

Proposição de Processo para Avaliação da Qualidade do Ar Interior em Edificações Residenciais no contexto do Zoneamento Bioclimático Brasileiro

Proposal of Process for Indoor Air Quality Assessment in Residential Buildings considering the Brazilian Bioclimatic Zoning

Lucas Rosse Caldas, Mestre, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro

lrc.ambiental@gmail.com

Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, Doutor, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura (PROARQ-FAU), Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Mestrado em Arquitetura e Cidade Universidade de Vila Velha – UVV

leopoldobastos@gmail.com

Resumo

No presente artigo, com ênfase no documento francês “Base Nacional de Referência para Qualidade do Ar Interior e o Conforto dos Ocupantes de Edifícios Energeticamente Eficientes” buscou-se orientar o olhar para o contexto brasileiro, e pensar sobre esta questão face às edificações nas distintas zonas bioclimáticas (ZB) do País. Propõe-se um processo de avaliação da Qualidade do Ar Interior (QAI) integrado ao conforto higrotérmico, e a eficiência energética aplicada ao contexto brasileiro. O método utilizado consistiu em pesquisa bibliográfica e documental. Foram estudadas as oito ZB brasileiras, com base nas condições de ventilação natural e a presença dos poluentes normalmente encontrados nas edificações. Edifícios localizados na ZB1 e ZB7 tendem a ser os mais difíceis de atingirem níveis adequados de QAI. Essa pesquisa contribui por apresentar as primeiras orientações e diretrizes para a produção de um documento de referência para a avaliação da QAI de edifícios brasileiros residenciais energeticamente eficientes.

Palavras-chave: Qualidade Ambiental, Qualidade Interna do Ar (QAI), Zonas Bioclimáticas.

Abstract

Based on the French document "National Reference Base for Indoor Air Quality and the Comfort of the Occupants of Energy-Efficient Buildings", the aim of this research was to orient the Brazilian context in order to think about this issue related to buildings in the different Brazilian bioclimatic zones (BZ). We proposed a process of evaluation of Indoor Air Quality (IAQ) integrated to hygrothermal comfort, and energy efficiency applied to the Brazilian context. The bibliographical and documentary research were performed to archive this objective. The eight Brazilian BZ were studied, based on the conditions of natural ventilation and the presence of the pollutants normally found in buildings. Buildings located in BZ1 and BZ7 tend to be the most difficult to achieve adequate levels of IAQ. This research contributes by presenting the first guidelines for the production of a reference document for the evaluation of the IAQ of energy-efficient residential Brazilian buildings.

Keywords: *Environmental Quality, Indoor Air Quality (IAQ), Bioclimatic Zones.*

1. Introdução

Em muitos projetos arquitetônicos a utilização da ventilação natural e/ou mecânica tem sido negligenciada no Brasil, sendo o foco dos projetistas somente a climatização artificial. Na maioria dos casos são utilizados equipamentos de climatização, como os aparelhos do tipo *split* ou de janela, que muitas vezes não permitem uma renovação do ar nos ambientes, o que concorre para uma insuficiente Qualidade do Ar Interno (QAI). Por outro lado, pouco interesse tem sido dado à QAI nas edificações, principalmente ao se relacionar o teor das emissões de poluentes normalmente encontradas no interior das edificações com as condições necessárias de salubridade para os usuários.

A QAI é influenciada por um conjunto de fatores relacionados com a edificação: idade, localização, orientação, tamanho das aberturas, tipos e eficiência dos sistemas de ventilação, tipo de sistema construtivo, revestimentos e acabamentos (SANTOS et al., 2011). Parte importante dessa qualidade está diretamente ligada à forma de ocupação da edificação, o que dependerá do número de vezes que os usuários deixam as janelas abertas, frequência de limpeza, entre outros.

Alguns selos de certificação ambiental bem difundidos internacionalmente, como o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), *Haute Qualité Environnementale* (HQE), dentre outras, possuem em seu escopo de avaliação a QAI do ar como um requisito de avaliação. No entanto, se comparado aos outros critérios ambientais como consumo de energia, água, emissões de poluentes, geração de resíduos, os critérios relacionados à QAI para atendimento aos regimes de construção sustentável desses programas de certificação, correspondem a aproximadamente só a 8% (WEI et al., 2015). Essa pouca atenção dada aos critérios de QAI nas edificações devem estar relacionadas ao desconhecimento desse tema pelos projetistas, assim como pela dificuldade de definir indicadores de projeto (PAGEL et al., 2016). Estes últimos autores definem quatro aspectos fundamentais que o projetista deve observar para contribuir para uma QAI de seus projetos, a saber: (1) Materiais construtivos; (2) Sistemas de ventilação; (3) Presença humana e a funcionalidade do espaço; (4) Contínua avaliação da QAI.

Verifica-se que grande parte dos estudos presentes na literatura se concentra nos poluentes emitidos durante a fase de produção dos materiais, e negligenciam as emissões de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs), que ocorrem posteriormente durante as obras de construção civil e mais adiante aos usuários das edificações (CHAUDHARY; HELLWEG, 2014). Os COVs são normalmente encontrados em alguns revestimentos de pisos, como os vinílicos, colas, tintas, isolantes, produtos de limpeza e inseticidas (OSHA, 2015). Schirmer et al. (2011) revisaram as principais metodologias para a amostragem e avaliação da QAI de ambientes e apresentam os distintos contaminantes encontrados no ambiente construído e seus efeitos à saúde humana.

Os COVs podem ser definidos como substâncias orgânicas que se vaporizam significativamente em temperatura ambiente, devido a suas altas pressões de vapor. No interior de uma edificação os COVs podem ser originários de diversas fontes, tais como: tabagismo, materiais de construção, mobiliários e produtos de limpeza (OSHA, 2015; CHAVES, 2016). Gonçalves (2009) classifica as fontes de emissão dos COVs em úmidas e secas, segundo os materiais de construção. Exemplos do primeiro grupo são as tintas, vernizes e colas, que se caracterizam por elevadas emissões iniciais, seguida por uma diminuição da concentração. Dentre os principais COVs encontrados em ambientes internos

das edificações podem ser citados: formaldeído, acetaldeído, benzeno, tolueno e etilbenzeno. As edificações novas tendem a apresentar uma concentração maior de COV, e que reduz ao longo do tempo (SCHIRMER et al., 2011).

Sabendo da lacuna que existe no Brasil sobre a temática do QAI nas edificações, e as preocupações relacionadas com a eficiência energética, o presente artigo com base em Derbez et al. (2016) procurou contribuir para o tema da QAI através dos seguintes pontos: (1) proposição de diretrizes para a qualidade de ar em edificações brasileiras, considerando avaliação de desempenho e as zonas bioclimáticas; (2) apresentação de um processo de avaliação da QAI integrado ao conforto higrotérmico e eficiência energética.

2. Método

O método utilizado nesta pesquisa consistiu em pesquisa bibliográfica e documental. A pesquisa bibliográfica foi realizada com base na busca de artigos publicados em anais de eventos e periódicos (nacionais e internacionais), como também dissertações e teses defendidas nas universidades brasileiras, como também documentos que tratam dos temas de QAI e ventilação, nacionais e internacionais.

Como não há estudos brasileiros mais aprofundados sobre o tema, foi utilizado como base uma publicação francesa, intitulada: “*Base Nacional de Referência para Qualidade do Ar Interior e o Conforto dos Ocupantes de Edifícios Energeticamente Eficientes*” (DERBEZ et al., 2016), que apresenta uma análise sobre a QAI em edificações consideradas como energeticamente eficientes.

Na pesquisa documental foram utilizadas as principais normas brasileiras relacionadas às edificações, desempenho, eficiência energética e QAI, sendo elas a NBR 15220-3 (ABNT, 2005) e NBR 15575 (ABNT, 2013). Também, foram empregadas as referências técnicas do Programa de Eficiência Energética (PROCEL), o Regulamento Técnico de Qualidade de Edificações Residenciais (RTQ-R). Finalmente foram consideradas as legislações relacionadas ao tema de ventilação e QAI em edificações, em nível nacional, estadual e municipal. Após a revisão dessas referências foram cruzadas as informações relativas à ventilação e QAI em edificações a fim de se obter diretrizes de projeto e proposição de um processo para a avaliação desses temas no contexto brasileiro.

3. Qualidade do Ar em Edificações Energeticamente Eficientes: Diretrizes Francesas

Na França, a partir de 2012, passou a ser exigido que todos os edifícios novos fossem de baixo consumo de energia, a partir do regulamento técnico RT2012. Essa regulamentação se estende a todos os novos projetos de construção e reforma de edificações, ao fixar uma redução do consumo médio de energia primária, para um valor máximo de 50 kWh/m²/ano para fins de aquecimento, água quente sanitária, ventilação, climatização e iluminação (FRANÇA, 2010). É comum neste país, em imobiliárias a apresentação dos apartamentos com o a etiqueta do potencial consumo de energia elétrica, como é apresentado na Figura 1.



Figura 1: Exemplo de apartamento vendido em uma imobiliária em Paris com informações sobre sua eficiência energética. Fonte: acervo pessoal dos autores (2018).

O documento de Derbez et al.(2016), objeto de estudo, é composto dos seguintes itens: Caracterização do entorno e dos edifícios avaliados, Sistemas construtivos, Isolamentos térmicos, Permeabilidade ao ar pela envoltória, Desempenho energético do edifício, Marcenaria, Vidros e proteção solar, Revestimentos, Sistemas de aquecimento, Ventilação, Consumo de energia (elétrica, água quente, cocção, exaustão), e Perfil dos ocupantes.

Foram pesquisados 43 edifícios residenciais, sendo que 28 são recentes (construídos entre 2008 e 2012) e 15 são antigos, (construídos entre 1876 e 1988), mas que passaram por obras de renovação energética no período 2010-2013. De um total de 72 habitações investigadas nestes 43 edifícios: 55 são habitações coletivas e 17 são habitações unifamiliares. Os edifícios pesquisados estão localizados em 6 das 8 zonas climáticas definidas pela regulação térmica francesa de 2005. Foram pesquisados edifícios públicos e privados.

Os edifícios avaliados foram selecionados de acordo com seu entorno, sendo que dois terços estão localizados a 500 m de uma faixa de tráfego rodoviário e o restante próximos a obras de construção e demolição.

Metade dos edifícios é construída com fachadas de materiais mais resistentes, como alvenaria tradicional em concreto, tijolo ou blocos e a outra metade com fachadas leves (madeira, metal ou estruturas mistas). Quase todas as habitações unifamiliares têm fachadas leves (incluindo estrutura de madeira) em 94% dos casos, enquanto os edifícios multifamiliares têm fachadas que utilizam alvenaria ou concreto em 81% dos casos.

Dois tipos de sistemas de isolamento térmico predominam nas fachadas: exterior ou interior. Diversos materiais isolantes são utilizados: mineral (lã mineral), natural (fibra de madeira, celulose, palha), e materiais sintéticos (poliestireno expandido). Os pisos e coberturas também recebem isolamento térmico.

O nível médio de permeabilidade ao ar da envoltória do edifício medido in loco no final da construção em $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ a 4 Pa. O valor de referência de acordo com o RT2005 é de 0,6 em habitações unifamiliares isoladas e $1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ a 4 Pa em habitações coletivas isoladas. Os valores médios encontrados para unifamiliares é de $0,55 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ a 4 Pa e para os coletivos variam de 0,85 a $1,00 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ à 4 Pa. A permeabilidade do ar é um item importante para edifícios energeticamente eficientes, que precisam limitar esse valor para diminuir as perdas térmicas. Mas, por outro lado resultam em uma menor qualidade do ar, tendo em vista que os ambientes ficam vedados na maior parte dos casos.

Os sistemas de ventilação dos edifícios foram avaliados, em termos da tipologia, inspeção visual, medição da pressão e da vazão nas aberturas dos sistemas de ventilação. A maioria dos sistemas estava funcionando normalmente, de forma adequada.

Do ponto de vista QAI foram examinados os seguintes compostos: dióxido de carbono (CO_2), aldeídos, 16 compostos orgânicos voláteis (como 1,2,4-trimetilbenzeno, benzeno, etilbenzeno, tolueno, Alfa-pineno e limoneno, entre outros), dióxido de nitrogênio (NO_2), material particulado, radônio, umidade e contaminação por fungos. Ao final constatou-se que nos edifícios energeticamente eficientes avaliados, há uma maior proporção de contaminação por fungos, maiores concentrações de hexaldeído, alfa-pineno e limoneno, e maiores temperaturas internas.

A percepção do conforto ambiental (acústico, visual, térmico e olfativo) dos usuários também foi avaliado, em dois períodos, no verão e no inverno. O ambiente sonoro foi considerado "ruído" em 22 a 25% das habitações coletivas, e adequado em habitações unifamiliares. Cerca de 24 a 28% dos ocupantes de habitações coletivas estavam insatisfeitos sob o ponto de vista do conforto térmico, enquanto 11 a 14% se queixam de temperatura interna como demasiadamente fria, 8 a 16% de variação da temperatura interior, 6 a 19% de um ar muito úmido. Aproximadamente 35% dos moradores de várias famílias sentiam a presença de correntes de ar, enquanto apenas 6% das famílias se queixam. A iluminação não foi apontada como desconfortável. Em relação ao conforto olfativo, apenas em habitações unifamiliares houve queixas como "frequentemente" incomodados, sendo 6% no inverno e 20% no verão.

4. Edificações Energeticamente Eficientes no Brasil

Como o documento francês de referência se destina ao exame de edificações residenciais concebidas para atender a um nível de eficiência energética, vale a pena, para o caso brasileiro, avaliar como os Regulamentos Técnicos de Qualidade para Edifícios Residenciais (RTQ-R) do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica) tratam da questão da ventilação natural nessas edificações. O PBE faz a avaliação do projeto, construção e entrega de uma edificação e ao final é dada uma etiqueta que mostra o nível de eficiência do edifício, que pode ser mais eficiente (nível A) ao menos eficiente (nível E).

De acordo com o RTQ-C (PBE, 2014), a ventilação natural é um pré-requisito das unidades habitacionais autônomas para ambientes de permanência prolongada. Esse requisito é medido através das áreas mínimas de abertura para ventilação, conforme as zonas

bioclimáticas. Para as ZB's de 1 a 6 faz-se necessário uma área mínima de ventilação maior ou igual a 8% em relação à área útil do ambiente, para a ZB 7 esse valor é de 5% e para ZB8 de 10%.

Do ponto de vista da QAI, quanto maior a área disponível para ventilação mais eficiente é a troca de ar e conseqüentemente melhor a QAI. Para o caso específico de projetos localizados nas ZB's de 2 a 8, além das áreas mínimas para ventilação é necessário atender condições de ventilação cruzada, proporcionada por sistema de aberturas compreendido pelas aberturas externas e internas. "O projeto de ventilação natural deve promover condições de escoamento de ar entre as aberturas localizadas em pelo menos duas diferentes fachadas (opostas ou adjacentes) e orientações da edificação, permitindo o fluxo de ar necessário para atender condições de conforto e higiene" (PBE, 2014). As aberturas do edifício devem atender a proporção apresentada na Equação 1.

$$A2/A1 \geq 25\% \quad (1)$$

Onde,

A1: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas da orientação com maior área de abertura para ventilação (m);

A2: somatório das áreas efetivas de aberturas para ventilação localizadas nas fachadas das demais orientações (m)

Dessa forma, projetos que atendem esses pré-requisitos conseguem ter uma vantagem em relação a QAI para projetos que não levam esse critério em consideração. Ao se considerar especificamente a QAI, faz-se necessário avaliar se esses critérios são adequados para promover o número necessário de renovações de ar para garantir uma qualidade mínima do ar interior.

Neste sentido, um estudo que poderia ser realizado seria baseado em prédios que tenham passado por alguma forma de medir sua eficiência energética por meio dos selos comerciais como o LEED e AQUA, por exemplo. Pois, estes além de questões energéticas consideram questões relacionadas com a QAI, como as emissões de COVs. Por outro lado, como observa Merten et al. (2017), estes selos apenas especificam a exigência do conhecimento sobre a quantidade de COVs emitidos pelos materiais e produtos, sem limitar uma concentração máxima que não cause danos aos indivíduos envolvidos no ciclo de vida da edificação, sejam aos trabalhadores durante a construção dos edifícios ou aos seus usuários. Dessa forma, conclui-se que esta problemática ainda requer estudos mais aprofundados relacionados com o ciclo de vida da edificação e que possibilite uma redução de emissões e assim a melhoria das condições de QAI.

5. Diretrizes para a Qualidade de Ar de Edificações Brasileiras: Avaliação de Desempenho e Diferentes Zonas Bioclimáticas

De acordo com a NBR 15220-3 (ABNT, 2005), foram estabelecidas oito zonas bioclimáticas (ZB). Nessa norma são apresentadas diretrizes construtivas e de projeto específicas para cada zona. Por exemplo, para a ZB8, clima quente e úmido é recomendado fechamentos verticais e horizontais leves e uma recomendação para a ventilação cruzada permanente. Na Tabela 1 são apresentadas as diretrizes da NBR 15220-3 (ABNT, 2005),

referentes à ventilação natural e o potencial para uma melhor Qualidade do Ar Interno (QAI) dos ambientes.

Tabela 1– Ventilação Natural para as diferentes zonas Bioclimáticas Brasileiras. Fonte: Elaborado pelos autores, com base na ABNT NBR 15220-3: 2005 e PBE (2014).

Zona bioclimática	Abertura para ventilação	Percentual de áreas mínimas para ventilação em relação à área útil do ambiente segundo RTQ-R	Estratégia para condicionamento térmico por ventilação	Potencial de melhorar a QAI
1	Médias	≥ 8%	-	Baixo
2	Médias	≥ 8%	Ventilação cruzada	Médio
3	Médias	≥ 8%	Ventilação cruzada	Médio
4	Médias	≥ 8%	Ventilação seletiva	Médio
5	Médias	≥ 8%	Ventilação cruzada	Médio
6	Médias	≥ 8%	Ventilação seletiva	Médio
7	Pequenas	≥ 5%	Ventilação seletiva	Baixo
8	Grandes	≥ 10%	Ventilação cruzada permanente	Alto

Legenda: Vermelho – crítico. Laranja escuro – intermediário crítico. Laranja claro – intermediário não crítico. Verde – não crítico.

Dessa forma, a partir de uma análise das oito zonas bioclimáticas e das recomendações para as aberturas, constata-se que as edificações quando localizadas nas ZB 1 e 7 tenderão a ser as mais críticas do ponto de vista da QAI.

Ao se considerar a ZB1, isso se dá por dois motivos: (1) no próprio projeto já é recomendado que as edificações utilizem isolamento térmico; (2) as edificações tendem a ser mais vedadas devido as menores temperaturas ao longo do ano (principalmente no inverno).

Outro fator que pode criar problemas em relação à qualidade do ar nessas cidades, principalmente aquelas localizadas na ZB1, é a crescente utilização de pisos laminados e vinílicos, considerados pisos quentes, que são normalmente utilizados para lugares de clima frio. Dentre os diversos tipos de revestimentos existentes no mercado e utilizados no interior dos edifícios, esses materiais são apontados como importantes fontes de emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs). Cita-se como exemplo, Chaves (2016) que avaliou o nível de emissão de COVs para vários pisos vinílicos e concluiu que revestimentos aplicados com adesivo de contato (cola) apresentaram níveis do composto 2-etil-1-hexanol acima do valor máximo recomendado internacionalmente. Outro tipo de revestimento que pode prejudicar a QAI na ZB1 é o emprego de carpetes, que também estão sujeitos ao maior aparecimento de ácaros. Para essa zona, uma diretriz importante de projeto com foco na QAI, deve ser uma atenção especial para a especificação de revestimentos e produtos de limpeza com baixos teores de COVs. Outra questão a ser estudada se refere também ao grau de

umidade interna reinante nos ambientes interiores durante o período de inverno e que favorece uma proliferação de mofos.

Para o caso da ZB7, o motivo se dá por incluir cidades com climas quentes, onde o conforto térmico dos usuários é normalmente conseguido somente com climatização artificial. Assim, as edificações ficam fechadas em grande parte do tempo para manter a refrigeração do ambiente, o que pode impedir a renovação do ar interior, dependendo do tipo de aparelho de climatização utilizado. Dessa forma, neste contexto, uma diretriz que pode ser pensada para as cidades dessa ZB seria a utilização de equipamentos de ar condicionado que possibilitem alguma troca do ar interior.

Já as cidades da ZB8 tendem a ser aquelas com maior potencial de atingir bons índices de QAI, caso os projetos contemplem as diretrizes relacionadas à ventilação natural da NBR 15220-3 (ABNT, 2005). Embora a climatização artificial também seja uma prática corrente para essa realidade climática.

Em 2013, foi publicada a Norma de Desempenho das Edificações Habitacionais, a NBR 15575 (ABNT, 2013). Foi um marco importante para o setor de edificações, tendo em vista que se tornou a principal referência normativa para o projeto de edificações habitacionais brasileiras. Em sua primeira parte, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) há um item específico para Saúde, Higiene e Qualidade de Ar no interior das edificações, conforme é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2– Requisitos de Saúde, Higiene e Qualidade do Ar na Norma de Desempenho. Fonte: NBR 15575-1 (ABNT, 2013).

Requisitos	Descrição	Crítérios
Proliferação de microrganismos	Propiciar condições de salubridade no interior da edificação, considerando as condições de umidade e temperatura no interior da unidade habitacional, aliadas ao tipo dos sistemas utilizados na construção.	Atender os critérios fixados na legislação vigente
Poluentes na atmosfera interna à habitação	Os materiais, equipamentos e sistemas empregados na edificação não podem liberar produtos que poluam o ar em ambientes confinados, originando níveis de poluição acima daqueles verificados no entorno. Enquadram-se nesta situação os aerodispersóides, gás carbônico e outros.	
Poluentes no ambiente de garagem	Gases de escapamento de veículos e equipamentos não podem invadir áreas internas da habitação.	

Observa-se que são apresentados três requisitos para essa temática, no entanto, não são apresentadas formas quantitativas e objetivas de medições, há apenas menção a legislação vigente, que também não é referenciada.

Para a ventilação natural essa norma recomenda os mesmos valores de áreas mínimas para abertura recomendada pelo RTQ-R.

A norma de desempenho está passando por revisão, e assim, espera-se que quando a nova versão for publicada haja alguma menção à QAI, que possibilite o auxílio do projetista quando da concepção do projeto.

6. Proposição Processo de Avaliação Integrada da QAI e Conforto no Contexto Brasileiro

A partir do que foi avaliado nos documentos de referência e pensando no contexto brasileiro, propõe-se um processo de avaliação das edificações que integre a QAI com o Conforto Ambiental, mantendo-se um nível adequado de eficiência energética.

1. Definição dos projetos de referência (tipologia – comercial, residencial, etc., unifamiliar, multifamiliar, novos ou *retrofit*, etc.,).
2. Caracterização dos tipos de entornos a serem avaliados.
3. Sistemas construtivos, isolamento térmico (fachadas, cobertura, e pisos), revestimentos (paredes, pisos e forros), mobiliários.
4. Definição das cidades para diferentes zonas bioclimáticas.
5. Coleta de dados.
6. Definição dos parâmetros e indicadores de análise (consumo de energia elétrica - (kWh/m².ano, taxa de infiltração, área de janelas, etc, COVs a serem medidos).
7. Coleta de dados – visitas técnicas, registros fotográficos, entrevistas. Avaliação Pós-Ocupação (APO).
8. Simulação computacional – softwares de simulação higrótérmica e ventilação.
9. Tratamento dos dados e Análise dos resultados.
10. Proposição de diretrizes de projeto relacionadas à QAI para cada Zona Bioclimática.

Finalmente, para a proposição de diretrizes é interessante que as informações necessárias estejam todas reunidas em um único documento, que seja compatível com os diversos documentos existentes sobre QAI, a fim de facilitar o processo de projeto e fiscalização pelas entidades pertinentes, sendo o usuário final o principal beneficiário desse sistema de avaliação. A Figura 2 apresenta os principais documentos e fontes de informações que podem ser utilizadas para a produção de um documento de referência para QAI de edificações energeticamente eficientes.



Figura 2 – Documentos e fontes de informações importantes para elaboração de um documento de referência de QAI para o contexto brasileiro. Fonte: elaborado pelos autores.

Para o sucesso do processo proposto torna-se necessária a constituição de equipes multidisciplinares, envolvendo profissionais da arquitetura, engenharia, biologia, química e medicina, entre outros.

7. Conclusão

No Brasil, devido a sua dimensão territorial há uma grande diversidade climática, o que requer do projetista de arquitetura uma atenção com relação aos critérios energéticos e ambientais a serem atendidos pela edificação ao longo de seu ciclo de vida. Assim, critérios ambientais de qualidade do ar interior, conforto, e eficiência energética revelam-se como pontos importantes a serem considerados. Mas, por outro lado, há uma carência de legislação, documentos normativos e técnicos que tratam da QAI nas edificações. Com a verificada tendência na realização de edificações mais eficientes energeticamente, e em consequência mais vedadas, passam a se sobressair as questões relacionadas com a QAI. Assim, o projeto destas edificações devem ser objeto de atenção quanto à problemática descrita desde a fase de concepção, de preferência com as devidas distinções em relação as zonas bioclimáticas brasileiras.

Dentre as ZBs consideradas no Brasil, constata-se que as cidades localizadas na ZB1 e ZB7 se mostram como aquelas onde uma adequada QAI será mais difícil de ser atingida. Recomenda-se que essas informações, na forma de requisitos e critérios de projeto, estejam disponíveis na forma de um documento único, que reúna informações compatíveis, com outros documentos normativos já existentes no País, como a norma de desempenho, na ABNT NBR 15575-1, assim como nos documentos de referência do Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações (PBE Edifica), selos ambientais, literatura e documentos internacionais.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: edificações habitacionais: desempenho: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.

CHAVES, A. L. O. Sustentabilidade na Arquitetura e o estudo dos Compostos Orgânicos Voláteis emitidos por componentes vinílicos em habitações. Tese (Doutorado). São Carlos: Instituto de Arquitetura e Urbanismo – Universidade de São Paulo, 2016. 270p.

CHAUDHARY, Abhishek .; HELLWEG, Stefanie. Including Indoor Offgassed Emissions in the Life Cycle Inventories of Wood Products. *Environmental Science & Technology*, v. 48, n.24, p 14607–14614, jan. 2014. doi:<https://doi.org/14607-14614>

DERBEZ, M.; WYART, G.; DOUCHIN F.; RAMALHO O.; 2016, Base de référence nationale sur la qualité de l’air intérieur et le confort des occupants de bâtiments performants en énergie – Deuxième état descriptif de la qualité de l’air intérieur et du confort de bâtiments d’habitation performants en énergie , CSTB-OQAI/2016-010, Février 2016, 100 pages.

FRANÇA. Abr. 2010. Réglementation thermique 2012: un saut énergétique pour les bâtiments neufs. Disponível em: . Acesso em: 28 fev. 2018. 73 FRANÇA. Jul. 2010. Réglementation thermique: Grenelle Environnement 2012. Disponível em: < http://www.rt-batiment.fr/fileadmin/documents/RT2012/06_07_2010_-_generalisation_des_batiments_a_basse_consommation.pdf>. Acesso em: 28 fev. 2018.

MERTEN, Henrique, et al. Compostos Orgânicos Voláteis de Tintas Imobiliárias e Certificações Ambientais: Estudo De Caso Para Subsolos. REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 17, n.1, p. 128-132, jan. 2017. <https://doi.org/10.5216/reec.v13i1.41988>

PAGEL, E.C.; ALVAREZ, C.E.; REIS JÚNIOR, N.C. O edifício sustentável e a qualidade do ar interno. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM (PBE). Manual para Aplicação do RTQ-R. Eletrobrás, 2014.

SANTOS, J.M. et al. Experimental investigation of outdoor and indoor mean concentrations and concentration fluctuations of pollutants. *Atmospheric Environment*, n.45(36), p.6534-6545, 2011.

SCHIRMER, Waldir Nagel et al . A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. *Ciência e saúde coletiva*, Rio de Janeiro , v. 16, n. 8, p. 3583-3590, Aug. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232011000900026>.

WEI, W.; RAMALHO, O.; MANDIN, C. Indoor air quality requirements in green building certifications. *Building and Environment*, n.92, p.10-19, 2015.