

ANÁLISE DO CONFORTO HIGROTÉRMICO EM UM EDIFÍCIO VERTICAL A PARTIR DA CERTIFICAÇÃO AQUA-HQE

**Vanessa De Conto,
Universidade Federal de Santa Maria,
vanedeconto@hotmail.com**

**Ricardo Busanello Junior,
Universidade Federal de Santa Maria,
ricardo_busanello@hotmail.com**

**Janis Elisa Ruppenthal,
Universidade Federal de Santa Maria,
janis.rs.br@gmail.com**

**Ana Elisa Souto,
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM,
anaearq@gmail.com**

RESUMO

O conceito de conforto higrotérmico de uma edificação, corresponde em verificar se as condições internas dos ambientes que a compõem, satisfazem os requisitos e critérios esperados pelos seus usuários quanto ao conforto térmico desses espaços. Essa pesquisa tem como objetivo analisar o conforto higrotérmico de uma edificação residencial vertical multifamiliar na cidade de Santa Maria – RS a partir dos critérios da metodologia contida na certificação brasileira Alta Qualidade Ambiental (AQUA-HQE) – categoria 8. Inicialmente, apresenta-se as características do projeto arquitetônico do edifício vertical estudado, a aplicando nove requisitos contidos em quatro categorias do AQUA-HQE. Nesse sentido, a pesquisa buscou referências para avaliar o conforto higrotérmico nas normas NBR 15.575 (2013), NBR 15.220 (2005), bem como no Regulamento Técnico de Qualidade (RTQ-R). A metodologia empregada baseia-se em análise primária, através de cálculos, concluindo que a edificação atende os requisitos mínimos de conforto higrotérmico.

Palavras-chave: Projeto arquitetônico; AQUA-HQE; Conforto Higrotérmico.

1 INTRODUÇÃO

A incorporação de práticas sustentáveis na construção civil apresenta-se como tendência de mercado, visto que diferentes agentes, tais como: (i) governos; (ii) consumidores; (iii) investidores, e; (iv) associações alertam, estimulam e pressionam o setor da construção a incorporar essas práticas durante o processo de projeto, além das diretrizes da Agenda 2030. Conhecer as certificações utilizadas na construção, representa conhecer o que tem sido aplicado no mercado e para onde está se direcionando o futuro (RODRIGO, 2011).

Dessa forma, a sustentabilidade na construção civil caracteriza-se como um desafio que vem ganhando força através do desenvolvimento de novas técnicas, normas e certificações, contribuindo para um maior desempenho do ambiente construído (OLIVEIRA, 2014).

Nesse contexto, destacam-se os processos de certificação *greenbuilding* que estão sendo aplicados mundialmente, situação em que o Brasil, segundo o *Green Building Council* Brasil (2015), segue influências norte americanas, as quais valorizam a racionalização do uso da água e energia. Entre os selos aplicáveis nacionalmente, destaca-se o *Leadership in Energy and Environmental Design* - LEED, Selo Casa Azul, Eficiência Energética em Edificações - PROCEL EDIFICA e Alta Qualidade Ambiental – AQUA-HQE (BUENO, 2010; DE CONTO, 2017).

Uma das certificações condizentes à conjuntura da construção no Brasil e objeto principal dessa pesquisa, é a certificação AQUA-HQE, por ser nacional e seguir critérios em acordância com as normas brasileiras. A certificação também propõe um sistema de gestão que envolve o tripé da sustentabilidade, ou seja, engajamento econômico, social e ambiental (FUNDAÇÃO CARLOS ALBERTO VANZOLINI, 2016). Além disso, um estudo comparativo entre demais certificações, concluiu que o AQUA-HQE é um dos métodos mais completos quanto aos requisitos que utiliza, com a adaptação para as condições climáticas brasileiras e com o uso de normas e 44 legislações nacionais

O referencial técnico do Processo AQUA-HQE consiste em uma adaptação do método francês *Démarche HQE* e possui vinculação com a Universidade de São Paulo (USP). A coordenação técnica da adaptação dessa certificação foi feita com o amparo de um grupo de professores e pesquisadores do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP. O referencial técnico está estruturado na Qualidade Ambiental do Edifício

(QAE), que compreende 14 categorias para avaliar o desempenho da edificação sob o ponto de vista sustentável. Cada categoria subdivide-se em subcategorias, que, por sua vez, são compostas de critérios, os quais exprimem as expectativas para o empreendimento (FCAV, 2016).

O estudo de um edifício residencial, sob escopo de princípios ambientais, se faz necessário a fim de reduzir o impacto ambiental dos empreendimentos, frente a um desenvolvimento sustentável, assegurando conforto, saúde e economia aos usuários. Desse modo, esse trabalho aborda questões pertinentes à sustentabilidade na construção civil, tendo como cerne deste texto a certificação AQUA e suas categorias avaliadas através de um estudo de caso.

O empreendimento escolhido para esse estudo foi um residencial multifamiliar de alto padrão, e a categoria da certificação AQUA-HQE escolhida para a análise aborda o tema conforto higrotérmico. Salienta-se, que essa pesquisa compreende as fases de projeto e construção. A fase de projeto foi entendida como uma atividade integrante da realização do empreendimento, responsável pela definição de características construtivas e tecnológicas que são consideradas durante a obra, preponderantes para utilização e operação do edifício. Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo geral a avaliação dos critérios da Categoria 8 – Conforto Higrotérmico, a qual compõe a certificação AQUA-HQE, em um edifício multifamiliar de alto padrão, localizado na cidade de Santa Maria – Rio Grande do Sul.

2CONFORTO HIGROTÉRMICO

O conceito de conforto higrotérmico de uma edificação, adotado por Gringoletti (2010), corresponde em verificar se as condições internas dos ambientes que a compõem, satisfazem os requisitos e critérios esperados pelos seus usuários quanto ao conforto térmico desses espaços. Segundo a NBR 15.575, um ambiente projetado de forma adequada deve contribuir para a qualidade da saúde física e psicológica de seus usuários (NBR 15575, 2013).

Para a avaliação técnica da certificação AQUA-HQE, o nível higrotérmico é definido pela porcentagem de vapor de água que o ar absorve comparada ao máximo que pode ser absorvido em uma dada temperatura. Desse modo, uma das funções das paredes de vedação de uma edificação é proteger os espaços internos das condições adversas do ambiente exterior, denominadas cargas higrotérmicas. Tais cargas sofrem a ação dos seguintes elementos

naturais: (i) radiação solar; (ii) chuva incidente; (iii) umidade ascensional proveniente do solo, e; (iv) trocas de calor e de vapor de água entre a superfície da parede e o ambiente (JORNE, 2010).

O desenvolvimento de um projeto arquitetônica que respeite as características climáticas da região em que será implantado, deve apresentar um nível de higrometria entre 30% e 70%. Existem várias estratégias projetuais utilizadas por arquitetos que contribuem para a otimização do ambiente construído e seu conforto. Uma delas é implantar a edificação no lote respeitando a zona bioclimática em que ele pertence. O Brasil é dividido em oito zonas bioclimáticas e a cidade de Santa Maria localiza-se na zona bioclimática dois. A escolha de materiais com transmitância térmica adequada e o desenvolvimento de estratégias projetuais que priorizem os condicionantes do terreno, como luz e ventilação natural, são elementos importantes que devem ser levados em consideração no momento do desenvolvimento projetual. Além de estratégias de apropriação de recursos naturais, o projeto pode prever a instalação de sistemas mecânicos de ventilação, umidificação e refrigeração de ambientes.

Desse modo, as cargas higrotérmicas no interior das edificações são influenciadas pela maneira com que seus usuários se apropriam desses espaços. Segundo Barreira (2010), uma família de quatro integrantes pode contribuir para a evaporação de até dez litros de água por dia. Esta umidade pode ser reduzida pela ventilação natural ou por dispositivos mecânicos, a fim de garantir um conforto higrotérmico, evitando a formação de bolores e fungos nas superfícies das paredes e de doenças respiratórias.

Nesse trabalho, a categoria em questão, aborda os temas pertinentes ao conforto higrotérmico e verifica como esses fatores afetam a envoltória da edificação e conseqüentemente o conforto interno. Nesse sentido, a categoria analisa as decisões durante o processo de projeto da edificação e como essas contribuem para a adequação da certificação AQUA-HQE.

3PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O método utilizado para este trabalho é o estudo de caso. Segundo Yin (2010), essa estratégia vem de encontro a necessidade de planejamento e análise de dados, além de fornecer os parâmetros necessários para sua coleta. Em consonância com esse posicionamento, Miguel (2010), argumenta que o estudo de caso é uma forma empírica de

investigação de fenômenos atuais no contexto da vida real, considerando seu histórico.

A edificação multifamiliar que compõem esse trabalho, possui uma área total construída de 7.201,33 m² distribuídas em onze pavimentos. Desses, sete são pavimentos tipo, cada um com cinco unidades habitacionais (UH) por andar e mais dois apartamentos de cobertura, totalizando 37 UHs. Os apartamentos variam entre dois e quatro dormitórios. A área de cada apartamento possui entre 80 a 208 m², todos com acabamento de alto padrão. A Figura 1, apresenta de forma esquemática a planta do pavimento tipo e cobertura, com marcação das áreas molhadas.

Figura 1: Planta do pavimento tipo e cobertura com marcação das áreas molhadas – cozinha e área de serviço



Fonte: Acervo da construtora

O empreendimento teve início em fevereiro de 2014, sendo entregue em março de 2019. A coleta e análise dos dados que compõem essa pesquisa foi realizada durante o ano de 2018 no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria. Na ocasião, a edificação estava na fase de acabamento, com 50% dos serviços concluídos.

Figura 2: Edificação em construção e simulação do projeto concluído



Fonte: Acervo da construtora

A pesquisa utilizou como referência para a avaliação, a Categoria 8 da certificação AQUA-HQE como método de verificação do desempenho higrotérmico e como as decisões tomadas durante o processo de projeto contribuem para a sustentabilidade do edifício vertical estudado. Todos os critérios foram analisados durante a fase de execução do projeto, como exigido no referencial técnico de avaliação para edifícios residenciais em construção. A pesquisa foi delimitada pelo estudo da viabilidade de aplicação das categorias da certificação. Para a análise da conformidade do conforto higrotérmico conforme exigido pelo AQUA-HQE foram utilizados diferentes recursos: (a) análise documental do empreendimento; (b) projeto arquitetônico; (c) dados obtidos a partir de visitas *in loco*; (d) utilização do *software AutoCAD 2017*; (e) *softwares* de modelagem3D; e, (f) levantamento de informações junto com arquitetos, engenheiros e responsáveis pelo desenvolvimento e execução do projeto.

Assim como a certificação nacional Selo Casa Azul, as exigências do AQUA-HQE são divididas em categorias. Cada categoria possui critérios de avaliação que instruem o que deve ser analisado para o seu cumprimento. As 14 categorias do AQUA-HQE estão divididas em quatro temas: (a) energia e economia; (b) conforto; (c) saúde e segurança; e, (d); meio ambiente. A categoria 8, está compreendida no tema Conforto.

Para a análise do edifício vertical em questão, foi elaborado um quadro avaliativo baseado no referencial técnico da AQUA-HQE. A Categoria 8 possui quatro critérios com requisitos específicos em cada um. O Quadro 1 apresenta a organização do *checklist* avaliativo e qual foi o nível de desempenho alcançado em cada critério.

Quadro 1: Quadro utilizado para análise da categoria 8 – conforto higrotérmico

CATEGORIA 8 – CONFORTO HIGROTÉRMICO				
Critério-1	Implementação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico de verão e inverno	Nível de desempenho		
		Base	Não Conforme	Não avaliado
Requisitos	Medidas arquitetônicas adotadas para proteção ótima quanto ao sol e o calor.	X		
	Medidas adotadas para empregar de maneira ótima o potencial bioclimático aplicado ao empreendimento.	X		
	Realização de estudo aerodinâmico para identificar as melhores soluções por meio de simulação computacional.			X
	Por meio de concepção arquitetônica, o empreendedor descreve de que maneira favorece boas condições de conforto higrotérmico no Verão e Inverno.	X		
Critério-2	Conforto em período de inverno			
Requisitos	Atendimento ao desempenho térmico mínimo para condições de Inverno da ABNT NBR 15575.	X		
	Percentual de horas ocupadas (POC) a partir do método de simulação do regulamento RTQ-R publicado pelo Inmetro/Procel. - POC \geq 80% - Explicar o percentual de horas de desconforto de inverno e de verão.			X
Critério-3	Conforto em período de Verão			
Requisitos	Atendimento ao desempenho térmico mínimo para condições de Verão da ABNT NBR 15575.	X		
	Percentual de horas ocupadas (POC) a partir do método da Simulação do regulamento RTQ-R publicado pelo Inmetro/Procel. - POC \geq 80% - Explicar o percentual de horas de desconforto de inverno e de verão			X
Critério -4	Medida do nível de higrometria			
Requisito	Equipar cada UH com um termo - higrômetro. O empreendedor fornecerá as explicações necessárias dos dados nos mostradores no guia destinado aos futuros ocupantes.		X	

Fonte: Elaborado pelos autores – baseado na certificação AQUA-HQE

De acordo com o referencial técnico, para cada critério avaliado em cada uma das 14 categorias da certificação, são definidos quatro níveis de desempenho: (a) MP: Melhores Práticas; (b) BP: Boas Práticas; (c) B: Base (nível mínimo para possibilidade de certificação AQUA-HQE); (d) e NC: Não conforme (quando o nível B não for atingido). Para a análise proposta nesse trabalho, foi incluída a opção Não Avaliada (NA) para quando o requisito

avaliado não foi contemplado no projeto ou necessita de recursos tecnológicos específicos, como *softwares* e aparelhos de medição. Desse modo, as medições de desempenhos específicas foram feitas através de cálculos – modo primário, especificados nas normas utilizados na certificação AQUA-HQE e com o apoio de *softwares* como *AutoCAD* e *REVIT*.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Dentro dos nove requisitos analisados e apresentados no quadro 1, três foram classificados como Não Avaliados e seis puderam ser integralmente avaliados, os quais cinco atingiram o nível de sustentabilidade base (B) e um o nível não conforme (NC).

O atendimento do critério 1 deve ser considerado sem prejudicar outros benefícios trazidos pelo sol e o calor como, por exemplo, o conforto em estações de temperaturas extremas e opostas, inverno e verão ou o conforto visual. Exemplos de medidas arquitetônicas sugeridas pela certificação são o cuidado com a orientação das aberturas e a utilização de proteções solares fixas e móveis.

O projeto analisado inclui o uso de esquadrias de estrutura metálica branca de três tipos: basculante, janela de correr com persiana e *maxim-ar*. As do tipo basculante foram utilizadas unicamente na caixa das escadas. As janelas com persianas, foram utilizadas nos dormitórios, salas de estar e jantar. Nesse modelo, o usuário pode escolher o nível de incidência de luz de zero a 100% e a taxa de ventilação de zero a 50% em relação a área da janela. Nos banheiros, foram utilizadas janelas tipo *maxim-ar*, com taxa de ventilação de 30% a 100%.

Para a verificação desse quesito foram utilizados os parâmetros propostos na NBR 15575, que estabelece iluminação de 16% em relação a área do piso do cômodo. Desse modo, o primeiro requisito (Medidas arquitetônicas adotadas para proteção ótima quanto ao sol e o calor), atingiu no nível base. Quanto à orientação solar, todas as salas e dormitórios apresentam janela tipo persianas e estão orientados a nordeste e noroeste. Satisfazendo assim a NBR, explorando o potencial bioclimático do terreno. O projeto não conta com estrutura de sombreamento planejada na envoltória do prédio, como beirais, abas ou brises. No entanto, as aberturas das salas de todos os tipos de UHs do prédio, contam com sacada coberta projetadas além do alinhamento das paredes externas, variando de 1,05 a 0,65 metros, o que também projeta uma máscara de sombra independente da estação do ano. Os apartamentos de

cobertura também contam com um beiral de 60 centímetros nas aberturas dos dormitórios.

Figura 3: Sombreamento das aberturas das salas e dormitórios da cobertura



Fonte: Acervo da construtora, adaptada pelos autores.

Desde modo, evidencia-se que das quatro recomendações da certificação para atendimento do critério 1, o projeto contempla três. O requisito Realização de estudo aerodinâmico para identificar as melhores soluções por meio de simulação computacional, necessita de medições e simulações específicas no *software Energy Plus*, não contemplados nesse trabalho. Desse modo, o projeto arquitetônico, respeita as características bioclimáticas do lote, incluindo estratégias para aproveitando dos condicionantes naturais, como iluminação e ventilação.

Quanto ao critério dois, conforto em período de inverno, utilizou-se os parâmetros da NBR 15575. A norma sugere dois métodos: da simulação ou o da medição. No verão, o valor máximo diário de temperatura do ar interno, em ambientes de permanência prolongada (salas e dormitórios) e sem a presença de fontes de calor (ocupantes, equipamentos), deve ser menor ou equivalente ao máximo valor diário da temperatura externa. No inverno, ponto de avaliação desse critério, a temperatura interna para ambientes de longa permanência deve ser equivalente ou maior do que a temperatura do ar externo acrescida de 3 graus Celsius.

Entretanto, primeiramente para se avaliar o desempenho térmico da edificação, deve-se conhecer os parâmetros térmicos da mesma, os quais são transmitância térmica (U), capacidade térmica (CT) e absorvância solar (α). Tais variáveis, são calculadas para a envoltória da edificação, correspondendo as paredes externas e as tipologias de cobertura. Os resultados devem ser valores atendidos de acordo com a zona bioclimática em que a edificação está localizada, conforme estabelecidos a partir de índices da NBR 15.575, tendo o manual de cálculo de tais parâmetros térmicos exposto na NBR 15.220-3. Também são

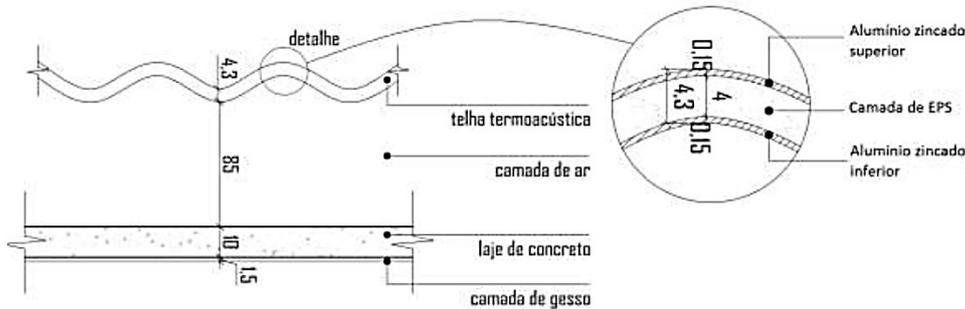
considerados para a verificação, a área de abertura para ventilação, os elementos de sombreamento e a diferença entre as temperaturas interna e externa da edificação (este último item é abordado nas avaliações por simulação ou uso de protótipos). Ao final das análises pode-se classificar o desempenho térmico da edificação como insatisfatório, mínimo (M), intermediário (I) ou superior (S).

Para as paredes externas são exigidos valores máximos de transmitância térmica de 2,5 W/(m².K) e valores de capacidade térmica superiores a 130 KJ/m².K. Para a cobertura, é exigido um valor máximo de transmitância térmica de 2,3 W/(m².K) e a capacidade térmica não é considerada para a Zona Bioclimática 2. Os cálculos para estes atributos encontram-se no APÊNDICE A e APÊNDICE B, e seguem os procedimentos constantes na NBR 15220-2.

O sistema construtivo, os materiais empregados e suas respectivas espessuras apresentam influência direta na grandeza dessas variáveis térmicas. A construção estudada possui estrutura do tipo concreto armado. Para paredes internas, utilizou-se o bloco cerâmico vazado de dimensões 14x19x24 centímetros considerando mais dois centímetros de argamassa de gesso para cada lado. Para as paredes externas, as quais fazem parte da envoltória do edifício e estão suscetíveis as condições climáticas, utilizou-se o bloco cerâmico vazado de dimensões 19x19x24 centímetros, acrescidos cerca de 2,5 centímetros de reboco externo e dois centímetros de argamassa de gesso internamente. Um terceiro bloco do tipo cerâmico maciço com dimensões 18x11x5,5 centímetros, foi utilizado unicamente na construção da caixa das escadas corta fogo, a qual não influencia para o conforto higrotérmico dos apartamentos. Efetivamente, as paredes internas e externas prontas, possuem respectivamente espessuras aproximadas de 18 e 23,5 centímetros.

Dando continuidade a lógica de avaliação da envoltória do prédio, sobre a composição da cobertura utilizou-se três tipologias: (1) uma laje maciça de concreto, impermeabilizada e sem estrutura de telhado para a laje do reservatório superior e casa de máquinas; (2) uma laje maciça de concreto, não impermeabilizada e com revestimento cerâmico, para as sacadas dos apartamentos tipo e de cobertura, as quais são todas cobertas por uma laje; e (3) uma laje maciça de concreto, não impermeabilizada e com estrutura de telhado, como sistema de telhado para os apartamentos de cobertura (Figura 4).

Figura 4: Sistema de telhado



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os dois primeiros tipos, não influenciam para a avaliação de conforto térmico adotada pela NBR 15.575. O terceiro tipo, demonstrado na figura 3, por sua vez, teve suas variáveis térmicas calculadas no APÊNDICE B, e considerou os dados de projeto descritos na figura: 10 centímetros de laje maciça de concreto, acrescido de cerca de 1,5 centímetros de argamassa de gesso no teto do apartamento, 85 centímetros de camada de ar ventilada e telhado termoacústico, composto de uma folha de alumínio zincado. Nos cálculos de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) para a cobertura, foi considerado, em conformidade com a NBR 15.220, o período de verão e o período de inverno. No primeiro, considerou-se o fluxo de ar descendente, devido a tendência de a radiação solar incidir no telhado e passar para as camadas subsequentes podendo chegar ao teto de gesso do apartamento. No inverno, considerou-se o fluxo de ar ascendente, o qual considera a tendência do ar mais aquecido de dentro do apartamento se deslocar em direção ao telhado. Os valores de transmitância térmica (U) e capacidade térmica (CT) obtidos para testificar o atendimento da norma para o residencial, resumem-se na Quadro 3.

Quadro 3: Resultados obtidos para o residencial

Variável	Paredes internas	Paredes externas	Cobertura	
			Verão	Inverno
Transmitância térmica (U) W/(m ² .K)	2,029	1,859	0,663	3,483
Capacidade térmica (CT) KJ/(m ² .K)	163,918	236,530	Não avaliada para ZB 2	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Logo, infere-se que os resultados obtidos são satisfatórios para desempenho térmico nível mínimo para Zona Bioclimática 2. Para a envoltória do prédio, a capacidade térmica (CT) atingiu valores superiores a 130 KJ/(m².K), tanto para paredes internas, quanto para a cobertura. A transmitância térmica (U), para paredes externas e cobertura em período de verão, apresentou valores menores ao máximo exigido, 2,5 W/(m².K). No caso da U da cobertura em período de inverno, o valor obtido estar acima do limite exigido, era o esperado para o sistema de telhado, segundo a NBR 15.220-3. No entanto, o cálculo foi realizado para fins didáticos, como sugere a referida norma, e ultrapassa o valor limite pois considera o ar interno em fluxo ascendente tendo como barreira apenas a laje de 10 centímetros com a argamassa de gesso no forro, excluindo do cálculo a camada de ar e camadas do telhado. Esses resultados estão esclarecidos no APÊNDICE B.

No quesito sombreamento dos vãos das janelas de dormitórios e uso de dispositivos que permitam o controle de sombreamento e escurecimento a critério do usuário, o residencial fará uso de janelas com persiana integrada, além das estratégias de sombreamento elucidadas. Além disso, segundo Cavalcante (2010), para esse tipo de persianas utilizada, de cor clara e espessura aproximada de 0,5 centímetro, o valor de transmitância térmica se aproxima de zero. Fundamenta-se então, que a o desempenho térmico nível M segundo a norma foi atendido de acordo com a análise feita.

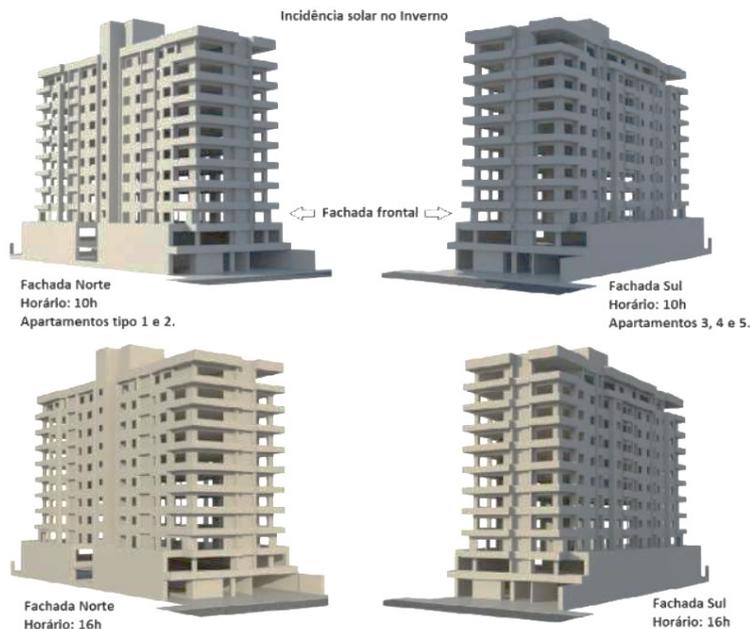
Em caso de análise secundária, através de *softwares* e aparelhos de medição, a avaliação deveria ser separada em situações de verão e inverno, definidas por um dia típico de projeto para a localidade de Santa Maria (RS), conforme exigido pela norma. A edificação deveria ser modelada sem cargas internas, com uma troca de ar por hora (ou 1 troca/h) e o condicionamento de ar não avaliado (NBR 15.575-1, 2013). Desse modo, após todos os cálculos e análises, o requisito foi definido com nível de desempenho base (B).

O segundo item do critério dois, diz respeito ao percentual de horas ocupadas em conforto (POC). Definido, pelo selo PROCEL EDIFICA juntamente com INMETRO, como a razão entre as horas ocupadas com comprovação de conforto e total de horas ocupadas. Para tal, faz-se necessário o conhecimento das trocas higrótérmicas entre os ambientes interno e externo, o que seria possível pelo método da simulação, através da análise computacional (PROCEL EDIFICA, 2013).

Os projetos arquitetônicos do residencial estudo de caso, permitem uma análise adicional, constante na NBR 15.575 e na análise secundária de simulação. Em consonância

com a norma, devem ser considerados todos cômodos da UH e as trocas térmicas referidas aos dormitórios e salas, as quais são de maior permanência dos moradores. Inclui-se na análise pelo menos um quarto ou sala com duas paredes expostas ao ambiente externo, sendo com orientação seguindo os seguintes critérios: (i) inverno com janela voltada para o sul e a outra parede exposta voltada para o leste; (ii) verão com um janela orientada para oeste e a outra parede exposta para o norte; (iii) obstrução de elementos externos: janelas e paredes expostas sem presença de edificação ou vegetação que modifiquem a incidência de sol e/ou vento. Seguindo a linha de pensamento para período de Inverno, a Figura 5 ilustra a incidência solar no residencial, simulado com ajuda do *software REVIT* para horários de manhã e tarde. O apartamento escolhido para a análise seria o tipo 3, devido a duas paredes da sala estarem expostas ao ambiente externo, uma para o Sul e outra para o Leste como sugere a norma.

Figura 5: Simulação de incidência de sol no Inverno



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando o *software*Revit.

No entanto, a norma exige que nessas paredes e janelas expostas não haja a interferência de outras edificações, vegetação ou dispositivo que modifique a incidência de sol. Propriamente, não apenas no apartamento tipo 3, como nos tipos 1, 2 e 5, os únicos cômodos com duas paredes expostas ao ambiente externo são as salas, que por sua vez, têm

suas paredes protegidas pela laje da sacada do apartamento superior. Em vista disso, as análises das trocas térmicas nos cômodos de longa duração não poderiam ser avaliadas para o período de Inverno e Verão, sendo classificadas como Não Avaliado (NA).

O terceiro critério, conforto em período de verão aborda precisamente os mesmos requisitos que o quadro anterior, tendo a única diferença a necessidade da norma para condições de verão. Como já fundamentado, o desempenho térmico nível mínimo de uma edificação, em análise primária para períodos de inverno e verão, têm avaliação integrada pela norma. Analogamente, o percentual de horas ocupadas em conforto (POC) não foi avaliado pelos mesmos motivos sinalizados no item anterior acerca do método da simulação computacional e a necessidade de *softwares* e aparelhos de medição específicos. Desta forma, tem-se o mesmo resultado para o quadro em questão, tendo desempenho térmico mínimo para verão nível base (B), e requisito de POC Não Avaliado.

Desse modo, o quarto e último critério analisado nesse trabalho diz respeito ao nível de higrometria da edificação. O nível higrométrico, relação entre vapor de água que o ar absorve e máximo que pode ser absorvido, ideal para as condições humanas em um ambiente interno, está entre 40% e 60%. O termohigrômetro é o aparelho usado para medir esses fatores. Nesse critério em questão, o AQUA-HQE diretamente com o empreendedor a possibilidade de equipar cada UH com um termohigrômetro. Além disso, há a imposição de que o empreendedor forneça aos futuros ocupantes as explicações pertinentes aos dados mostrados nos termohigrômetros. Em uma conversa com o engenheiro da construtora sobre esse critério e qual seria o posicionamento dela, averiguou-se que os empreendedores envolvidos não dispõem desse tipo de equipamento nos apartamentos, classificando-o como uma possibilidade a ser avaliada a médio prazo pela construtora. Logo, essa exigência da certificação conferiu nível inexistente da certificação.

5 CONCLUSÕES

Dentro dos 9 requisitos abordados pela Categoria 8 – Conforto Higrotérmico, três foram categorizados como Não Avaliados no projeto e seis puderam ser integralmente avaliados. Desses, cinco atingiram o nível de sustentabilidade base (B) e um o nível não conforme (NC). No que se refere ao requisito NA, ao longo da realização do trabalho foram encontrados impasses na aplicação direta do referencial teórico da certificação no estudo de

caso. Esses obstáculos encontrados atribuem-se especialmente: (i) a alta complexidade técnica de *softwares* de simulação de fenômenos térmicos e aerodinâmicos; (ii) e a falta de dados de entrada para a simulação computacionais, para a cidade de Santa Maria (RS), necessitando de estudos mais aprofundados em laboratórios aparelhados de forma específica para análises aerodinâmicas e conforto ambiental.

No decorrer da avaliação do estudo de caso, foram aplicadas as diretrizes presentes na (i) NBR 15.220 e (ii) NBR 15.575. Significativa parte da aplicação dos requisitos no residencial foi norteadada pela Zona Bioclimática 2 (ZB) onde encontra-se o edifício, detalhadamente fundamentada na NBR 15.220-3. Além disso, a Fundação Vanzolini, em São Paulo, é a única instituição detentora do direito de audição e capacitação para a certificação AQUA-HQE. Desta maneira, as dificuldades e dúvidas encontradas no referencial técnico foram sanadas através do contato com a Fundação Vanzolini, a qual não hesitou em esclarecê-las, perante o fato de que esse trabalho tem propósito de experimentação acadêmica. Por conseguinte, notabilizou-se a complexidade que apenas a Categoria 8 apresenta, perante ao conteúdo científico base para a avaliação que a mesma exige. O que, igualmente, foi determinante para que 33,3% dos requisitos fossem considerados como NA.

O conjunto de medidas arquitetônicas quanto a otimização do potencial bioclimático foi atingida em sua maioria, sendo classificado apenas um item como não conforme (NC), equivalente a não instalação de termohigrômetros nos apartamentos.

Desse modo, o nível base (B) apresentou 55,5% de conformidade de seus critérios, seguindo as recomendações das exigências da certificação AQUA – HQE. Os requisitos obtiveram avaliação rigorosa à norma, e atendimento a mesma já em análise primária através dos cálculos. Logo, entende-se que o sistema construtivo do residencial, bem como os materiais e espessuras adotados para vedação da envoltória, são satisfatórios para o conforto térmico para a cidade de Santa Maria.

Desse modo, esse trabalho analisou de forma análoga e primária, através de cálculos, e com o apoio de *softwares* de modelagem, que o residencial multifamiliar que compôs esse estudo de caso apresenta o Conforto Higrotérmico necessário para a ideal qualidade de vida de seus moradores, atingimento de 55% dos critérios base da classificação global da Categoria 8 – AQUA-HQE. Para estudos futuros, pretende-se a aplicação da mesma categoria com o apoio de simulações de *softwares* como o *EnergyPlus*, recomendado pelo referencial técnico da certificação.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1 Desempenho térmico em edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades**. Rio de Janeiro, 2005.

BUENO, C. **Avaliação de desempenho ambiental de edificações habitacionais: Análise comparativa dos sistemas de certificação no contexto brasileiro**. São Paulo: USP, p. 123, 2010.

CAVALCANTE, R. C. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de descritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho**. São Paulo: USP, 2010.

DE CONTO, V. **A sustentabilidade socioambiental de um empreendimento de habitação de interesse social através da aplicação do selo casa azul caixa**. Rio Grande do Sul: UFSM, p. 137, 2017.

GBCB - Green Building Council Brasil. **Edificações certificadas no Brasil**. 2015. Disponível em: <gbcbrasil.org.br/detalhe-noticia.php?cod=116>. Acesso em 22 junho, 2020.

JORNE, F. J. F. **Análise do comportamento higrotérmico de soluções construtivas de paredes em regime variável**. Lisboa: FCT, 2010.

MIGUEL, P.A.C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 226. 2010.

NORMA BRASILEIRA DE DESEMPENHO - **NBR 15575: Edificações habitacionais de até cinco pavimentos: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://www.caubr.gov.br/wp-content/uploads/2015/09/2_guia_normas_final.pdf>. Acesso em: 12 de julho, 2020.

OLIVEIRA, V. M. **Sistemas de Certificação Ambiental e Norma Brasileira de Desempenho**. Minas Gerais: UFJF, 2014.

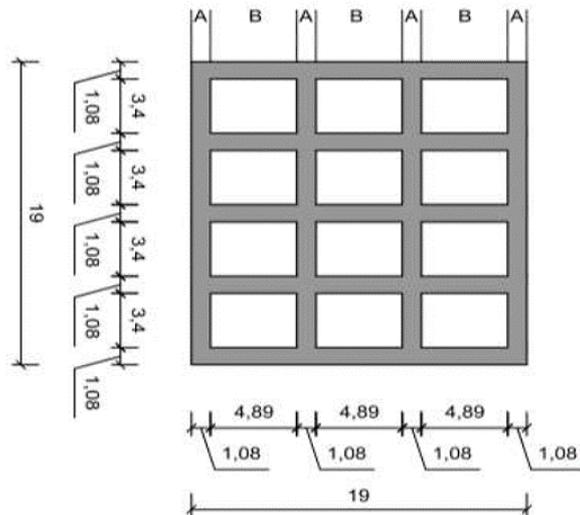
PROCEL EDIFICA; INMETRO. **Manual RTQ-R**. 2013. Disponível em: <pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manualv02_1.pdf>. Acesso em: 12 de julho, 2020.

RODRIGO, A. G. **Gestão de empreendimentos e soluções técnicas para a realização de edifícios sustentáveis certificados pelo processo AQUA**. São Paulo: USP, p. 303 2011.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, p. 212, 2010.

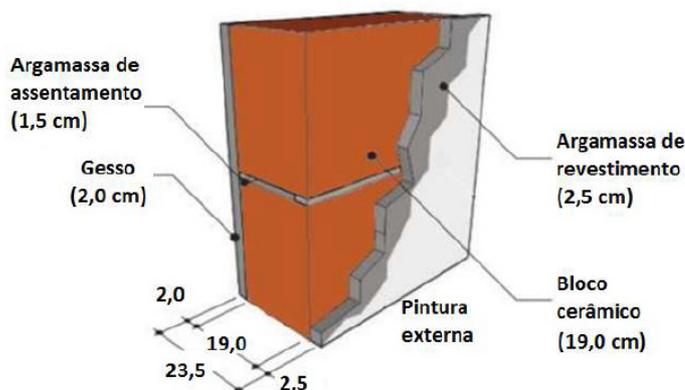
APÊNDICE A – CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DAS PAREDES EXTERNAS COM PINTURA

Seções do bloco cerâmico das paredes externas. As dimensões foram aferidas *in loco*.



Fonte: Desenvolvido pelos autores.

Composição das espessuras de parede externa com pintura



Fonte: Elaborado pelos autores, baseado na NBR 15220.

Os valores das propriedades térmicas dos materiais são os mesmos sugeridos pela NBR 15220-2.

Propriedades	Bloco cerâmico (19x19x24)	Argamassa	Gesso
ρ (kg/m ³)	1957,00	2000,00	1200,00
λ (W/(m.K))	1,05	1,15	0,50
c (kJ/(kg.K))	0,92	1,00	0,84

Fonte: NBR 15220-2 (2008).

Cálculo da resistência térmica (RT)

Seção A (gesso + bloco cerâmico + argamassa de revestimento):

$$A_A = (0,0108 * 0,19) + (0,0108 * 0,02) + (0,0108 * 0,025) = 0,002538 \text{ m}^2$$

$$R_A = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}}$$

$$R_A = \frac{0,02}{0,50} + \frac{0,19}{1,05} + \frac{0,025}{1,15} = 0,242692 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção B (gesso + bloco cerâmico + ar + argamassa de revestimento):

$$A_B = 5 (0,0108 * 0,0489) + (0,0489 * 0,02) + (0,0489 * 0,025) = 0,004841 \text{ m}^2$$

$$R_B = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{cerâmica}}}{\lambda_{\text{cerâmica}}} + 4R_{ar} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}}$$

$$R_B = \frac{0,02}{0,50} + \frac{0,054}{1,05} + (4 * 0,16) + \frac{0,025}{1,15} = 0,753167 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Seção C (gesso + argamassa de assentamento + argamassa de revestimento):

$$A_C = (0,015 * 0,19) + (0,015 * 0,02) + (0,015 * 0,025) = 0,003525 \text{ m}^2$$

$$R_C = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}} + \frac{e_{\text{argamassa}}}{\lambda_{\text{argamassa}}}$$

$$R_C = \frac{0,02}{0,50} + \frac{0,19}{1,15} + \frac{0,025}{1,15} = 0,226956 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Para a parede:

$$R_{\text{PAREDE}} = \frac{(4 * A_A) + (3 * A_B) + A_C}{\frac{(4 * A_A)}{R_A} + \frac{(3 * A_B)}{R_B} + \frac{A_C}{R_C}} = \frac{0,028200}{0,076645} = 0,367930 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_{\text{PAREDE}} + R_e + R_{si}$$

$$R_T = 0,367930 + 0,13 + 0,04$$

$$R_T = 0,537930 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo da transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{0,537930}$$

$$U = 1,858978 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Cálculo da capacidade térmica (CT)

Seção A (gesso + bloco cerâmico + argamassa de revestimento):

$$CT_A = (e * c * \rho)_{gesso} + (e * c * \rho)_{cerâmica} + (e * c * \rho)_{argamassa}$$

$$CT_A = (0,02 * 0,84 * 1200) + (0,19 * 0,92 * 1957) + (0,025 * 1,00 * 2000)$$

$$CT_A = 412,2436 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Seção B (gesso + bloco cerâmico + argamassa de revestimento):

$$CT_B = (e * c * \rho)_{gesso} + (e * c * \rho)_{cerâmica} + (e * c * \rho)_{argamassa}$$

$$CT_B = (0,02 * 0,84 * 1200) + (0,054 * 0,92 * 1957) + (0,025 * 1,00 * 2000)$$

$$CT_B = 167,3838 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Seção C (gesso + bloco cerâmico + gesso):

$$CT_C = (e * c * \rho)_{gesso} + (e * c * \rho)_{argamassa} + (e * c * \rho)_{argamassa}$$

$$CT_C = (0,02 * 0,84 * 1200) + (0,19 * 1,00 * 2000) + (0,025 * 1,00 * 2000)$$

$$CT_C = 450,1600 \text{ kJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

Capacidade térmica total:

$$CT_{total} = \frac{(4 * A_A) + (3 * A_B) + A_C}{\frac{(4 * A_A)}{CT_A} + \frac{(3 * A_B)}{CT_B} + \frac{A_C}{CT_C}} = \frac{0,028200}{0,000119} = 236,5346 \text{ KJ}/(\text{m}^2.\text{K})$$

APÊNDICE B – CÁLCULO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DA COBERTURA

Foram consideradas medidas e o sistema construtivo apresentado na Figura 4.

Propriedade dos materiais utilizados

Propriedades	Concreto	Gesso	Alumínio zincado	EPS
ρ (kg/m ³)	2200	1200	3000	35,00
λ (W/(m.K))	1,75	0,50	220	0,04
c (kJ/(kg.K))	1,00	0,84	0,78	1,42

Fonte: ABNT NBR 15.220 (2008).

Cálculo das condições de ventilação da camada de ar

$$S = (3980 * 5) = 19900 \text{ cm}^2$$

$$A = (5,25 * 39,80) = 208,95 \text{ m}^2$$

$$\frac{S}{A} = \frac{19900}{208,95} = 95,24 \text{ cm}^3/\text{m}^2 \left(\frac{S}{A} \gg 30, \text{ logo a camada de ar é muito ventilada} \right)$$

Cálculos para condições de Verão – Fluxo de ar descendente

Resistência térmica (RT)

Seção A (gesso + laje maciça + ar + alumínio zincado + EPS + alumínio zincado):

$$R_A = \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}} + R_{\text{ar}} + 2 * \frac{e_{\text{alumínio}}}{\lambda_{\text{alumínio}}} + \frac{e_{\text{EPS}}}{\lambda_{\text{EPS}}}$$

$$R_A = \frac{0,015}{0,50} + \frac{0,10}{1,75} + 0,21 + \left(2 * \frac{0,0015}{220} \right) + \frac{0,04}{0,04} = 1,2971 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Resistência térmica total:

$$R_T = R_A + R_e + R_{si}$$

$$R_T = 1,2971 + 0,17 + 0,04$$

$$R_T = 1,5071 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo da transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{1,5071}$$

$$U = 0,6635 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Cálculos para condições de Inverno – Fluxo de ar ascendente

Resistência térmica total:

$$R_T = 2 * R_{si} + \frac{e_{\text{gesso}}}{\lambda_{\text{gesso}}} + \frac{e_{\text{concreto}}}{\lambda_{\text{concreto}}}$$

$$R_T = 2 * 0,10 + \frac{0,015}{0,50} + \frac{0,10}{1,75}$$

$$R_T = 0,2871 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

Cálculo da transmitância térmica (U)

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$U = \frac{1}{0,2871}$$

$$U = 3,4831 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$