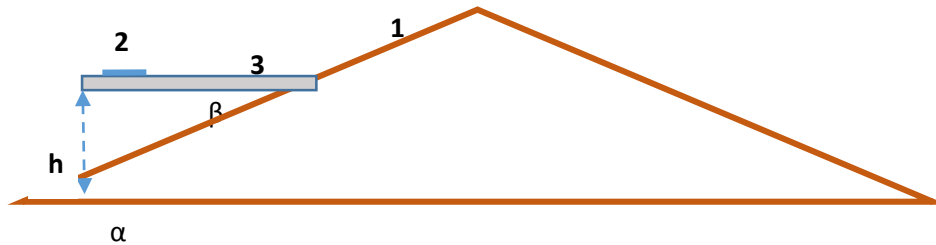
3.6 Declinação geométrica (D) das SCE

Para obtenção dos elementos de cálculo dos valores de D, foi feita uma adaptação técnica simples, utilizando materiais de aquisição bastante exequíveis e maneáveis (Figura 1). Havia grande dificuldade de obter o dado nas diversas condições de SCE além de, principalmente, alto risco de sinistro, devido à antiguidade das telhas.

A barra rígida⁴⁴ (1) – de comprimento conhecido e constante (ℓ) –, no momento da medição permanece na horizontal, sendo isto garantido pelo nível de bolha (2), em nível. Considerando o plano que contém a barra rígida (3) e o que contém a base do telhado (4), paralelos entre si, os ângulos (α e β) são alternos internos e, portanto, iguais.

⁴⁴ Nesta pesquisa utilizou-se uma barra de alumínio – material rígido e leve – de fácil manuseio e aplicação. Esta barra tinha um comprimento de 189,4 cm.

O valor de h varia com a declinação (D) da superfície do telhado (1). O valor de h é dado pela trena, em posição ortogonal à barra rígida. A declinação (I) é dada pela expressão:



(Fonte:google,2021)

Figura 1 – Ilustração da técnica de medição da declinação (D) do telhado utilizando o conjunto barra rígida – nível de bolha – trena mecânica.

$$D = \operatorname{tg} \hat{\beta} = \frac{h}{\ell}$$

Nesta pesquisa, o comprimento (ℓ) da barra rígida foi igual a 189,4 cm. Com isto, dado que as medidas mais coerentes de h são, também, em cm, a expressão anterior passa a ser:

$$D = \operatorname{tg} \hat{\beta} = 0,0052798 \cdot h$$

$$\hat{\beta} = \operatorname{Arctg} (0,0052798 \cdot h)$$

Valores de declinação (D) são dados em porcentagem ou decimais. Os de declividade são dados em graus (ou radianos).

Análise dos dados

Os valores das variáveis estudadas (atributos das superfícies de escoamento), assim como o comportamento destas nas condições de estudo, foram confrontados entre as estimativas feitas para as variáveis estudadas no caso, resultados da literatura científica inerente e conjecturas racionais, sob a perspectiva das condições ambientais em horizontes temporais curtos.

Isto dará subsídio ao PAC e aos Projetos das estruturas hídricas destes, a ser implantado na área em estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados inerentes às SCE estudadas – área edificada do CECA/UFAL – foram obtidos nos dias 20 e 26.11.2021.

Até o último momento de obtenção dos dados para esta pesquisa, na área de edificações do CECA/UFAL não existia cobertura edificada com vegetação, ou seja, “telhado-verde”. Em vista disto, esse tipo de CE não foi alvo de nenhuma abordagem nesta pesquisa. Mesmo que essa categoria de CE estivesse no escopo da pesquisa, verificou-se que ela não existe na área edificada do CECA/UFAL.

Verificou-se também que após 2018, ano tomado como base referencial do conjunto de edificações no CECA/UFAL alvo desta pesquisa (Figura 3), ocorreram – na verdade, ainda encontram-se em construção – duas outras edificações (destacadas em azul, na Figura 3). As CE destas não foram consideradas nesta pesquisa.

Os dados obtidos foram restritos àqueles inerentes ao alcance dos objetivos desta pesquisa. Contudo, registre-se a elevada ocorrência (frequência) de materiais estranhos às SCE e que afetam o desempenho destas do ponto de vista da hidrologia-hidráulica do fluxo pluvial. Os mais importantes desses materiais estranhos (à SCE) encontrados foram: fiação, folhas, plantas de pequeno porte, acessórios elétricos, etc. Surpreende tanto a grande quantidade desses materiais sobre as SCE quanto as suas disposições – bastante desleixada – potencializando não apenas dificuldade ao fluxo quanto, até, riscos a quem, causalmente ou não, acesse essas superfícies.

4.1 Categorias de CE (Cobertura de edificação)

Na totalidade de categorias de coberturas de edificações existentes na área do CECA/UFAL, foram identificadas – do ponto de vista do grau de exposição eólica – duas: (01) a exposta e (02) a embutida. Há uma imensa predominância da segunda categoria. Com isto, a grande maioria das CE desse Campus Universitário são abertas, totalmente submetidas, à ação das correntes de ar e dos ventos locais. Isto determina efeitos sobre o volume pluvial precipitado no sentido de dispersar ainda mais as gotículas de água de chuva sobre a CE e, com isto, reduzir o volume interceptado e a eficiência de interceptação pluvial. A dispersão das gotas de água de chuvas neste caso – sob a égide da interceptação de água pluvial e, ao final, do volume de água captado – deve ser

estudada in loco. Esta depende de uma junção entre os atributos das correntes de ar (intensidade, direção e sentido) e o volume das gotas de água de chuva, a qual é extremamente diversa. Esse, então, é o primeiro parâmetro de causa-efeito de variação na hidro-hidráulica do fluxo pluvial.

No conjunto de CE da área alvo desta pesquisa, foi verificada/registrada apenas uma CE do tipo quadril (tipo de CE de cumeeira tripla) (Prédio da EMBRAPA). Do ponto de vista do escoamento pluvial, esse tipo de CE assemelha-se ao de cumeeira única, o tipo mais frequente.

Figuras 5 a 8 – As duas diferentes categorias de CE e suas variantes registradas na área do CECA/UFAL. (Fonte: autor,2021).



4.2 Edificações e telhados diagnosticados

O Quadro 1 contém uma lista dos prédios da área edificada do CECA/UFAL, cujos telhados foram registrados por esta pesquisa. A coluna 3 (número de SCE registradas e congêneres) traz o número total de telhados – com SCE de mesma natureza – em alguns prédios, dado que estes se constituíam de mais de um cômodo⁴⁵ ou outros prédios (como no caso da EMBRAPA). Foram 17 prédios, perfazendo 33 telhados pesquisados, num total de 62 telhados. Portanto, uma amostra de 53,23% do universo (até o dia 26.11.21, último dia de obtenção de dados), bastante representativa das condições das SCE na área alvo da pesquisa. Alertamos para o fato de que para fins de elaboração de um PAC, essas superfícies devem ser estudadas com maior profundidade, dado à diversidade das RDD (relações disponibilidade-demanda) por água de chuvas num Campus Universitário.

Várias das edificações (prédios) utilizados nos estudos tinham dois ou mais diferentes telhados (SCE de diferentes cômodos num mesmo prédio). Alguns desses foram estudados separadamente, dada às suas características bastante diferenciadas (caso da SCE 06, onde ocorre um telhado com declinação próxima de zero).

4.3 Padrões e variações de telhas-telhados (PTT)

Esses padrões fundamentam-se nas variações de material constituinte da Te-Te, grau de aspereza, área, forma e geometria da STF da telha, além do grau de uniformidade do telhado. Esses elementos do padrão determinam a maior ou menor resistência ao fluxo pluvial sobre a SCE. Essa resistência aumenta muito das telhas de AFC para as telhas de barro-cerâmica. Esse aumento se dá principalmente pelo estabelecimento, por parte das telhas de barro-cerâmica, de inúmeras irregularidades na SCE, devido à pequena área dessas telhas e de, por isto, terem que juntarem-se umas às outras, determinando das irregularidades (descontinuidades) na SCE.

Quadro 1 – Identificação das edificações cujas SCE foram documentadas nas pesquisas.
Listagem.

Nº. Da SCE	Denominação	Nº. De SCE congêneres
01	Administração geral do Campus	1

⁴⁵ Diferentemente de subdivisões internas de um mesmo cômodo.

02	Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas.	2
03	Limpeza e Almojarifado do Campus	2
04	Biblioteca ⁴⁶	3
05	Sala (“Puxadinho”) do Centro Acadêmico (CA) de Engenharia Florestal e de Zootecnia.	1
06	Pós-Graduação (Administração e salas de aulas).	2
07	Antigo SGM (Seção de Melhoramento e Genética) da COONE-PLANALSUCAR. Atual Escritórios do CG em Engenharia de Agrimensura.	4
08	Prédio dos Setores de Melhoramento genético de plantas, Desenho Técnico e de Construções Rurais	1
09	Estufa do Setor de Melhoramento Genético de Plantas	
10	Microbiologia de Solos e Fisiologia Vegetal. Prédio de Escritórios.	1
11	Setor de Plantas medicinais-1	1
12	Setor de plantas medicinais-2	1
13	Prédio do PMGCA.	1
14	Prédio frontal de escritórios da EMBRAPA. Único com telhado do tipo quadril.	6
15	Bloco-2 de Salas de aulas.	4
16	Laboratório de produção de sementes.	1
17	“Puxadinho”, vizinho ao laboratório de Produção de sementes.	1
TTR ⁴⁷		33

Independentemente do tipo de telhado, foram identificados quatro padrões de telhas-telhados (PTT) no universo das CE da área do CECA/UFAL (Quadro 2). As variações foram definidas pelas diferenciações na geometria da STF.

⁴⁶ SCE com diversidade de categoria, inclinação, “idade”, grau de incrustação, além de outras ocorrências hidro-hidráulicas.

⁴⁷ Total de telhados registrados.

Quadro 2 – Padrões de SCE – ou de Te-Te – identificados/registrados na área do CECA/UFAL.

PTT	Variação	Material	Morfometria e Geometria
AFC ⁴⁸			Telhas de grandes áreas. SCE em ondas de diferentes comprimentos e frequência e uniforme. SCE regular e áspera
BCR ⁴⁹	Rústico	Barro	Telhas de pequenas áreas. SCE semicircular e desuniforme. SCE muito irregular e muito áspera.
	Industrial	Silte-Argila e impermeabilizantes	Telhas pequena e de geometria diversificada. SCE muito irregular e muito áspera.
Plástico		Diferenciados	Pequenas, grandes e muito grandes. Peças individualizadas, rolos extensos, etc. SCE regular e polida
Outros		Plástico	Lonas. Rolos extensos. Filmes (delgados e amplos).
		Madeira	Tábuas. Geometria diversa.

Pelos dados constantes do Quadro 2 e nas Figuras 9 a 14, verifica-se que há uma grande diversidade das condições de fluxo nas SCE do CECA/UFAL, sob o aspecto de asperezas/rugosidade dessas superfícies. Certamente, isto afetará de forma diferenciada a hidro-hidráulica dos fluxos pluviais e, a partir disto, os volumes escoado, captado e armazenado, causando efeito sobre o planejamento e projeto do PAC. Nas superfícies de AFC, três delas onduladas e uma de STF geometricamente diversa, ocorrem diferenciações nos comprimentos e nas frequências de ondas ao longo das respectivas telhas. Isto causa variações nos atributos do fluxo.

4.4 Declinações geométricas⁵⁰ (D) das SCE

⁴⁸ Amianto-Fibrocimento.

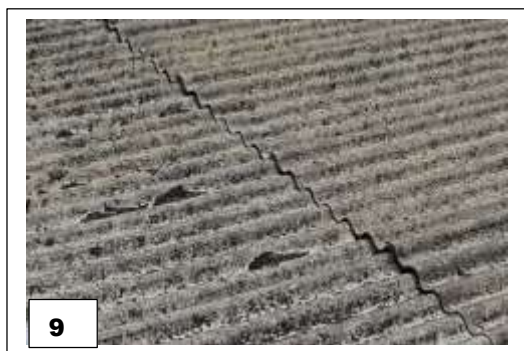
⁴⁹ Barro-cerâmica.

⁵⁰ Desvio para baixo; abaixamento; declive. Inclinação para plano inferior (HOUAISS, VILLAR e FRANCO, 2001). Portanto, do ponto de vista do fluxo pluvial, movimento da água de um ponto mais elevado

Houve uma grande dificuldade de medição das declinações das SCE do CECA/UFAL, dada a grande diversidade de tipos, de geométrica dos mesmos e de suas alturas. Alie-se a isto o fato de serem, em sua grande maioria, muito antigos e de não oferecerem segurança ao peso de um humano adulto. Isto dificultou muito a obtenção desses dados. Portanto, houve necessidade de realizar-se uma adaptação da técnica tradicional de medição e cálculo. Esta adaptação está descrita no capítulo de materiais, técnicas e método.

O Quadro 3 traz as faixas de variação de valores dos padrões de SCE pesquisados. As SCE de Amianto estão com inclinação mínima. Há casos, contudo, não raro, de inclinação, nessas mesmas superfícies, menores que o valor mínimo. Inclusive, com inclinação zero (Figura 15).

Figuras 9 a 14 – SCE com diferenciações morfogeométricas das áreas e STF das Te-Te registradas no CECA/UFAL. (Fonte:autor,2021).



(cumeeira) para um mais baixo (extremidade inferior da CE), ou seja, declive/declividade/declinação e não aclave/aclividade/aclinação. Portanto, deste ponto de vista, verifica-se uma declinação geométrica, a qual, sendo sua componente no eixo-x a resultante do movimento líquido, garante a ocorrência do fluxo pluvial no sentido do declive, ou seja, de uma cota mais alta para uma mais baixa.



Figura 15 – Superfície de CE – de AFC – com declinação muito próxima – senão igual – a zero. (Fonte: autor,2021).



Como o movimento da água pluvial em superfície de CE é determinado pela resultante sobre o eixo-x da FGT – ou seja, declividade da SCE – à medida que esta força tende a zero, o fluxo também tende a esse valor. Portanto, do ponto de vista de um PAC, essa SCE não pode ser considerada. Não há viabilidade técnica para seu aproveitamento nesse Programa.

Por outro lado, há necessidade de aprofundamento dos estudos para verificar-se como se dá o escoamento neste caso ($D \cong 0,00$).

Quadro 3 – Estimativa de faixas de variação dos valores das declinações geométricas (D) das SCE em função dos padrões de edificações do CECA/UFAL.

Padrão de SCE	h (cm)	D	D (%) (D^0)
AFC	$\cong 0,0 - 40,0$	0,0000 – 0,2112	0,00 – 21,12 (0,00 – 11,9)
BCR	37,5 – 48,0	0,1980 – 0,2534	19,80 – 25,34 (11,2 – 14,2)
Plástico	-	-	-
Outros	-	-	-

4.5 Condições físicas e geométricas das SCE e hidro-hidráulica do fluxo.

Foram identificadas na área edificada do CECA/UFAL, tanto diferentes geometrias do conjunto Te-Te quanto diferentes condições físicas das SCE. Essas diferenciações, tanto individualizadas quanto em conjunto, afetam significativamente as condições do fluxo pluvial, na medida em que impõe resistências espaço-temporal ao fluxo. Essas resistências – primordiais e desenvolvidas – tanto diferenciam-se em natureza física quanto em magnitude. A partir destas, estabelece-se uma sequência de efeitos hidro-hidráulicos sobre o fluxo pluvial nessas superfícies (Figura 16).

Nas SCE que existentes na área edificada do CECA/UFAL há os agravantes da ocorrência generalizada de muitos e diferentes obstáculos ao fluxo: (01) deposições vegetais, (02) fiações e (03) mal instalação de telhas, etc.

Figura 16 – Relações de causa-efeito sequenciais sobre o fluxo pluvial em superfície de CE e potencial de suprimento de água.

Asperezas ↔ Rugosidades (originárias e desenvolvidas) ↔ Resistências ↔ Turbulências ↔ > Perda de energia (cinética) ↔ < Velocidade ↔ > Tempo de escoamento ↔ < Volume captado ↔ < Volume armazenado ↔ < Disponibilidade de água pluvial ↔ < Potencial de suprimento.

4.6 Elementos de resistência ao fluxo pluvial

Os dados obtidos demonstram que os cinco elementos de resistência ao fluxo pluvial em SCE definidos pela literatura, ocorrem nas SCE da área edificada do CECA/UFA: (01) asperezas, (02) rugosidades (original e desenvolvida), (03) incrustações, (04) deposições e (05) vegetação, (Figuras 17 a 24). A ocorrência deste quinto elemento é uma condição excepcional.

As figuras 17 (Telhas AFC) e 18.1 e 18.2 (Respectivamente Barro-rústica, BRU, e Barro-cerâmica, BCR) são de telhas novas (recém-fabricadas). Pode-se estimar – até visualmente – as asperezas de uma e de outra classe de superfície de telha. As asperezas da classe de barro, diminuem da rústica – esta não foi verificada na área do CECA/UFAL – para a cerâmica, com o agravante que as asperezas da superfície inferior – exatamente naquela em que se dá o fluxo preferencial e de projeto – são maiores, principalmente nas telhas BRU. As asperezas de uma superfície definem o grau de rugosidade dessa superfície, a partir do maior ou menor grau de fricção do líquido escoado com essa

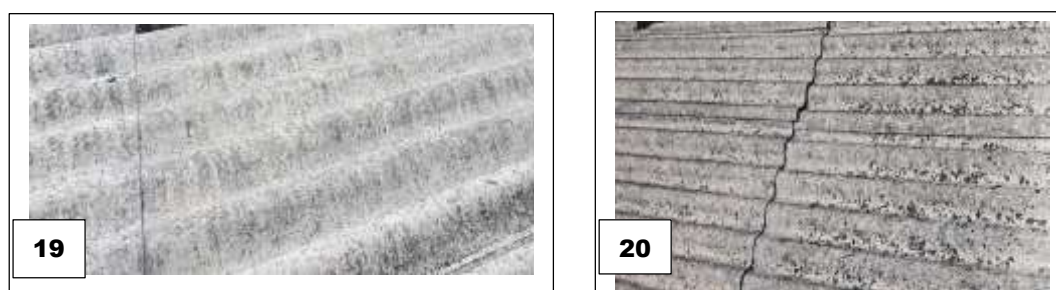
superfície. Esse grau, por sua vez, estabelece a magnitude das resistências – perde de energia, ou de carga – ao escoamento sobre essa superfície. Por fim, quanto maiores as asperezas de uma superfície de escoamento – no caso escoamento pluvial – maiores as perdas de energia. Essas perdas reduzem a velocidade do fluxo e, a partir desta redução, diminuição do volume escoado, captado e armazenado.

Figuras 18 a 18.2 – Diferentes rugosidades originais (de fabricação) a partir dos diferentes materiais constituintes das telhas, processos de fabricação e especialização da MDO (mão-de-obra). (Fonte:google,2021)



As asperezas dos vários tipos de telhas de AFC não parecem variar significativamente entre eles, não variando, portanto, a magnitude das rugosidades e das perdas de energia. Contudo, as telhas de BCR têm outro comportamento. Lembrando que as telhas de BCR têm duas superfícies de escoamento⁵¹. As asperezas são muito maiores nas telhas de barro rústicas e na parte convexa, exatamente naquela que ocorre o fluxo preferencial, de composição do volume captado.

Figuras 19 a 24 – Registro de diferentes magnitudes de incrustações nas diversas SCE da área edificada do CECA/UFAL. (Fonte:autor,2021).



⁵¹ A superior e a inferior. A magnitude das asperezas nestas são muito diferentes, principalmente nas telhas de barro rústicas. O escoamento preferencial – aquele que é considerado no volume de captação – ocorre na face inferior (face da telha que fica para cima no telhado, parte convexa, mais baixa do telhado).

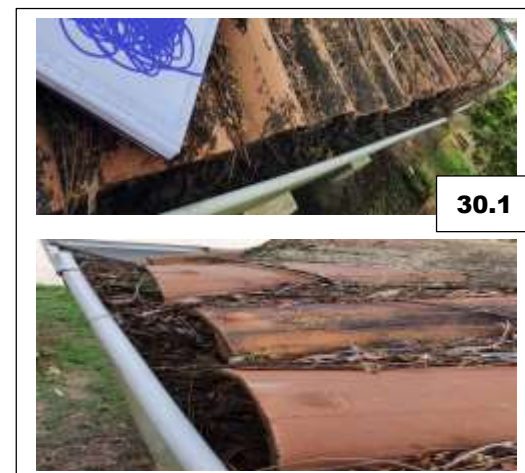


Nas fotos da Figura 30, inclusive, verifica-se obstrução total da calha de captação. Isto faz com que haja transbordamento da água – mesmo com chuvas de intensidades médias – e perda de volume de água pluvial captada, comprometendo drasticamente o armazenamento e o PAC como um todo.

4.7 Vegetação (condição excepcional de resistência ao escoamento/fluxo pluvial em SCE).

Vegetação, ou seja, crescimento de plantas em SCE...!? Pode, até, em nossa Região, não ser raro, porém, certamente, demonstra um total – e prolongada – falta de manutenção da SCE. Isto é característico, na verdade, de abandono. Isto também demonstra a inexistência de uma cultura de utilização de água de chuvas nas atividades humanas. Independentemente da causa, isto reduz a vida útil da SCE e, em casos extremos, pode aumentar os riscos de sinistros.

Figuras 25 a 30 – Registro das diversas deposições e em vários graus sobre as SCE da área edificada do CECA/UFAL. (Fonte:autor,2021).



Verificou-se, como é normal na realidade, uma evolução do grau de incrustação (formação continuada de crosta) sobre as SCE (Figuras 19 a 22, nas telhas de AFC). Nas

telhas BCR esse processo também foi verificado (Figura 23 e 24). A relação de causa-efeito entre incrustação, asperezas e resistência ao fluxo pluvial é linear: à medida que a primeira aumenta, aumentam também as seguintes. Portanto, há um aumento da resistência ao fluxo das incrustações verificadas na Figura 18 para aquelas registradas nas Figuras 20 e 21. Nessas últimas, são tão intensas que já alcançam o grau de deposições, que são obstruções mais acentuadas.

As figuras 25 a 30 são as principais formas de obstruções/impedimentos ao fluxo pluvial verificadas/registradas nas SCE das diversas edificações da área do CECA/UFAL. Esses tipos de obstáculos ao fluxo estão disseminados por quase todas as SCE das edificações dessa área.

Como referido antes, o estado de obstrução (variações verificadas nas Figuras 24 a 29), é o mais drástico admitido, dentre aqueles de resistência ao fluxo. Portanto, nesse estado o fluxo está impedido ou extremamente limitado. Considerando as relações entre os graus de obstrução (deposição de detritos) e as intensidades de chuva, sobre a SCE, pode-se afirmar que, com chuvas de baixa intensidade a água é retida (absorção e acúmulo) pelos detritos e evaporada, principalmente em Regiões Tropicais (de alta demanda evapotranspirométrica). Então, na maioria dos casos, nem mesmo há fluxo. Nos casos de chuvas de alta intensidade, após um certo tempo de ocorrência da chuva, inicia-se o fluxo, mas, com alto impedimento, elevando o tempo de percurso sobre a SCE e minimizando o volume escoado, captado e armazenado.

Portanto, na perspectiva de um PAC, esse tipo de resistência ao fluxo pluvial não pode ser concebido. Porém, é fato – como as fotos do caso demonstram – as realidades “falam” exatamente o contrário disto. Parece haver uma “cultura” – ou mal hábito – generalizada de não dar importância às condições físicas das SCE. Considerando isto, há necessidade de, num PAC, efetivar-se duas atividades técnico-científicas: (01) a priori, de diagnóstico das condições das SCE na área do projeto e (02) ao fim, em função dos resultados do diagnóstico elaborado, propor subprojetos de recuperação dessas SCE e de manutenção periódica das mesmas, no intuito de manter-se os parâmetros e coeficientes de dimensionamento do PAC.

Outro aspecto, que não foi abordado nesta pesquisa – porém, não menos importante – é o fato de que quanto mais detritos sobre a SCE, maior a oportunidade para a ocorrência e retenção de microrganismos patogênicos, muitos dos quais reduzem a qualidade biológica da água e pode afetar a saúde humana e, ou, animal que a utilizar.

4.8 Geometrias do conjunto Te-Te

Essas geometrias resultam das conjunções entre as formas geométricas das STE (ou STF) das telhas e os tamanhos (extensões areais) destas. Essas conjunções determinam os atributos hidro-hidráulicos do fluxo (HHF) pluvial sobre as SCE. Ocorrem, basicamente, dois padrões de STE (ou STF, seção transversal de fluxo) das SCE estudadas: (01) as variantes das Te-Te de amianto e (02) as de Te-Te de cerâmica (Figuras 9 a 14). Há significativas variações da HHF pluvial em cada SCE. Isto, evidentemente, afeta o escoamento pluvial e, ao fim, o volume captado e, ou, armazenado.

4.9 Material (Te-Te) novo

A variação nessa resistência já ocorre, originalmente, a partir dos diferentes tipos de material de telhas-telhados e, também, dos seus processos/ambientes de fabricação e nível de MDO utilizada. Na área de edificações do CECA/UFAL, existem os tipos referidos no Quadro 4. Saliente-se que o tipo de processo de fabricação – conjunto de MEA (materiais-equipamentos-assessorios utilizados) da telha, assim como o nível de especialização da MDO (mão-de-obra) – também estabelece efeitos sobre a resistência de sua superfície da telha – e, por consequência, do telhado – ao fluxo.

Quadro 4 – Tipos Te-Te novos (estados físicos das superfícies iguais àqueles do momento da aquisição/compra) (material de constituição/fabricação) das SCE da área do CECA/UFAL.

Te-Te		Material de constituição/fabricação
AFC ⁵²	Novo	EPS (Poliestireno)
	Seminovo ou Recente	
	Antigo	
	Muito antigo	
BCR	Rústica	ASA ⁵³ (Barro grosso)
	Industrializada	SA ⁵⁴ (Barro fino)

⁵² Discutir a conjunção entre os aspectos legal, do material de constituição, de qualidade da água coletada-armazenada e de saúde.

⁵³ Areia-Silte-Argila em várias proporções, porém de textura geral grosseira (elevado teor de areias). Telhas antigas, rústicas, quase inexistentes atualmente.

⁵⁴ Silte-Argila em várias proporções; areias em pequenas quantidades e de textura muito fina.

Ocorrem, no conjunto das SCE da área de edificações do CECA/UFAL, as seguintes categorias de elementos de resistência ao fluxo pluvial: (01) rugosidades (original ou primária e desenvolvida/adquirida), (02) obstruções e (03) impedimentos.

4.10 Material (Te-Te) em utilização

No estudo de caso, há uma grande variação no tempo de utilização do Te-Te, modificando as condições físicas das SCE e, por consequência, das condições hidro-hidráulica do fluxo (Quadro 5). Com o transcorrer do tempo, numa condição de não intervenção – ou de intervenção apenas para substituição de peças (telhas) – ocorrerá acúmulos de vários elementos físicos (poeira, detritos de pássaros, partes vegetais, etc.). Alguns destes aliados à umidade retida sobre a SCE, dará condição ao desenvolvimento de pequenas plantas (geralmente musgos), os quais permanecerão aderidos à SCE, impondo obstáculos. Na maioria das SCE da área edificada do CECA/UFAL isto foi verificado. E, como agravante, esta condição se encontra quase generalizada tanto em relação ao universo das SCE quanto à totalidade da área de suas superfícies. Esta condição de SCE impõe significativas resistências ao fluxo, reduzindo os volumes pluviais e comprometendo todo o PAC.

Quadro 5 – Te-Te e faixas de tempo estimado de utilização, em anos, e qualificação temporal.

Te-Te	Novo (1 a 5 anos)	Seminovo ou recente (6 a 20 anos)	Antigo (21 a 40 anos)	Muito antigo (> 41 anos)
AFC	X	X	XX	XXX
BCR	-	X	X	-

No Quadro 5, quanto maior o número de X numa mesma faixa de tempo, maior o número de SCE nesta faixa. Há duas constatações, portanto: (01) ocorre uma grande variação de tempo de utilização para as telhas de AFC, com uma grande concentração nas faixas de maiores tempos e (02) há muito poucas SCE de telhas de BCR e com tempos de utilização menores.

I. Tipo de Te-Te e tempo estimado de utilização

As edificações originárias da área do CECA/UFAL datam dos primeiros anos da década de 1970. Mas, ao longo desse período – aproximadamente 50 anos – ocorreram várias substituições, reformas, ampliações, etc. Disto resultou a existência de conjuntos Te-Te de diferentes tempos de utilização e, por consequência, com diferentes condições físicas da SCE.

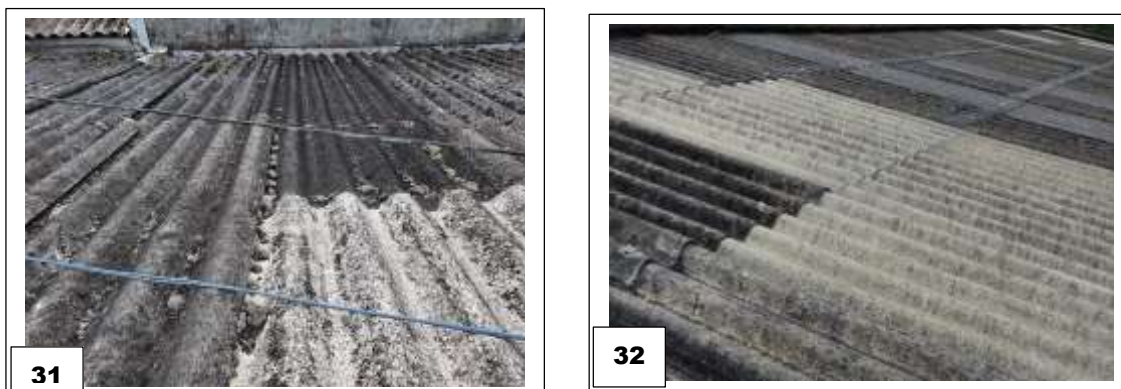
4.11 Diversidade do fluxo pluvial

Além dos elementos – tomemos como elementos comuns – de resistência ao fluxo já estudados anteriormente, ocorrem uma grande diversidade de graus de rugosidade numa mesma SCE (Figuras 31 e 32). Isto decorre de substituições de telhas em diferentes tempos, impondo uma diversidade de condições de resistência ao fluxo pluvial. Tomemos esses últimos como elementos adicionais de fluxo pluvial. Saliente-se que o tipo de Te-Te de AFC – Figuras 31 e 32 – é o de maior predominância na área edificada do CECA/UFAL. Enfatize-se também que, racionalmente pensando, essa diversidade de condições de fluxo deve aumentar, dado que as substituições de telhas devem continuar ocorrendo.

Foram registradas SCE com diversidade de elementos de resistência ao fluxo em vários casos. As causas visualizadas para isto foram: (01) partes do telhado, com diferentes áreas, constituídas de telhas com diferentes tempos de utilização, (02) pontos de alguns telhados perfurados ou com saliências oriundas de mal posicionamento de telhas. No primeiro caso, impôs-se diferentes níveis de incrustação (Figura 15). No segundo, há, até, perda de volume de fluxo. Em ambos os casos, há significativa variação da resistência ao fluxo e, a partir disto, variações nos volumes escoados e captados.

Portanto os elementos adicionais de fluxo pluvial impõem uma diversidade tão grande sobre as condições hidro-hidráulicas desse fluxo que somente é possível estimativas a partir de modelos construídos com base nas condições do local.

Figura 31 e 32 – Variações da diversidade de resistências ao fluxo pluvial numa mesma SCE. (Fonte:autor,2021).



Efeitos sobre os coeficientes (CEp) e sobre as eficiências dos escoamentos (EEp) pluviais

Esses dois parâmetros de fluxo são significativamente afetados pelos atributos dos dois conjuntos de elementos de resistência ao fluxo: (01) os elementos comuns e (02) os elementos adicionais. Portanto, assim como a diversidade do fluxo e por analogia a esta, também são dependentes de modelo-modelagem-simulação (MMS) construído em nível local, com base nas condições físicas e ambientais do local onde se encontra instalada a SCE.

Quadro 6 – Materiais constituintes e atributos físicos das telhas e das SCE (superfícies de coberturas de edificações) que ocorrem na área do CECA/UFAL.

N da SCE ⁵⁵	Categoria	Material constituinte Te-Te ⁵⁶	I (%)	TEU ⁵⁷	Geom ⁵⁸ STT	Geometria da SCE
01	Emb ⁵⁹	AFC ⁶⁰	M ⁶¹	Ant	Ond-1 ⁶²	Ondulada e uniforme (constante ao longo da superfície de

⁵⁵ Número da superfície de cobertura de edificação.

⁵⁶ Conjunto telha-telhado.

⁵⁷ Tempo estimado de utilização.

⁵⁸ Forma geométrica geral da seção transversal da telha.

⁵⁹ Embutido.

⁶⁰ Amianto-fibrocimento.

⁶¹ Mínima.

⁶² Ondulada-1. Os comprimentos de ondas e as alturas destas são menores. (Figura 9).

						escoamento), definida pela geometria da STE das telhas.
02	Exp ⁶³	AFC	M	M Ant ⁶⁴	Ond-1	Ondulada e uniforme
03	Exp	AFC	M	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme
04 e 05	Emb	AFC	M	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme.
			Zero	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme
	Exp	AFC	M	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme
06	Emb	AFC	M	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme
07	Exp	AFC	M	M Ant	Esp ⁶⁵	SCE de geometria diferenciada
08	Exp	AFC	M	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme
09	Exp	AFC	M	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme
10	Exp	AFC	M	M Ant	Ond-1	Ondulada e uniforme
11	Exp	BCR ⁶⁶	M	Recente	Semic. ⁶⁷	Ondulada e desuniforme em ambas as dimensões do telhado. Telha cumeeira paulista.
12	Exp	AFC	M	Recente	Ond-2 ⁶⁸	Ondulada e uniforme
13	Emb	AFC	M	Recente	Ond-1	Ondulado e uniforme
14	Exp	BCR	M	Ant	Semic.	Ondulada e desuniforme em ambas as dimensões do telhado. Telha cumeeira paulista.
15	Exp	AFC	M	M Ant	Ond-2	Ondulada e uniforme

⁶³ Exposto.

⁶⁴ Muito antigo.

⁶⁵ Especial. STE da telha é de geometria diversa, isto é, desuniforme ao longo de uma mesma telha. (Figura 10).

⁶⁶ Barro-cerâmica.

⁶⁷ Semicircular.

⁶⁸ Ondulada-2. Os comprimentos de ondas bem como as alturas destas são maiores. (Figura 11).

16	Emb	AFC	M	Recente	Ond-3 ⁶⁹	Ondulada e uniforme
17	Exp	BCR	Méd	Recente	Semic.	Ondulada e desuniforme em ambas as dimensões do telhado. Telha cumeeira paulista.

Quadro 7 – Diferenciações na geometria da STF (seção transversal de fluxo) dos diferentes tipos de telhas e de SCE de diferentes materiais.

Material Te-Te	Prédio	Descrição
AFC	A maioria dos prédios da área estudada.	Ondulada-1. Os comprimentos e alturas são menores. Maior frequência.
	Blocos (1 a 4) de salas-de-aulas.	Ondulada-2. Os comprimentos de onda e alturas são maiores. Menor frequência.
	Escritórios de Engenharia Agrimensura e congêneres.	Geometria diversa. Telha EPS (Poliestireno) (Figura 10).
	Laboratório de Produção de sementes	Ondulada-3. Os comprimentos de onda bem como as alturas destas são bem menores que as do tipo Ondulada-1. De grande frequência, portanto.
BCR	Prédios da EMBRAPA	Diversa, ao longo das duas dimensões do telhado. Telha cerâmica do tipo cumeeira paulista.

O fluxo pluvial ocorre sobre a SCE. Essas superfícies, na área alvo desta pesquisa, são, todas, constituídas de telhas, ou seja, fracionadas em partes iguais (as telhas). Isto estabelece uma grande descontinuidade nessa superfície. Estas são, claro, fatores de resistência ao fluxo pluvial, pois determinam turbulência – perda de energia – sobre o

⁶⁹ Ondulada-3. Os comprimentos de ondas bem como as alturas destas são ainda menores que as do tipo Ond-1. (Figura 13).

fluxo. Essas descontinuidades variam com o tipo de telha e, não raro, no âmbito de um mesmo tipo, caso das telhas de AFC, as quais, conforme o fabricante, são definidas por diferentes geometrias da STF. Quanto maior o número de descontinuidades na SCE maiores são as resistências ao fluxo. Isto é máximo nas telhas do tipo barro-cerâmica, pois são de tamanhos reduzidos e, por isto, demandam um grande número por área unitária de escoamento (de SCE) e, com isto, também uma grande quantidade de descontinuidades. No âmbito das telhas de barro-cerâmica, há, também, variações da resistência ao fluxo pluvial em função do grau de rugosidade superficial, o qual varia em função da granulometria do material, do processo de fabricação e do nível da MDO utilizada. Este diminui, em diferentes graus, da telha de barro (rústica, de baixa qualidade) para a telha cerâmica industrializada (de silte-argila e adjuvantes).

Quadro 8 – Relações entre as condições físicas gerais das SCE estudadas e as de escoamento nessas SCE, existentes na área do CECA/UFAL.

N da SCE	Condição geral da superfície	Condição de fluxo e de escoamento
01	Totalmente (por toda a SCE) encrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação (a calha/canaleta).	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua (ao longo de toda a SCE) e permanente (durante o tempo de fluxo) ao fluxo.
02	Totalmente encrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação (calha/canaleta).	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua e permanente ao fluxo.
03	Totalmente incrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação. Vegetação pontual – espécie de “bolor” – distribuída por toda a SCE.	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua e permanente ao fluxo. Os bolores impõem obstáculos ao fluxo e, com isto, maior resistência, maior turbulência. Há, portanto, junção entre a incrustação generalizada e os bolores, aumentando a resistência ao fluxo, bem como sua turbulência.

04	Totalmente incrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação. Vegetação pontual – espécie de “bolor” – distribuída por toda a SCE.	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua e permanente ao fluxo. Os bolores impõem obstáculos ao fluxo e, com isto, maior resistência, maior turbulência, maior tempo de percurso deste sobre a SCE, menor velocidade e menor vazão pluvial. Isto, em última análise, reduz o volume escoado e, a partir deste, o captado e o armazenado.
05	Totalmente incrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação. Vegetação pontual – espécie de “bolor” – distribuída por toda a SCE.	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua e permanente ao fluxo. Os bolores impõem obstáculos ao fluxo e, com isto, maior resistência, maior turbulência, maior tempo de percurso deste sobre a SCE, menor velocidade e menor vazão pluvial. Isto, em última análise, reduz o volume escoado e, a partir deste, o captado e o armazenado.
06	Totalmente incrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação. Vegetação pontual – espécie de “bolor” – distribuída por toda a SCE.	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua e permanente ao fluxo. Os bolores impõem obstáculos ao fluxo e, com isto, maior resistência, maior turbulência, maior tempo de percurso deste sobre a SCE, menor velocidade e menor vazão pluvial. Isto, em última análise, reduz o volume escoado e, a partir deste, o captado e o armazenado.
07	Totalmente incrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação. STF da telha e da SCE de geometria diversa.	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua e permanente ao fluxo. Hidrologia-hidráulica do fluxo diferenciada em virtude da diversidade geométrica da STF da telha e da SCE.

08	Totalmente incrustada. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação. SCE com materiais diverso (presença de folhas de zinco).	Aumento da rugosidade original. Resistência contínua e permanente ao fluxo. A diferenciação na natureza do material da CE impõe diversidade nos atributos do fluxo pluvial. A partir disto, há modificação nos volumes escoados, de captação e de armazenamento.
09	Totalmente incrustada, embora esparsas. Tanto a superfície de interceptação quanto a de captação. SCE de plástico, antigo. A SCE é irregular em vários pontos; as telhas estão tortas e, ou, mal instaladas.	Embora com incrustações generalizadas por toda a SCE, o material plástico impõe rugosidade primordial diferente daquela das telhas de AFC. A resistência ao fluxo, portanto, deve ser menor que aquela das superfícies de AFC.
10	Totalmente incrustada. Presença grande quantidade de restos de vegetação (principalmente folhas), chegando a forma um espesso colchão nas calhas das telhas (exatamente o local de escoamento).	Aumento da rugosidade original, pela incrustação generalizada. Impedimento ao fluxo pluvial pelo grande acúmulo de vegetação. Grande redução dos volumes escoado, captado e armazenado.
11	Processo de incrustação – ainda em evolução – generalizada em ambas as superfícies do telhado (superior e inferior).	Aumento – ainda crescente – da rugosidade original. Aumento temporal da resistência ao fluxo pluvial. Aumento, correspondentemente, da redução dos volumes escoado, captado e armazenado.
12	SCE totalmente incrustada. Tanto a parte convexa (superior, concavidade para baixo) quanto a côncava (inferior, concavidade para cima, e de escoamento/fluxo preferencial).	Aumento da rugosidade original, pela incrustação generalizada. Impedimento ao fluxo pluvial pelo grande acúmulo de vegetação. Grande redução dos volumes escoado, captado e armazenado.

13	SCE com vários graus de incrustação, predominando o grau mais elevado. Há telhas de diferentes tempos de utilização.	Diferentes graus de rugosidade, predominando o correspondente à incrustação mais avançada (mais intensa) da SCE. Ocorre, portanto, diferentes processos de fluxo pluvial, em função das diferentes “idades” das telhas. Contudo, predomina aquele correspondente ao de incrustação mais intensa.
14	SCE com processo avançado de incrustação em toda a sua extensão. Telhas cerâmicas (tipo cumeeira paulista) de baixa qualidade. Grande quantidade de material vegetal depositado (principalmente folhas). SCE de geometria muito irregular em ambos os sentidos.	Rugosidade em expansão, tanto areal quanto em intensidade. Grande resistência devido ao obstáculo imposto pela grande quantidade de depósitos vegetais. Elevada redução do fluxo e dos volumes escoado, captado e armazenado.
15	Toda a SCE com incrustação generalizada e intensa. Também ocorrem acúmulo pontuais de depósitos vegetais (principalmente folhas). SCE de geometria diferenciada.	Acréscimo acentuado da rugosidade (relativamente à do material de constituição da telha) por toda a SCE. Redução do fluxo sobre toda a superfície e correspondente redução dos volumes escoado, captado e armazenado.
16	SCE com baixo grau de incrustação. CE recente. SCE de geometria diferenciada.	Grau de rugosidade próximo ao original, isto é, do material de constituição da telha. A geometria da STF do conjunto Te-Te favorece o fluxo preferencial, na medida em que o subdivide em mais jatos. Isto deve aumentar os volumes escoados, captados e armazenados.
17	SCE com processo avançado de incrustação em toda a sua extensão. Telhas cerâmicas (tipo	Rugosidade em expansão, tanto areal quanto em intensidade. Redução do fluxo e dos volumes escoado, captado e

	cumeeira paulista) de baixa qualidade. SCE de geometria muito irregular em ambos os sentidos.	armazenado. Na perspectiva de implantação de um PAC, há necessidade de se estudar as relações entre as SCE nessa condição vs SCE na condição nova vs as disponibilidades vs as demandas. É um estudo caso-a-caso.
--	---	---

5 CONCLUSÕES

Na área de edificações do CECA/UFAL, alvo – caso de estudo – desta pesquisa, foi verificado que:

- I. A grande maioria das SCE da área do CECA/UFAL sofrem efeitos diretos das correntes de ar e dos ventos, pois são superfícies expostas, abertas.
- II. Ocorrem cinco padrões de SCE bem definidos: (01) o AFC (Amianto-Fibrocimento), (02) o BCR (Barro-cerâmica), (03) plástico e (04) vidro e outros. O padrão AFC é de predominância muito ampla.
- III. A grande maioria das SCE das edificações do CECA/UFAL são muito antigas, com instalações da década de 1970.
- IV. As declinações geométricas (D%) dos telhados variaram de 0,00 a 21,12 para o padrão AFC e de 19,80 – 25,34 para o padrão BRC.
- V. Quase todas as SCE se encontram com grande e intensa ocorrência de elementos de resistência ao fluxo (incrustações, deposições, obstáculos, etc.). Essas resistências fazem variar os valores do CE_p, da EE_p e, por consequência, dos volumes escoado, captado e armazenado.
- VI. As condições físicas nas quais se encontra as SCE condicionam uma drástica redução dos fluxos, comprometendo significativamente a disponibilidade de água pluvial.
- VII. Dada à diversidade das condições físicas, geométricas e de fluxo das SCE, há necessidade de estudos dirigidos para as várias condições dos diversos prédios na perspectiva de um PAC.
- VIII. Há necessidade de se desenvolver atividade de modelo-modelagem-simulação no estudo dos fluxos pluviais em SCE, caso-a-caso.

Independente das finalidades pretendidas, há necessidade de outras pesquisas na mesma temática. Sob a perspectiva da elaboração de um PAC, as pesquisas sobre os fluxos pluviais em SCE precisam de maior aprofundamento.

6 RECOMENDAÇÕES

Sob a égide de um PAC (Programa de Aproveitamento de Água de Chuvas) – principalmente em um Campus Universitário – há necessidade de efetuar-se os seguintes estudos na área do CECA/UFAL:

- I. Verificação do grau de percepção e de aceitação da utilização de água de chuvas pelos humanos que labutam no local;
- II. Determinação dos volumes pluviais nas diversas condições de SCE existentes no local;
- III. Temperatura média diária, relacionadas às várias naturezas físicas das SCE existentes;
- IV. Valores do albedo local para as diversas SCE;
- V. Demandas e consumos diários de água para as diversas atividades humanas, animais e vegetais, atentando para a sazonalidade de ambos;

7 REGISTRO

Esta pesquisa, em todas as suas fases, foi efetivada sem nenhum recurso adicional. Sem nenhum financiamento. Contou, apenas, com os recursos dos próprios idealizadores e executores, num grande esforço coletivo entre os Acadêmicos (Professores, Alunos e Funcionários).

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto e execução de telhados com telhas cerâmicas tipo francesa**. Rio de Janeiro, jun. 1983. (NBR 8039).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Componentes cerâmicos — Telhas — Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, jun. 1983. (NBR 15310).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15.527. **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins potáveis – Requisitos** Rio de Janeiro, 2007.

AVIS, R. e AVIS, M. **Essential Rainwater harvesting: a guide to home-scale system design**. New Society Publishers. Canadá. 2019.

BESERRA, M. M. et al. **Avaliação da qualidade de telhas cerâmicas comercializadas na Cidade de Mossoró-RN, conforme a NBR 15310/2009**. ENCONTRO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO (CONiDiS), 2, 8 a 10 de Novembro de 2017, Campina Grande-PB. www.conidis.com.br ; Disponível em: <https://www.editorarealize.com.br/edicao/detalhes/anais-ii-conidis>; Acesso em: 13.12.21.

ERRACAVALCANTI, N. B. **Efeito do escoamento da água e chuva em diferentes coberturas**. *Engenharia Ambiental – Espírito santo do Pinhal*, v.7, n.4, p.201-210, out./dez., 2010.

FREITAS J. J. de S. O. de, SILVA, E. H. B. C. e VELOSO, V. V. B. G. **Análise comparativa entre o método racional e SCS-CN diante do processo de escoamento superficial em telhados cerâmicos de sistemas de coleta de água de chuva na cidade de Feira de Santana-BA**. Cong. Bras. De Enga. Sanitária e Ambiental, 30, 2019.

GOMES, U. A. F. et al. **A captação da água de chuva no Brasil: Novos aportes a partir de um olha internacional**. Rev. Bras. De Rec. Híd., 19(1), Jan/Mr, 2014.

GOULD, J. e NISSEN-PETERSEN, E. **Rainwater catchment systems for domestic supply; Dsign, construction and implementation**. PRACTICAL ACTION Publishing, Warwickshire, UK. 1999.

LIMA, F. J. N. de et al. **Análise da qualidade das telhas produzidas na Cidade de Limoeiro do Norte-CE.** CONGRESSO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA (CONTEC'2018), Maceió-AL, 21-24/08/2018.

LUIZ, N. F. et al. **Variedades de telhas encontradas no mercado.** Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.16, n.24, p.2285-2230, 2019.

LYE, D. J. **Rooftop runoff as a source of contamination: A review.** Science of the total environment 407: 5424-5434. 2009.

MUNIZ-GAAL, L. P. et al. Eficiência térmica de materiais de cobertura. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 503-518, jan./mar. 2018.

NORMAS PARA INCLINAÇÕES DE TELHADOS. Disponível em: <http://www.ew7.com.br/projeto-arquitetonico-com-autocad/index.php/tutoriais-e-dicas/81-normas-para-inclinacoes-de-telhados.html>; Acesso: 22.11.21.

RIBEIRO A. K. M. e MARINOSKI, D. **Estudo sobre materiais para coberturas utilizadas em sistemas de aproveitamento de águas pluviais residenciais.** Mix Sustentável, Florianópolis, v.6, n.2, p.53-66, mai., 2020.

SHCEIBEL, C. H. Dados de medidas a partir de coordenadas geográficas WGS 84. Rio Largo, Alagoas, jun., 2018

SILVEIRA, A. et al. **Influência da intensidade de precipitação na geração de escoamento em telhados cerâmicos: experimentos em laboratório sob chuva simulada.** Eng Sanit Ambient, v.23, n.4, p.751-756, jul./ago., 2018.

VERDADE, J. H. de O. **Aproveitamento de água das chuvas e reutilização de águas cinzentas.** Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. 2008. (Dissertação de Mestrado).

VOHLAND, K. e BARRY, B. **A review of in situ rainwater harvesting (RWH) practices modifying landscape functions in African drylands.** Agriculture, Ecosystems and Environment, 131, 119-127, 2009.

ZAGELOW, A. **Rainwater harvesting and use. A guide. Understanding the basics of Rainwater harvesting.** Consulting & design LLC. 2014.

