

AValiação DE QUALIDADE DO AR INTERIOR EM RElaÇÃO ÀS CARACTERÍSTICAS DE VENTILAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

Ismael da Silva Schossler¹, Eduardo Rodrigo Ramos de Santana², Rodrigo Spinelli³

Resumo: Este trabalho tem por objetivo avaliar as condições do ar interior de ambientes, em relação às características de ventilação das edificações. Baseado nos parâmetros definidos na Resolução RE nº 9, de 16/01/2003, da Anvisa, analisou-se a qualidade do ar no interior de ambientes com diferentes sistemas de distribuição da ventilação. Para obtenção dos dados necessários, foram realizadas análises e monitoramentos em quatro protótipos de alvenaria, construídos em escala reduzida, simulando ambientes com ventilação natural. As avaliações foram realizadas a partir das análises de fatores microbiológicos, físicos e químicos, do ar interior dos ambientes. Com todos os dados levantados, avaliaram-se os protótipos, mostrando que o ar em cada um deles se comporta de forma variada em relação a cada parâmetro avaliado.

Palavras-chave: Qualidade do ar interior. Características de ventilação. Análise do ar.

1 INTRODUÇÃO

As inúmeras atividades antrópicas têm influenciado a composição do ar durante os milhares de anos em que os seres humanos vivem no planeta, antes mesmo que fosse possível conhecer os elementos que constituem o ar. Ao se falar em contaminação do ar, sugere-se que os contaminantes são aqueles gerados pelas atividades do homem. Pode-se considerar como contaminante a substância que produz efeito prejudicial ao ambiente e os efeitos possam alterar as condições de saúde e bem-estar dos indivíduos (CAVALCANTI, 2010).

Sobre os fenômenos naturais relacionados à poluição, Lisboa (2007) aponta que o vento é um fator atmosférico importante para a dispersão dos poluentes na atmosfera, e o estudo da sua direção, frequência e intensidade pode auxiliar na determinação de áreas influenciadas pela difusão das características do ar de outro ambiente. Nas áreas de engenharia e arquitetura, informações sobre os ventos possibilitam estudos da utilização da ventilação natural de ambientes, produzindo situações de conforto térmico ou sensação de resfriamento por meio da velocidade do ar (ANDREASI; VERSAGE, 2007).

Segundo Cunha (2010), a ventilação natural é uma das estratégias bioclimáticas mais comuns para renovação do ar, contribuindo com a qualidade do ar em ambientes internos. A renovação do ar, que tem por objetivo a remoção de gases, odores ou materiais particulados gerados por atividades antrópicas ou mesmo por máquinas e equipamentos localizados no ambiente, é uma

1 Bacharel em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário UNIVATES. ismaelss@gmail.com

2 Doutor em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. eduardo.santana@univates.br

3 Arquiteto e Urbanista. Mestre em Ambiente e Desenvolvimento. Docente do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Centro Universitário UNIVATES. rspinelli@univates.br

atividade recomendada a todos os climas, uma vez que pode assegurar a higiene e a boa saúde dos indivíduos presentes no ambiente. Assim, além de favorecer condições de conforto, a captação do ar exterior do ambiente, e a consequente remoção de parcela do ar interno, tem papel importante na melhoria da qualidade ambiental dos edifícios.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) considera que muitos dos poluentes químicos e biológicos causadores da chamada síndrome do edifício doente (SED) podem ser encontrados em materiais comuns dentro de ambientes, como móveis, tintas e materiais de construção. Nesse cenário, a ventilação do ambiente é considerada ótima alternativa para proporcionar condições aceitáveis de ar no ambiente interno, ressaltando-se a dificuldade de controlar os poluentes e suas fontes de emissão.

Objetivando reduzir o risco à saúde dos ocupantes de ambientes climatizados artificialmente e propensos à SED, em 28 de agosto de 1998, o Ministério da Saúde publicou a Portaria 3.523 (BRASIL, 1998). Como consequência, foi publicada a Resolução 176, de 24 de outubro de 2000, pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), e, posteriormente, como forma de revisão da Resolução 176/2000, houve a atualização para a Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003 (BATISTA, 2008). Esta resolução, vista como revolucionária por Gioda e Aquino Neto (2003), traz definições dos parâmetros mínimos para a qualidade do ar de interiores aceitável.

Segundo Basto (2007), no Brasil, adotam-se como metodologia para controle e padronização da qualidade do ar interior (QAI) as resoluções e regulamentos técnicos da Anvisa, em concordância com as normas técnicas da ABNT. A Anvisa (2003), por meio da RE nº 9/2003, indica que os edifícios com características diferenciadas, como restaurantes, creches e serviço médico e de saúde, devem ter suas amostragens realizadas de forma isolada e com critérios diferenciados.

Como parâmetros fundamentais sugeridos para avaliação e definidos pelas regulamentações, como a RE nº 9/2003 da Anvisa, são: umidade relativa, temperatura e velocidade do ar, fungos, bolores e bactérias, material particulado e dióxido de carbono (CO₂) (BASTO, 2007).

Outros parâmetros também podem fazer parte das análises, tornando-as mais completas, apesar de não serem normalmente adotados. Os parâmetros complementares são: ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO), compostos orgânicos voláteis (COV), formaldeídos, dióxido de nitrogênio (NO₂), compostos orgânicos semivoláteis (COS-V) e avaliação do nível de satisfação dos usuários.

A resolução determina que o valor máximo recomendável (VMR) para contaminação microbiológica deve ser 750 ufc/m³ (unidades formadoras de colônias por metro cúbico) de fungos, levando em conta a relação I/E de 1,5. Nessa relação, "I" representa a quantidade de fungos no ambiente interior e "E" é a quantidade de fungos no ambiente exterior. Se o VMR for ultrapassado ou a relação I/E for superior a 1,5, faz-se necessário diagnóstico de fontes poluentes para que se possa intervir corretivamente. A presença de fungos patogênicos ou toxigênicos não é aceitável (ANVISA, 2003).

Para contaminação química, o VMR para CO₂ é de 1.000 ppm, agindo como indicador de renovação de ar externo. Para aerodispersóides totais no ar, o VMR é de 80 µg/m³, agindo como indicador do grau de pureza do ar e de higienização do ambiente climatizado.

Os parâmetros físicos a seguir são baseados no texto da Resolução RE nº 9, de 16 de janeiro de 2003, da Anvisa. Recomenda-se que a faixa de operação das temperaturas de bulbo seco, em condições internas para verão, deve variar de 23°C a 26°C. Excedem-se ambientes de arte, em que a temperatura deve estar entre 21°C e 23°C. A faixa máxima de operação deve variar de 26,5°C a 27°C. Nas áreas de acesso, a temperatura de operação pode chegar a até 28°C. No inverno, as condições internas de operação tem faixa recomendável que deve variar entre 20°C e 22°C.

Em relação à umidade relativa, a faixa recomendável de operação em condições para verão deve estar entre 40% e 65%. Assim como os parâmetros de temperatura, há exceção para ambientes de arte, que devem atender percentuais de umidade entre 40% e 55% durante todo o ano. As áreas de acesso poderão operar em até 70% de umidade relativa. Para condições internas no inverno, a faixa recomendável de operação deve ser de 35% a 65%.

A velocidade do ar deve ter VMR de operação, no nível de 1,5 m do piso, na região de influência da distribuição do ar, de 0,25 m/s.

A taxa de renovação do ar adequada é, no mínimo, de 27 m³ a cada hora por pessoa, excetuando-se ambientes com grande fluxo de pessoas, em que é recomendado o mínimo de renovação de 17 m³ a cada hora por pessoa.

A proposta deste estudo é verificar se ambientes com diferentes características de ventilação podem fornecer condições adequadas de qualidade do ar interior. Assim, a pesquisa objetiva avaliar a qualidade do ar no interior de ambientes com diferentes formas de ventilação e obter informações pertinentes à avaliação da qualidade do ar no interior de protótipos e em um ambiente com climatização artificial, por meio de análises microbiológicas e monitoramentos de temperatura, umidade e poluentes gasosos. Por fim, pretende-se comparar os dados obtidos com os padrões de qualidade do ar estabelecidos em normas técnicas e resoluções, com a finalidade de classificar o ar interior dos protótipos.

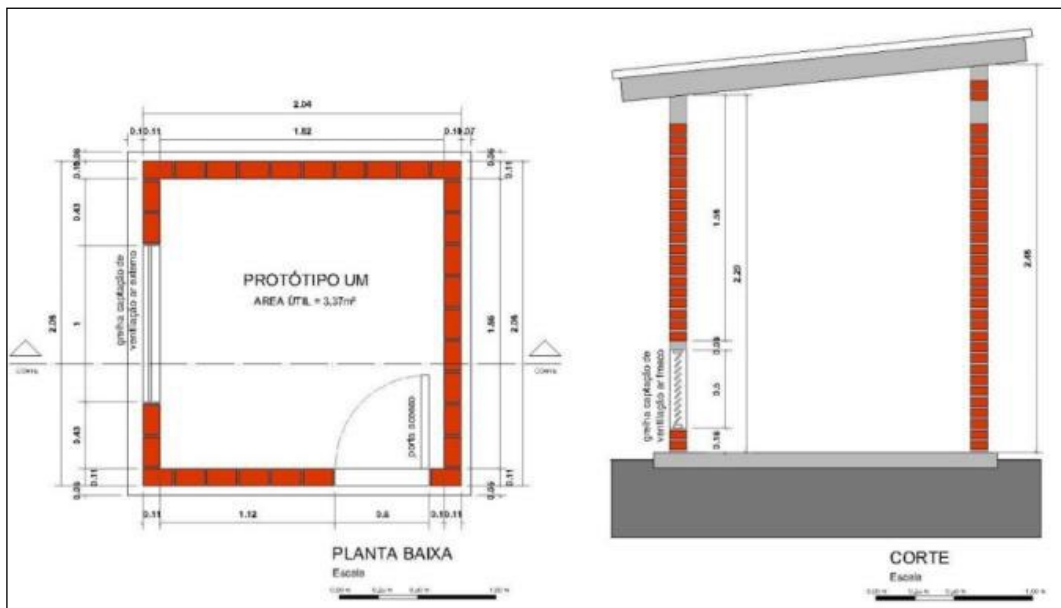
2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de avaliar as características do ar no interior de ambientes em relação às características de ventilação, o presente estudo utilizou quatro protótipos de alvenaria de escala reduzida, simulando ambientes com diferentes formulações de sistemas de ventilação. Para avaliação da QAI, análises e monitoramentos dos parâmetros relevantes foram realizados no interior dos protótipos, a fim de permitir a caracterização física, química e microbiológica do ar em cada um dos ambientes. Para fins de comparação, a análise das condições do ar interno em um ambiente climatizado artificialmente também se fez relevante.

Simulando ambientes com sistemas de ventilação natural, foram construídos quatro protótipos em alvenaria, cada um com características de ventilação diferentes.

Protótipo 1 foi o nome dado à edificação executada em escala reduzida, e projetado sem sistema de distribuição de ventilação, conforme representado em planta baixa e corte na Figura 1.

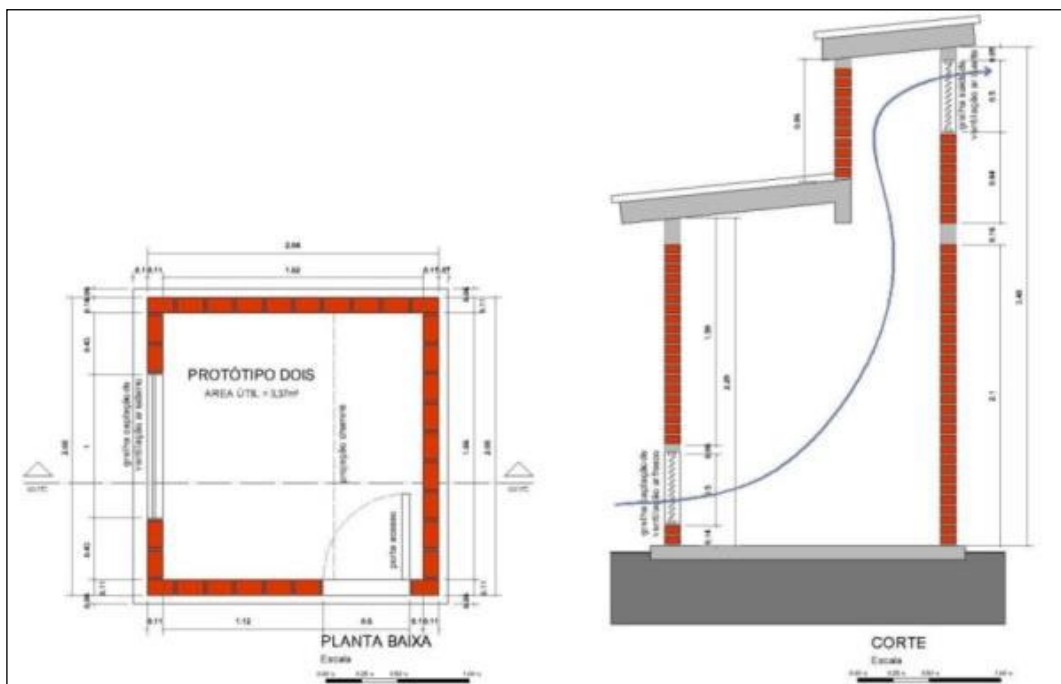
Figura 1 – Projeto do Protótipo 1



Fonte: Dos autores (2014).

O Protótipo 2 possui distribuição de ventilação por efeito chaminé. Nesse caso, o ar adentra o ambiente pela abertura inferior, atravessa o edifício e sai pela abertura superior na parede oposta (FIGURA 2). Pode-se verificar o comportamento previsto para o fluxo de ar perpassando o protótipo.

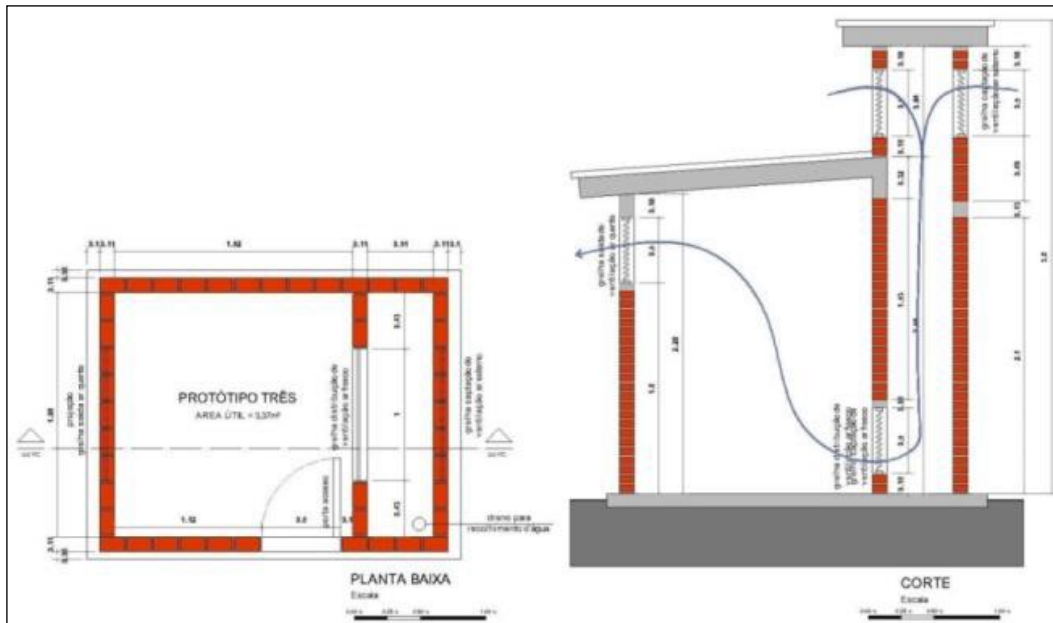
Figura 2 – Projeto do Protótipo 2



Fonte: Dos autores (2014).

O Protótipo 3 foi projetado com distribuição de ventilação por efeito torre de vento, em que o ar acessa o ambiente pelas aberturas superiores e é canalizado por uma torre até os níveis mais baixos do edifício. Esse fluxo adentra a sala principal por uma abertura inferior, atravessa o ambiente e sai por uma abertura mais elevada na parede oposta (FIGURA 3). Destaca-se o comportamento previsto para o fluxo de ar que percorre o sistema de ventilação proposto.

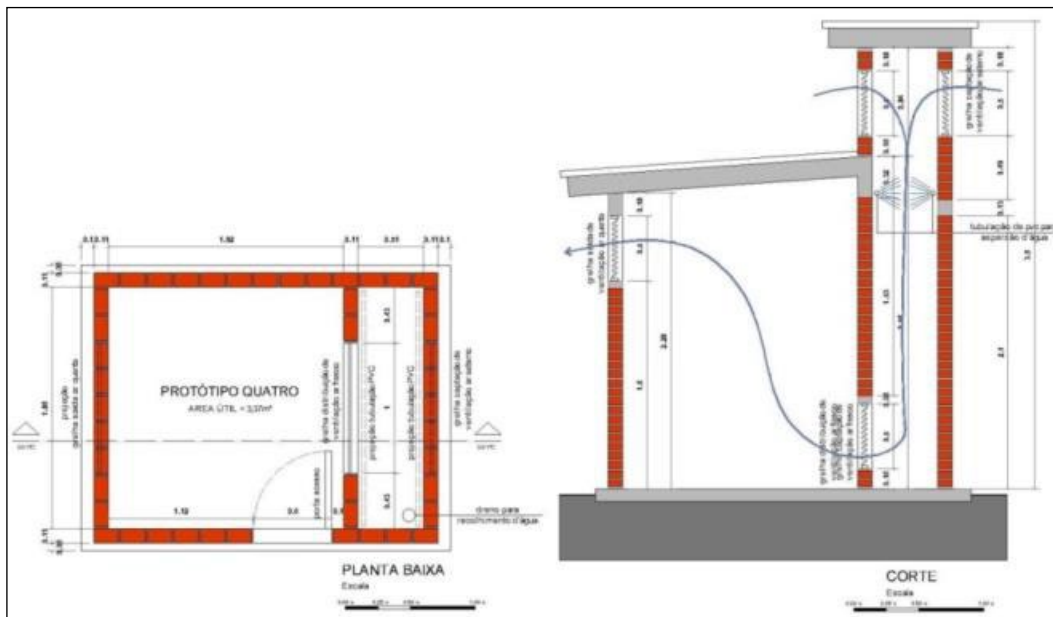
Figura 3 – Projeto do Protótipo 3



Fonte: Dos autores (2014).

O Protótipo 4 segue o mesmo modelo de construção do Protótipo 3, diferenciando apenas que na distribuição de ventilação por efeito torre de vento foi adicionado sistema de aspersão de água. Essa aspersão é feita através de uma tubulação de policloreto de vinila (PVC) instalada logo abaixo da entrada de ar da torre (FIGURA 4).

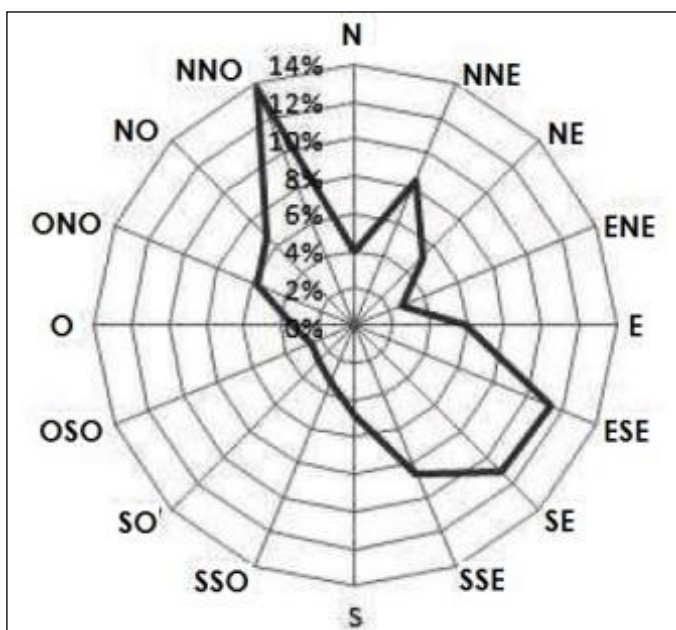
Figura 4 – Projeto do Protótipo 4



Fonte: Dos autores (2014).

A orientação das aberturas está relacionada à maior frequência anual de ventos originários dessas direções, conforme estudos de Tomasini (2011), que indicam que na cidade de Lajeado/RS ocorrem predominâncias anuais de ventos nas direções norte-noroeste (NNO), este-sudeste (ESE) e norte-nordeste (NNE), com percentuais médios de 13,79%, 11,28% e 11,03%, respectivamente.

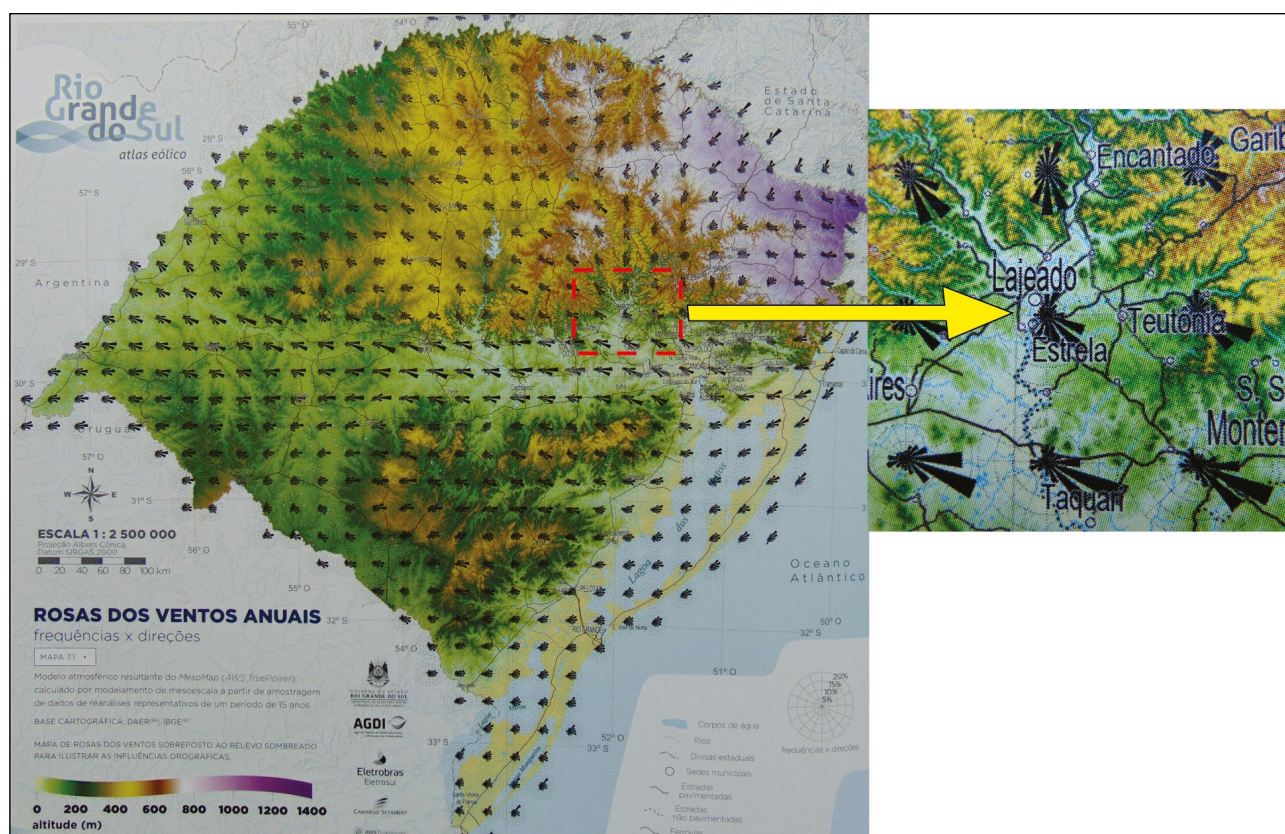
Figura 5 – Frequência média anual da velocidade do vento



Fonte: Adaptado pelos autores com base em Tomasini (2011).

De acordo com o Atlas Eólico do Rio Grande do Sul (2014), na região do Estado do Rio Grande do Sul que compreende a cidade de Lajeado existe predominância histórica de ventos de origem norte (N) e sudeste (SE) no decorrer do ano, o que se aproxima do que é descrito por Tomasini (2011).

Figura 6 – Direção predominante dos ventos



Fonte: Elaborado pelos autores (2015), a partir de ATLAS eólico (2014, p. 68).

3 ANÁLISES E ENSAIOS

A Resolução RE nº 9/2003 da Anvisa utiliza como parâmetros fundamentais sugeridos para avaliação a umidade relativa, a temperatura e velocidade do ar, presença de fungos, bolores e bactérias, existência de material particulado e níveis de dióxido de carbono (CO₂). Com base nessas informações, o presente estudo analisou os parâmetros: fungos, temperatura, umidade relativa, CO, CO₂, H₂S e o percentual de O₂.

A análise de fungos foi realizada a partir do método de amostragem e análise de bioaerosol em ambientes interiores (Norma Técnica 1 da RE nº 9/2003). Esse método mede o controle ambiental da possível colonização, a multiplicação e a disseminação de fungos no ar interior do ambiente. Foi utilizado método de amostragem passiva, que realizou as coletas por sedimentação de microrganismos do ar em placas de Petri por 15 minutos, usando o meio de cultura *Ágar Sabouraud*.

Vinte (20) placas de Petri (90x15mm) foram preparadas e colocadas em incubação por cinco dias para checagem de possível contaminação e aparecimento de colônias de fungos. Ao final desse

período, três placas apresentaram o surgimento de colônias de fungos e foram descartadas. As 17 placas restantes sem contaminação foram utilizadas para realização das amostragens.

Para aumentar a confiabilidade, foram realizadas coletas em triplicata para os quatro protótipos e para o ambiente com climatização artificial e em duplicata para o ambiente externo.

Posteriormente, as placas foram levadas novamente ao laboratório para entrarem no período de incubação em uma incubadora microbiológica. O tempo de incubação das placas foi de sete dias, a temperatura de 25°C, permitindo o total crescimento dos fungos. As contagens das colônias foram realizadas com o auxílio de um contador de colônias.

As verificações de CO e CO₂ foram baseadas no método de amostragem e análise da concentração de dióxido de carbono em ambientes interiores (Norma Técnica 2 da RE nº 9/2003). Esse método utiliza equipamento de leitura direta. No presente estudo, foi utilizado o equipamento *Portable AIQ Meter 4 in 1* modelo 77597. Esse aparelho foi exposto ao ar interior de cada ambiente por cinco minutos e as medições foram registradas em planilhas. Foram realizadas 17 amostras.

Essas análises são baseadas no método de determinação da temperatura, umidade e velocidade do ar em ambientes interiores (Norma Técnica 3 da RE nº 9/2003). Esse método de amostragem utiliza um equipamento de leitura direta por meio de termo higrômetro. No presente estudo, foi utilizado o equipamento *Portable AIQ Meter 4 in 1* modelo 77597. Os métodos de amostragem foram os mesmos utilizados no levantamento de dados para CO e CO₂.

As temperaturas internas e umidades relativas dos protótipos ainda foram monitoradas por meio de sensores automáticos, que realizaram coletas contínuas.

O percentual de oxigênio (O₂) e o sulfeto de hidrogênio (H₂S) foram análises complementares realizado com o equipamento *GasAlertMicroClip XT* por leitura direta. Foram realizadas 17 coletas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Parâmetros externos

Percebe-se tendência ascendente nas temperaturas nesse período amostral. Tanto as mínimas quanto as máximas temperaturas diárias se elevam, até queda no último dia de amostragem.

A temperatura mínima do período foi registrada no dia 21 de outubro (13,1°C) e a máxima foi registrada no dia 28 de outubro (40,6°C). Essas informações revelam grande amplitude térmica nesses dias.

As medidas amostradas indicam que os valores de umidade seguem padrão normal, com altos valores à noite e redução à tarde. Em um dos dias, a umidade baixou até níveis próximos dos 20%. Porém, a umidade média do período foi de 76%.

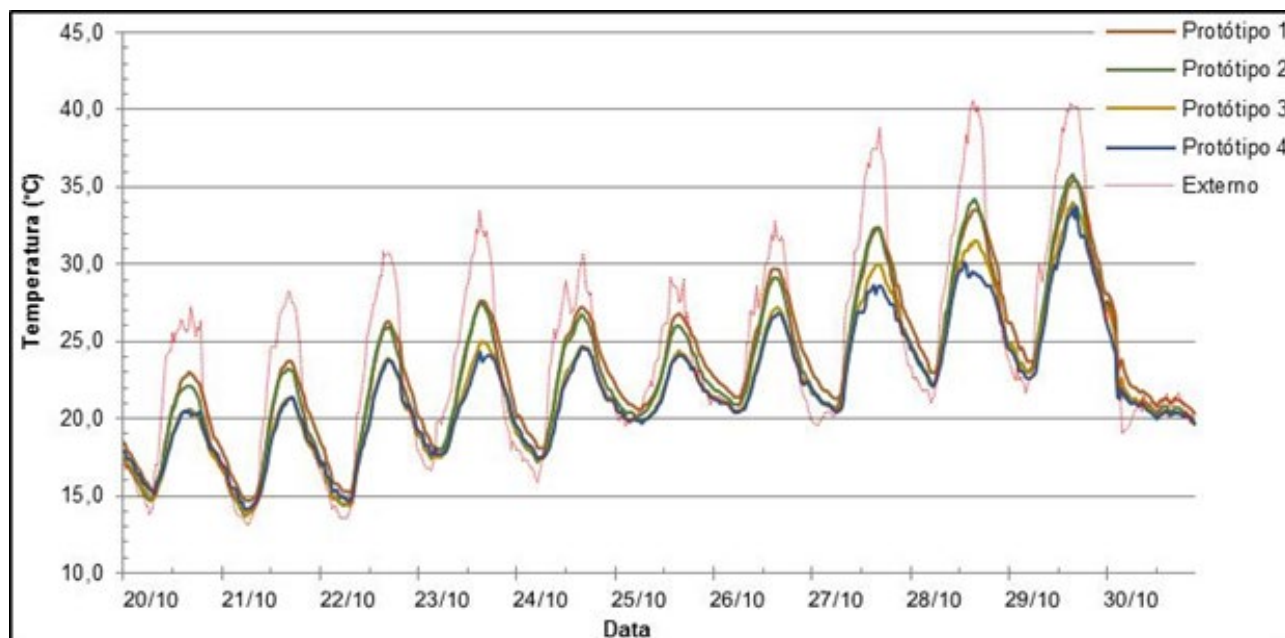
Com base nos dados fornecidos pela estação meteorológica, pode-se perceber que os ventos predominantes no período das análises foram os ventos de origem sul (S) e nordeste (NE). A velocidade média dos ventos no período foi de 1,02 m/s. O registro de maior velocidade dos ventos ocorreu no dia 23 de outubro, com valor de 5,4 m/s.

4.2 Parâmetros internos

Os dados de temperatura interna dos protótipos, obtidos pelos monitoramentos com os sensores Pt-100 e *datalogger*, estão apresentados no Gráfico 1. Esse equipamento registrou 529 amostras de temperatura nos quatro protótipos em intervalos de 30 minutos. Devido à grande quantidade de dados, eles foram apresentados em forma gráfica representando os 11 dias de realização das amostras.

É possível constatar variação bastante grande nas temperaturas no decorrer dos dias. Inicialmente, as temperaturas mínimas chegavam a ser inferiores a 15°C nos protótipos. Nos últimos dias, as máximas ultrapassavam a faixa dos 30°C.

Gráfico 1 – Temperaturas nos protótipos e no ambiente externo



Fonte: Dos autores (2014).

Analisando o gráfico, percebe-se que, nos momentos de maior radiação solar, as temperaturas internas são geralmente mais elevadas no Protótipo 1. Nos dias mais quentes analisados (27, 28 e 29 de outubro) o Protótipo 2 apresentou as mais altas temperaturas. Supõe-se que isso ocorra devido a uma maior interferência da temperatura externa, pois as duas aberturas desse protótipo estão expostas diretamente ao ambiente interno. Essa exposição não ocorre nos protótipos 3 e 4, que possuem uma torre de vento isolada da sala principal.

A Resolução RE nº09/2003 da Anvisa, sugere que os ambientes climatizados artificialmente devem operar em temperaturas entre 23°C e 26°C. Para avaliação dos ambientes estudados, foram utilizadas as 529 amostras de temperatura em cada um dos protótipos utilizadas no gráfico anterior. Cada um dos dados foi comparado com os limites da legislação em questão e considerado apropriado ou não apropriado.

Os resultados da avaliação estão na Tabela 1. Na primeira coluna apresenta-se o ambiente analisado; na segunda, o total de amostras de temperatura do ar interior; na terceira, a quantidade de amostras com valores dentro dos limites da legislação; e na quarta coluna, o percentual de amostras apropriadas.

Tabela 1 – Avaliação do parâmetro temperatura interna nos protótipos

Ambiente	Total de amostras	Amostras apropriadas	Percentual
Protótipo 1	529	121	22,87
Protótipo 2	529	116	21,93
Protótipo 3	529	107	20,23
Protótipo 4	529	104	19,66

Fonte: Dos autores (2014).

A avaliação mostra que, apesar das maiores temperaturas, o Protótipo 1 atende mais vezes aos limites de temperatura sugeridos pela legislação do que os demais protótipos. São 22,87% de dados considerados apropriados. Isso ocorre porque, nos momentos de temperatura mais baixa, esse protótipo mantém-se mais quente.

Outra análise foi realizada, dessa vez não levando em conta o limite mínimo imposto pela Resolução, assim, todos os registros que atendem ao valor máximo de temperatura sugerido (26°C) são considerados apropriados. Os resultados dessa nova avaliação estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Avaliação da temperatura desconsiderando o limite mínimo

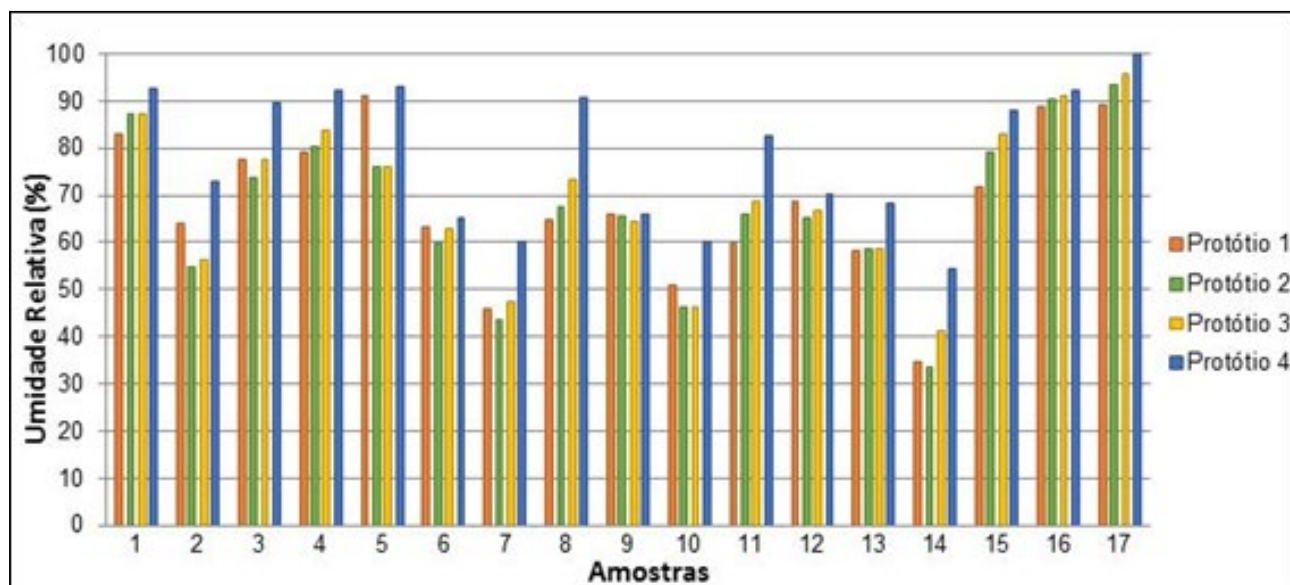
Ambiente	Total de amostras	Amostras apropriadas	Percentual
Protótipo 1	529	382	72,21
Protótipo 2	529	407	76,94
Protótipo 3	529	433	81,85
Protótipo 4	529	442	83,55

Fonte: Dos autores (2014).

Dessa vez, o Protótipo 4 aparece como o que atende mais vezes aos limites máximos de temperatura, com 83,55% das amostras consideradas apropriadas.

Em relação às umidades relativas (GRÁFICO 2), as mais elevadas são as medidas no Protótipo 4. Em nenhuma das amostras do protótipo 4 a umidade relativa do ar foi menor do que 50%. Outra constatação relevante é que as umidades nos Protótipos 2 e 3 são semelhantes em algumas análises, com ligeira elevação nas umidades do Protótipo 3. O Protótipo 1 apresentou muitas variações: em algumas análises sua umidade relativa foi a menor, enquanto em outras teve valores somente abaixo dos valores do Protótipo 4. Para o ambiente climatizado artificialmente, a umidade relativa do ar apresentou média de 50%.

Gráfico 2 – Dados de umidade relativa do ar no interior de cada um dos protótipos



Fonte: Dos autores (2014).

A Resolução RE nº 09/2003 da Anvisa sugere que os ambientes climatizados artificialmente devem operar com umidades relativas entre 40% e 65%. Para avaliação dos ambientes estudados, foram utilizadas 17 amostras de umidade relativa (%) em cada um dos protótipos. Cada um dos dados foi comparado com os limites da legislação em questão e considerado apropriado ou não apropriado.

Os Protótipos 1 e 3 são os que mais vezes atenderam aos valores limite da Resolução, com 41,18% de amostras consideradas apropriadas. O Protótipo 4, devido a seu sistema de umidificação do fluxo de ar com aspersores de água, excedeu os limites máximos em 82,35% das amostras.

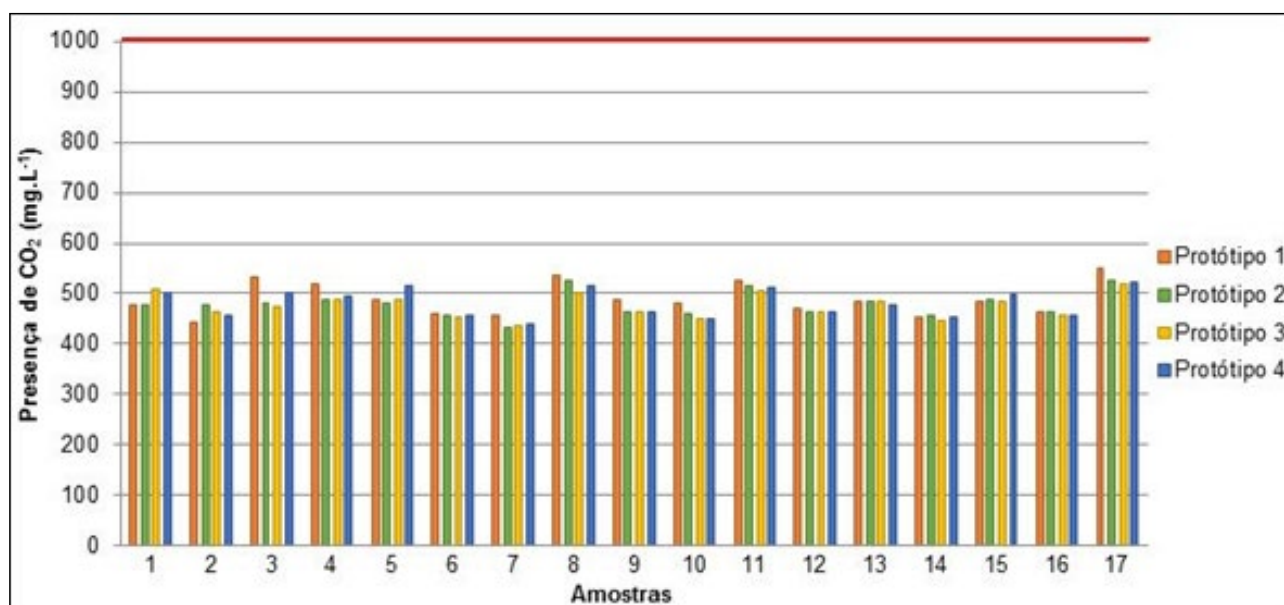
Tabela 3 – Avaliação do parâmetro umidade relativa no interior dos protótipos

Ambiente	Umidade relativa média (%)	Amostras apropriadas (%)	Amostras acima do limite máximo (%)	Amostras abaixo do limite mínimo (%)
Protótipo 1	68,1	41,18	52,94	5,88
Protótipo 2	67,1	29,41	64,71	5,88
Protótipo 3	69,4	41,18	58,82	0,00
Protótipo 4	78,7	17,65	82,35	0,00

Fonte: Dos autores (2014).

As informações acerca da presença de dióxido de carbono no ar interior dos protótipos foram obtidas por meio de amostragem direta com o equipamento *Portable AIQ Meter 4 in 1*. Para avaliação dos ambientes estudados, foram utilizadas 17 amostras diretas de presença de CO₂ em cada um dos protótipos (GRÁFICO 3).

Gráfico 3 – Dados da presença de CO₂ no ar interior dos protótipos



Fonte: Dos autores (2014).

De acordo com a Resolução RE nº 09/2003 da Anvisa, o VMR para dióxido de carbono é de 1.000 mg.L⁻¹. Todos os dados coletados atendem às exigências da referida Resolução. O Protótipo 1 apresenta a maior média entre os protótipos. A menor presença média de CO₂ ocorreu no Protótipo 3, seguido do Protótipo 2. A média total é de 481 mg.L⁻¹ de CO₂.

A respeito da contaminação microbiológica, notou-se a proliferação de colônias em todas as placas expostas ao fluxo de ar, tanto nos protótipos quanto nos ambientes controlados e externos. Uma das placas amostradas no Protótipo 2 não forneceu confiabilidade na contagem das colônias, assim, para fins de análise, foi considerada como incontável (N.D.). As demais placas apresentaram boas condições para contagem visual.

Tabela 4 – Apresentação da quantidade de colônias contadas em cada placa de Petri e o volume de ar dos protótipos, obtendo a relação de unidades formadoras de colônia por metro cúbico (ufc/m³)

Ambiente	Amostra	Contagem de colônias	Volume do ambiente (m ³)	Relação ufc/m ³
Protótipo 1	1	35	8,1	679
	2	37	8,1	718
	3	39	8,1	757
Protótipo 2	1	39	9,2	667
	2	44	9,2	752
	3	N.D	9,2	N.D.
Protótipo 3	1	29	8,1	563
	2	35	8,1	679
	3	33	8,1	641

Ambiente	Amostra	Contagem de colônias	Volume do ambiente (m ³)	Relação ufc/m ³
Protótipo 4	1	26	8,1	505
	2	22	8,1	427
	3	25	8,1	485
Ambiente climatizado artificialmente	1	16	144	17
	2	14	144	15
	3	17	144	19

Fonte: Dos autores (2014).

A Resolução RE n° 9/2003 da Anvisa indica que o VMR para fungos é de 750 ufc/m³. Em duas amostras coletadas, esse valor foi excedido, sendo uma amostra do Protótipo 1 e outra do Protótipo 2. Em nenhuma das demais amostras o VMR foi atingido. Uma vez que as amostras foram realizadas em triplicata para os ambientes internos, a média das amostras pode ser empregada para novas análises. Todos os ambientes apresentam-se aptos de acordo com a legislação. Porém, os valores dos Protótipos 1 e 2 se aproximam muito dos valores máximos permitidos.

Os parâmetros monóxido de carbono, percentual de oxigênio e sulfeto de hidrogênio não apresentaram alterações no decorrer do período de estudo. O percentual de oxigênio se manteve, em todas as amostragens, em 20,9%. O valor não se alterou em nenhum dos protótipos nem no ambiente externo. Isso pode representar que não há acúmulos ou retenção de poluentes no interior dos protótipos.

Não houve presença de CO ou H₂S em nenhuma das amostragens do ar interior ou exterior. Isso pode estar relacionado ao local de instalação dos protótipos estar em uma área bastante aberta, com boa circulação de ar.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características gerais das informações mostram que os Protótipos 1 e 2 não são capazes de atender aos parâmetros de temperatura em situações em que elas sejam elevadas, apresentando-se muito suscetíveis a influências externas. No Protótipo 1 ocorre falta de renovação do ar e no Protótipo 2 existe muita exposição, devido à vulnerabilidade das aberturas. Os Protótipos 3 e 4 tiveram melhores resultados em situações extremas com altas temperaturas, e o aspersor do Protótipo 4 possui eficiência na refrigeração do ambiente. Por outro lado, a umidade relativa do ar no interior do Protótipo 4 torna-se muito elevada, o que, teoricamente, poderia resultar em maior presença de fungos. Porém, o resultado foi bem contrário às expectativas nesse parâmetro.

Quanto à contaminação microbiológica, os Protótipos 1 e 2 mais uma vez se mostraram com ventilações menos eficientes do que os demais protótipos em relação à contaminação do ar por esses microrganismos. Os resultados para os Protótipos 3 e 4 estão mais distantes do VMR, indicando melhor qualidade do ar interior.

Como todos os protótipos revelaram praticamente o mesmo teor de CO₂ presente no ar interior, esse parâmetro não pôde ser utilizado para comparações.

O Protótipo 3 apresenta a melhor qualidade do ar interior entre os protótipos analisados, uma vez que apresenta o melhor desempenho em três dos quatro parâmetros. O Protótipo 1 também é o melhor em três de quatro parâmetros. Uma comparação com o ambiente climatizado de

maneira controlada, com filtros adequados, é desigual, principalmente com relação à temperatura e à umidade. Contudo, em relação aos demais parâmetros, pode-se dizer que os protótipos não apresentam resultados tão diferenciados, com a vantagem do menor consumo energético. O Protótipo 4 necessita do consumo de água, porém em pouca quantidade.

Embora o bom senso já diga que um ambiente adequadamente ventilado seja mais salutar, o estudo científico requer o estabelecimento de hipóteses, o planejamento e a realização de ensaios e medições. Dessa forma, por meio dos protótipos e medições buscou-se avaliar as alternativas de ventilação que oferecem maior qualidade do ar interior, levando em conta os parâmetros físicos, químicos e biológicos mencionados ao longo deste estudo.

Os protótipos possuem características diferentes, portanto, o desempenho pode oscilar muito para cada um deles em relação a cada condição de clima. Como a ventilação é natural, a influência das condições climáticas é muito importante.

Com as avaliações realizadas, o Protótipo 3 apresentou bons resultados e pode até ser considerado o mais eficiente, uma vez que foi clara a falta de renovação do ar no Protótipo 1, mais isolado. Já o Protótipo 2 sofreu muita influência externa e o Protótipo 4 não teve bom desempenho no parâmetro umidade relativa do ar.

REFERÊNCIAS

ANDREASI, Wagner. A.; VERSAGE, Rogério S. **A Ventilação natural como estratégia visando proporcionar conforto térmico e eficiência energética no ambiente interno**. UFMS, 2007. Disponível em: <<http://www.dec.ufms.br/lade/docs/dt/rogerio.pdf>>. Acesso em: 5 de abr. 2014.

ATLAS eólico. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria de desenvolvimento e promoção do investimento, 2014.

BASTO, José. E. **Qualidade do ar interno**. Itajaí, SC, Brasil, 2007. Disponível em: <http://www.anest.org.br/arquivos/pdf/conest_10a/Apostila_de_Qualidade_do_Ar_Interno_ITAJAi.pdf>. Acesso em: 04 de abr. 2014.

BATISTA, Carla A. T. **Poluição do ar de interiores: uma avaliação de casos relacionados à climatização artificial**. Juiz de Fora: UFJF. 2008. Disponível em: <www.ufjf.br/analiseambiental/trabalhos-defendidos>. Acesso em: 04 abr. 2014.

BRASIL, Ministério da Saúde. **Portaria nº 3523 de 28 de agosto de 1998**. Brasília: D.O.U., 1998.

CAVALCANTI, Paulina M.P.S. **Modelo de Gestão da Qualidade do ar: abordagem preventiva e corretiva**. Rio de Janeiro, RJ. 2010. Disponível em: <www.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/paulina_maria.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2014.

CUNHA, Leonardo J. B. F. **Análise de métodos para aplicação de ventilação natural em projetos de edificações em natal-RN**. Natal: Universidade Federal do Rio Grande Do Norte. 2010. Disponível em <repositorio.ufrn.br:8080/jspui/handle/1/11515>. Acesso em: 16 maio 2014.

GIODA, Adriana; AQUINO NETO, Francisco R. **Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil**. Química Nova, vol.26, n. 3, p. 356-365, 2003.

LISBOA, Henrique. M., **Controle da Poluição Atmosférica**. Montreal, primeira versão, 2007.

TOMASINI, Juliana. **Padrão de variabilidade do vento à superfície em Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil: Implicações Ambientais**. Monografia de Bacharelado em Engenharia Ambiental, UNIVATES, Lajeado, RS, Brasil, 2011.