



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS



MARIELLE FERREIRA SILVA

**Avaliação pós-ocupação em edifícios residenciais multifamiliares ventilados
mecanicamente com foco na Qualidade do Ar Interno (IAQ)**

OURO PRETO
2016

MARIELLE FERREIRA SILVA

**Avaliação pós-ocupação em edifícios residenciais multifamiliares ventilados
mecanicamente com foco na Qualidade do Ar Interno (IAQ)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como parte integrante dos requisitos para à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Orientador: Henor Artur de Souza

Coorientador: Adriano Pinto Gomes

OURO PRETO

2016

S586a Silva, Marielle Ferreira.
Avaliação pós-ocupação em edifícios residenciais multifamiliares ventilados mecanicamente com foco na Qualidade do Ar Interno (IAQ) [manuscrito] / Marielle Ferreira Silva. - 2016.
88f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Henor Artur Souza.
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Pinto Gomes.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.
Área de Concentração: Construção Metálica.


1. Edifícios de apartamentos. 2. Edifícios - Ventilação. 3. Edifícios - Propriedades térmicas. I. Souza, Henor Artur. II. Gomes, Adriano Pinto. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 728.22

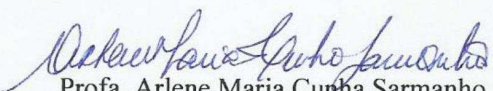
**AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO EM EDIFÍCIOS RESIDENCIAIS
MULTIFAMILIARES VENTILADOS MECANICAMENTE COM
FOCO NA QUALIDADE DO AR INTERNO (IAQ)**

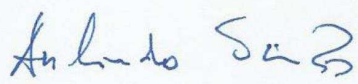
AUTORA: MARIELLE FERREIRA SILVA

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 15 abril de 2016, pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:


Prof. Henor Artur de Souza, D. Sc. – UFOP (Presidente)


Prof. Adriano Pinto Gomes, D. Sc. – IFMG


Prof. Arlene Maria Cunha Sarmanho, D. Sc. – UFOP


Prof. Arlindo Tribess, D. Sc. - USP

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus e aos meus pais e a, que me deram a vida. Apoiaram-me e sempre me incentivaram a estudar e seguir meus sonhos e objetivos. A minha irmã pelo apoio e conselhos. Aos meus avós pelas rezas e ensinamentos de vida. E a toda a minha família pelas palavras de acolhimento.

Eu agradeço muito ao Henor, meu orientador e amigo, por me apoiar nos meus projetos desde a Graduação, sempre com paciência, dedicação e ensinamentos. Ao Adriano pelos conselhos, ensinamentos e ajuda. Obrigado por nunca terem falhado comigo e por estarem sempre presente.

Obrigada a toda equipe do PROPEC (UFOP/Escola de Minas), Professores e Colaboradores pelo apoio, ensinamentos, financiamento e principalmente por tornarem esta pesquisa concreta.

Muito obrigada ao professor Stefan MAAS, quem tornou meu objetivo de ir para Luxemburgo em realidade, apoiou a minha pesquisa e me orientou em todo o tempo que eu estive na *Université de Luxembourg*. Obrigada a SNHBM (*Société de Habitation à Bom Marché*) pelas informações e pelo espaço cedido para realização da pesquisa. E a todos que fizeram parte de minha estadia em Luxemburgo muito obrigada.

Eu sou grata também a todos os meus amigos de Ouro Preto, e colegas do mestrado em especial a Lorrany, Fabrício, Keoma, Luís e Plínio pela amizade e apoio nesta caminhada.

RESUMO

Acredita-se que a exposição a poluentes do ar interior pode ter aumentado devido a uma variedade de fatores, incluindo a construção de edifícios mais herméticos e a redução das taxas de ventilação (para economia de energia). Modelos teóricos avançados sobre o comportamento térmico de edifícios podem prever interações entre a Qualidade do Ar Interno (IAQ), a ventilação, o consumo de energia e as condições de conforto, mas sem levar em conta os hábitos dos moradores. O conhecimento sobre os hábitos e opiniões dos moradores sobre os sistemas de ventilação é um condicionante importante para a redução no consumo dos recursos naturais e melhoria do conforto humano. Além disso, ocupantes desconfortáveis são suscetíveis a tomar medidas para se sentirem confortáveis, podendo ter implicações energéticas. O objetivo da ventilação mecânica é transportar a quantidade de ar necessária para assegurar a IAQ com o menor consumo de energia e fazer uso da recuperação de calor para diminuir as perdas na ventilação. Neste trabalho faz-se uma avaliação pós-ocupação em dois edifícios habitacionais, situados na cidade de Esch-sur-Alzette, Luxemburgo, durante as condições de primavera do hemisfério norte, considerando ambientes mecanicamente ventilados por sistemas centralizados e descentralizados com recuperação de calor, com foco na qualidade do ar interno. Em relação aos resultados obtidos via questionários concluiu-se que para 82 % a 88% dos moradores a IAQ e o sistema de ventilação são normais ou muito bons, ou seja, eles estão satisfeitos. Pelos resultados obtidos das medições in loco pôde-se concluir que em 82% dos apartamentos a concentração de CO₂ estava abaixo de 1500 ppm (valor limite estabelecido segundo a normas ASHRAE 62.1 e EN 15251). A umidade relativa do ar interno estava abaixo de 65% em 94% dos casos estudados, ou seja, 14 dos 15 apartamentos medidos. As temperaturas internas estavam dentro da faixa de conforto térmico entre 18°C e 27°C, e 69% dos moradores se sentem satisfeitos.

Palavras chave: Qualidade do ar interno, ventilação mecânica centralizada e descentralizada, recuperação de calor, edifícios habitacionais, avaliação pós-ocupação.

ABSTRACT

It is believed that exposure to indoor air pollutants may have increased due to a variety of factors, including buildings that are more hermetic and reduce ventilation rates (for energy efficiency). Advanced theoretical models of building behavior can predict interactions among IAQ, energy consumption, ventilation and comfort but do not take into account the habits of residents. Complete knowledge about the habits and opinions of residents regarding ventilation systems is an efficacy condition for reducing the consumption of natural resources and for improvement of psychophysical comfort. In addition, uncomfortable occupants take steps to become comfortable, which may have energy implications. The purpose of mechanical ventilation is to transport the amount of air necessary to ensure IAQ with less power consumption and to make use of heat recovery to reduce the loss of ventilation. This study is an evaluation of post-occupancy housing in two buildings situated in the city of Esch-sur-Alzette, Luxembourg during spring conditions, considering mechanically ventilated environments and focusing on IAQ and the efficiency of ventilation systems, centralized and decentralized, with heat recovery. Concerning the results obtained from the questionnaires, it was concluded that, for 82% to 88% of residents, the IAQ and ventilation system are normal or very good, i.e. the residents are satisfied. From the results of measurements in situ, it was concluded that, in 82% of the apartments, the CO₂ concentration was below 1500 ppm (average value calculated in accordance with the standards ASHRAE 62.1, EN 15251, and NBR 16401. The relative humidity of indoor air was below 65% in 94% of cases studied, i.e. 14 of the 15 measured apartments. Internal temperatures were within the range of thermal comfort between 18° C and 27° C, and 69% of residents were satisfied.

Keywords: indoor air quality, centralized and decentralized mechanical ventilation, heat recovery, residential buildings, post-occupancy evaluation..

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Evolução da temperatura de conforto durante o ano para edifícios pacíficos ou não, sem aquecimento ou resfriamento.	13
Figura 2.2: Demanda térmica versus troca de ar em casas residenciais modernas.	16
Figura 3.1: PPD em função de PMV	30
Figura 4.1: Edifícios	32
Figura 4.2: Fachadas frontais	32
Figura 4.3: Fachadas laterais	32
Figura 4.4: Sistema de fornecimento e exaustão de ar	34
Figura 4.5: Sistemas Meltem com recuperação de calor	34
Figura 4.6: Funcionamento LTM Thermo-Lüfter	35
Figura 4.7: Funcionamento do dispositivo LTM Thermo-Lüfter	35
Figura 4.8: Funcionamento LTM Zentral	36
Figura 4.9: Funcionamento LTM Zentral	36
Figura 4.10: Sensor Wöhler	38
Figura 4.11: Montagem dos sensores	38
Figura 4.12: Airflow DIFF	39
Figura 4.13: Evolução da temperatura externa e umidade relativa externa para o período de 9 de Março 2015 à 14 de Abril de 2015, para a cidade de Esch-sur-Alzette	40
Figura 4.14: Relação umidade relativa exterior e temperatura exterior	40
Figura 5.1: Satisfação em relação ao Conforto Térmico nos apartamentos	41
Figura 5.2: Sensação dos moradores em relação ao ambiente interno.	42
Figura 5.3: Percentuais das ocorrências de sintomas da SBS apontados pelos moradores	43
Figura 5.4: Concentração de CO ₂ em função do tempo de medição.	46
Figura 5.5: Temperatura interna em % em função do tempo de medição	49
Figura 5.6: Umidade relativa em % em função do tempo de medição	51
Figura 5.7: Valores médios de temperatura, umidade relativa e concentração de CO ₂	52
Figura 5.8: Valores médios, máximos e mínimos da temperatura interna.	52
Figura 5.9: Valores médios, máximos e mínimos da umidade relativa	53
Figura 5.10: Valores médios, máximos e mínimos da concentração de CO ₂	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Concentrações em CO ₂ correspondendo à diversas observações.....	18
Tabela 3.1: Taxa de ventilação mínima em área de ocupação	21
Tabela 3.2: Requisitos de ventilação de ar para unidades de habitação, l/s	22
Tabela 3.3: Taxa de fluxo do ar para sistema local de ventilação mecânica com DCV.....	22
Tabela 3.4: Taxa de fluxo do ar para sistema local de ventilação mecânica contínua	22
Tabela 3.5: Valores recomendados para a temperatura interior em edificações com sistemas mecânicos de ventilação - HVAC.	24
Tabela 3.6: Taxa de ventilação para residências. Operação contínua da ventilação durante as horas de ocupação. Mistura completa.....	24
Tabela 3.7: Valores recomendados para umidade em espaços ocupados se sistemas de umidificação ou desumidificação são instalados.....	25
Tabela 3.8: Exemplo para concentrações de CO ₂ recomendadas acima da concentração do ar exterior para cálculos de energia e DCV	25
Tabela 3.9: Exemplos de projeto para o nível de pressão sonora ponderada	25
Tabela 3.10: Parâmetros ambientais.....	26
Tabela 3.11: Escala de 7 pontos de sensação térmica	28
Tabela 3.12: Distribuição dos votos de sensação térmica individuais para diferentes valores de voto médio	30
Tabela 3.13: Parâmetros normatizados.....	31
Tabela 4-1: Distribuição dos sistemas de ventilação.....	33
Tabela 5.1: Fluxo de ar medidos no Quarto 2, apartamento 0.3 630 - LTM.....	54
Tabela 5.2: Fluxo de ar medidos no Quarto 3, apartamento 2.4 630 - Lunos	54
Tabela 5.3: Fluxo de ar calculado para o Quarto 2, do apartamento 0.3 630 - LTM	54
Tabela 5.4: Fluxo de ar calculado para o Quarto 3, do apartamento 2.4 630 - Lunos.....	54
Tabela 5.5: Dados utilizados para cálculo do PMV e PPD	55
Tabela 5.6: Resultados do cálculo para PMV e PPD	55
Tabela 5.7: Comparação entre resposta do questionário e os valores calculados para sensação térmica do ocupante, nos apartamentos 0.3 630 (Quarto 2) e 2.4 630 (Quarto 3).....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Lista dos sintomas da Síndrome do Edifício Doente.....	14
Quadro 3.1: Descrição da aplicabilidade das categorias usadas.....	23

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E SIGLAS

ach – *Air change per hour* (Taxa de renovação do ar por hora)

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

cfm – *Cubic feet per Minute*

CEN - *Comité Européen de Normalisation*

DCV - *Demand-Controlled Ventilation* (Ventilação controlada por demanda)

HVAC: *Heating Ventilation and Air-Conditioning* (Sistemas mecânicos de ventilação, aquecimento e refrigeração)

m³/h - fluxo de volume operacional ponderada no tempo de um sistema de ventilação,

O&M – *Operations and Maintenance Manual*

PMV - *Predicted Mean Vote* (Voto Médio Previsto)

PPD - *Predicted Percentage Dissatisfied* (Percentual Previsto de Insatisfeitos)

ppm – parts per million

IAQ - *Indoor Air Quality* (Qualidade do Ar Interno)

ISO – *International Organization for Standardization*

Q_(tot) – Taxa de ventilação total

Q_{fân} – Taxa de ventilação por unidade de habitação

SBS - *Sick Building Syndrome* (Síndrome do Edifício Doente)

SNHBM – *La Société Nationale de Habitation à Bon Marché* (Sociedade Nacional de Habitações à Bon Marché)

VHR – *Ventilation Heat Recovery* (Ventilação com recuperação de calor)

T_o – Temperatura operativa

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1.	OBJETIVOS.....	12
1.1.1.	Objetivo geral.....	12
1.1.2.	Objetivos específicos.....	12
2.	ESTADO DA ARTE	13
2.1.	Temperatura e Umidade.....	14
2.2.	Ventilação	15
2.2.1.	Ventilação mecânica.....	16
2.3.	Ruído.....	18
2.4.	Dióxido de carbono (CO ₂).....	18
3.	NORMAS E PARÂMETROS PARA IAQ.....	20
3.1.	ASHRAE 62.1	20
3.2.	ASHRAE 62.2	21
3.3.	EN 15251	23
3.4.	NBR 16401	26
3.5.	ISO 7730.....	27
3.5.1.	PMV	28
3.5.2.	PPD.....	29
4.	MATERIAL E MÉTODO.....	32
4.1.	Os sistemas de ventilação	33
4.1.1.	Lunos	33
4.1.2.	Meltem.....	34
4.1.3.	LTM Thermo-Lüfter.....	35
4.1.4.	LTM Zentral	36
4.2.	Questionário.....	37
4.3.	Equipamentos de medição	37
4.3.1.	Concentração de CO ₂	37
4.3.2.	Parâmetros térmicos internos.....	38
4.3.3.	Fluxo de ar nos sistemas de ventilação.....	39

4.4.	Temperatura do ambiente externo	39
5.	RESULTADOS	41
5.1.	Questionário.....	41
5.2.	Medições in loco	44
5.3.	Questionário X Medições	55
6.	CONCLUSÕES	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
	APÊNDICE A- Questionário sobre a ventilação mecânica e a qualidade do ar interior.....	63
	APÊNDICE B – Dados brutos dos questionários aplicados nas edificações.	65
	APÊNDICE C –Gráficos de Concentração de CO ₂ , Temperatura e Umidade Relativa interna, para cada apartamento, durante o período de medição de 09/03/2015 à 14/04/2015.....	70
	ANEXO A –Planta baixa de cada pavimento, fornecidas pela SNHBM.	79

1. INTRODUÇÃO

Com as crescentes taxas de construção e conseqüente demanda de energia, razões ambientais, epidemiológicas e econômicas aumenta-se a necessidade de se projetar edifícios residenciais energeticamente eficientes e que proporcionem conforto térmico e boa qualidade do ar interno (IAQ) aos seus usuários. (MAIER; KRZACZEK; TEJCHMAN, 2009; ALVES; DUARTE; GONÇALVES, 2016; SANTOS; LEAL, 2012)

A qualidade do ambiente interno pode afetar negativamente o estilo de vida, a produtividade e o conforto dos ocupantes, podendo causar problemas físicos, psicológicos e sociais, e levar a deterioração da qualidade de vida destes ocupantes. Desse modo, é fundamental um maior esforço na melhoria dos ambientes habitacionais para fornecer a todos padrões de vida mais elevados e melhorar o desempenho de trabalho e aprendizagem e reduzir a ociosidade. (LEE; KIMB, 2015) (CEN, 2007)

Em um contexto amplo, a Qualidade do Ar Interno (IAQ – *Indoor Air Quality*) é o resultado de complexas interações entre o ambiente, a função do sistema de construção e as pessoas. (LAI et al., 2009). A IAQ nos edifícios residenciais depende de muitos parâmetros e fontes, como o número de pessoas (tempo de ocupação), as emissões de atividades desenvolvidas (tabagismo, umidade, intensivo uso da cozinha), as emissões de mobiliário, materiais de revestimento e produtos de limpeza, os hobbies, entre outros (CEN, 2007). A “consciência energética” dos moradores afeta o consumo energético e a satisfação dos residentes em geral. Assim, quanto mais os moradores estão cientes da importância dos custos e economia de energia, maior é a Qualidade do Ar Interno, aumentando a satisfação geral dos usuários, (LEE; KIMB, 2015). Pois, ocupantes desconfortáveis são susceptíveis a tomar medidas para melhorar o conforto ambiental, mesmo que essas ações tenham implicações energéticas (CEN, 2007; MAIER; KRZACZEK; TEJCHMAN, 2009)

A ventilação é uma estratégia com grande impacto na qualidade de ar interno do edifício e no conforto dos usuários. Resultados mostram que a economia de energia na Ventilação com Recuperação de Calor (VHR - *Ventilation Heat Recovery*), pode ser muito significativa,

dependendo do tipo de sistema de fornecimento de calor, da hermeticidade em climas frios dos edifícios e do aumento do uso de eletricidade para operar o sistema VHR. O projeto e a instalação adequados são fundamentais para alcançar a potência específica do ventilador na prática. A economia de energia primária da VHR é maior em construção passiva, aquela com consumo energético muito baixo, do que em construção convencional, confirmando que o desempenho dos sistemas VHR melhora com o aumento da hermeticidade. Por isso, a hermeticidade dos edifícios deve estar no mesmo nível que as novas construções passivas para minimizar o uso de energia primária quando se utiliza os sistemas VHR. (DODOOA; GUSTAVSSONA; SATHREA, 2011)

Tendo em vista estes aspectos nesta pesquisa faz-se uma avaliação pós-ocupação em edifícios habitacionais, considerando ambientes mecanicamente ventilados, com foco na IAQ e na eficácia de sistemas de ventilação.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Fazer uma avaliação pós-ocupação em edifícios habitacionais, considerando ambientes mecanicamente ventilados, com foco na IAQ e na eficácia de sistemas de ventilação.

1.1.2. Objetivos específicos

- Fazer um levantamento do estado da arte sobre IAQ e ventilação mecânica com recuperação de calor (VHR);
- Analisar parâmetros normatizados relacionados à IAQ – temperatura, umidade relativa, taxa de renovação de ar e concentrações de dióxido de carbono (CO₂);
- Avaliar o conforto dos ocupantes e a IAQ do ambiente interno, por meio de medições da temperatura e umidade relativa do ar e de concentração de CO₂;
- Relacionar os dados da IAQ obtidos pelas medições e respostas dos ocupantes ao uso dos sistemas de ventilação mecânica.

2. ESTADO DA ARTE

Segundo Roulet (2008) o conforto é um estado de bem-estar estável, medido pela porcentagem de ocupantes insatisfeitos num dado ambiente. Se a proporção de insatisfeitos é baixa, o conforto é julgado como aceitável. No entanto, deve-se ressaltar que um conforto muito estável pode ser monótono, e variações são bem vindas. O metabolismo, a atividade, a vestimenta e a saúde dos ocupantes, assim como alguns parâmetros como condições térmicas (temperatura do ar e das superfícies), qualidade do ar interior (velocidade do ar, umidade relativa, odores), acústica (nível de ruído e tempo de reverberação) e lumínica (iluminação, estética e cores) podem ser controlados. Certos edifícios são naturalmente confortáveis, enquanto outros necessitam de importantes instalações técnicas para garantir condições aceitáveis. Na Figura 2.1 mostra-se como a faixa de temperatura de conforto varia com a estação do ano. O objetivo principal de um edifício é garantir um ambiente confortável. Para isso, as exigências de conforto luminoso, acústico, e térmico devem ser atendidos, e uma boa IAQ deve ser assegurada.

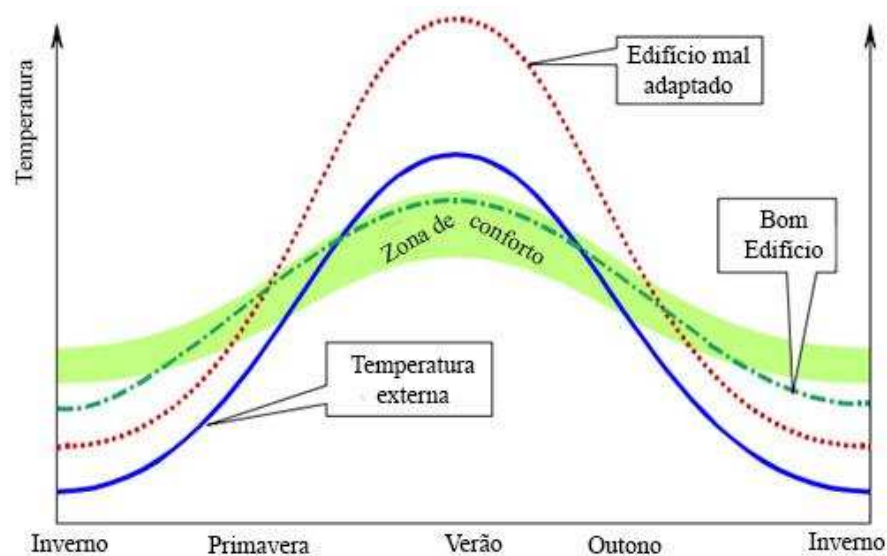


Figura 2.1: Evolução da temperatura de conforto durante o ano para edifícios pacíficos ou não, sem aquecimento ou resfriamento.

Fonte: ROULET, 2008.

Edificações que não conseguem alcançar estas exigências são conhecidas como edifícios doentes SBS (*Sick Building Syndrome*), ou seja, Síndrome do Edifício Doente. A SBS é a reação da maioria dos ocupantes de um imóvel ao seu ambiente interno. Esta reação não está diretamente

ligada às causas evidentes, tais como uma exposição à uma concentração excessiva de um contaminante ou à um defeito do sistema de ventilação. As pessoas que desenvolvem a SBS veem geralmente seus sintomas desaparecerem quando elas deixam o imóvel. (ROULET, 2008; SILVA, 2003). Na Quadro 2.1 fornece-se uma lista de alguns desses sintomas.

Quadro 2.1: Lista dos sintomas da Síndrome do Edifício Doente

Sintomas mais frequentes	Outros sintomas observados
Olhos secos, irritados, que formigam	Olhos lacrimejando
Nariz congestionado, respiração pelo nariz difícil	Coriza nasal, uso frequente de lenço
Garganta seca	Aperto no peito, dificuldade de respirar
Dores de cabeça	Sintomas da gripe
Pele seca	Pele irritada, erupções
Apatia, cansaço	

Fonte: ROULET, 2008

Um ambiente confortável e com qualidade de ar adequada e saudável é favorável para os ocupantes. Nos últimos anos, o conforto térmico interior melhorou muito, devido ao desenvolvimento de sistemas condicionadores de ar mais eficientes. No entanto, os problemas de saúde relacionados à má IAQ aparecem com mais frequência, e são os poluentes interiores que levam à má IAQ. Os novos meios de fornecimento de ar possuem potencial de destaque para a economia de energia e/ou podem proporcionar um ar ambiente interior confortável e saudável, (YUA et al., 2009).

O sistema de distribuição de ar afeta os padrões de fluxo de ar e a extensão de mistura do ar, que por sua vez afeta a qualidade do ar interno e as condições térmicas no espaço. Além disso, o IAQ na zona de respiração pode variar para cada tipo de sistema. Por exemplo, uma concentração elevada de partículas pode existir no interior, mesmo se o sistema de distribuição de ar apresenta uma boa eficiência de ventilação. (PEREIRA et al., 2009)

2.1. Temperatura e Umidade

A temperatura e umidade relativa do ar interno impactam na percepção e na aceitabilidade da IAQ, (FANG et al., 2004) A umidade relativa do ar é de especial preocupação na ventilação residencial, pois está relacionada como a maior causa dos efeitos adversos à saúde e à desordem

do edifício (condensação, bolores, entre outros), (CEN, 2007). A intensidade da fadiga, dores de cabeça e dificuldade de raciocínio são diminuídas em salas de escritórios quando os ocupantes trabalham em níveis ligeiramente mais baixos de temperatura e umidade relativa do ar. Tal percepção da melhoria da qualidade do ar, devido à diminuição da temperatura e umidade relativa do ar interior, pode ser usado para compensar o efeito negativo da redução da taxa de fornecimento de ar exterior em 10 à 3,5 l/s por pessoa. (FANG et al., 2004).

A sensação de conforto térmico é essencialmente subjetiva e está relacionada principalmente com o equilíbrio térmico do seu corpo como um todo. Este equilíbrio é influenciado pela atividade física e vestuário, bem como os parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e umidade do ar. Devido às grandes variações individuais, fisiológicas e psicológicas, não é possível determinar condições que possam proporcionar conforto para 100 % das pessoas, (ABNT 2008; ISO, 2005).

Observa-se que a ocorrência de ondas de calor, o aumento inesperado e persistente na temperatura do ar tende a gerar desconforto térmico ainda mais acentuado. A combinação de ambos os fenômenos pode levar a um efeito potencial de desconforto térmico, fazendo condições térmicas inóspitas para o conforto humano, além de implicar um maior consumo de energia para o condicionamento de ar (ALVES; DUARTE; GONÇALVES, 2016).

Bornehag et al. (2001) mostram que o teor de umidade relativa do ar em edifícios está associada aos sintomas respiratórios, como tosse e chiado e, em menor quantidade, à asma; e aos sintomas gerais, como cansaço, dores de cabeça e sintomas de infecções das vias aéreas superiores.

2.2. Ventilação

O condicionamento de ar é o processo que objetiva controlar simultaneamente: a temperatura, a umidade, a movimentação, a renovação e a qualidade do ar de um ambiente, (ABNT, 2008; ASHRAE, 2013a). O sistema de ar condicionado controla a qualidade do ar interior por meio da renovação do ar exterior e pela filtragem de todo o ar insuflado. A renovação de ar reduz a concentração no ambiente de poluentes gasosos, biológicos e químicos não retidos nos filtros. A

filtração do ar tem como função reduzir a concentração no ambiente dos poluentes trazidos do ar exterior e os gerados internamente, os quais são transportados pelo ar recirculado, evitando a sua acumulação no sistema, (ABNT, 2008).

A ventilação inadequada leva a cheiros desagradáveis ou sensação ruim e desconforto térmico. Por outro lado, uma taxa de troca de ar muito grande aumenta a troca de calor, que influenciam o consumo de energia, no inverno. Os sistemas de ventilação mecânica asseguram os coeficientes para a saúde física e mental, com a troca de ar a uma taxa de 0,3 à 0,5 1/h (Figura 2.2) e evita (devido à ventilação controlada) grandes perdas de calor em climas frios. As perdas de calor através da envoltória do edifício têm de ser reduzidas para aumentar o efeito do sistema de ventilação sobre o conforto e reduzir o consumo de energia. Os edifícios devem ser equipados com janelas operáveis e os sistemas de ventilação devem ser concebidos e fabricados de acordo com as preferências dos ocupantes e suas expectativas em relação ao conforto (MAIER; KRZACZEK; TEJCHMAN, 2009).

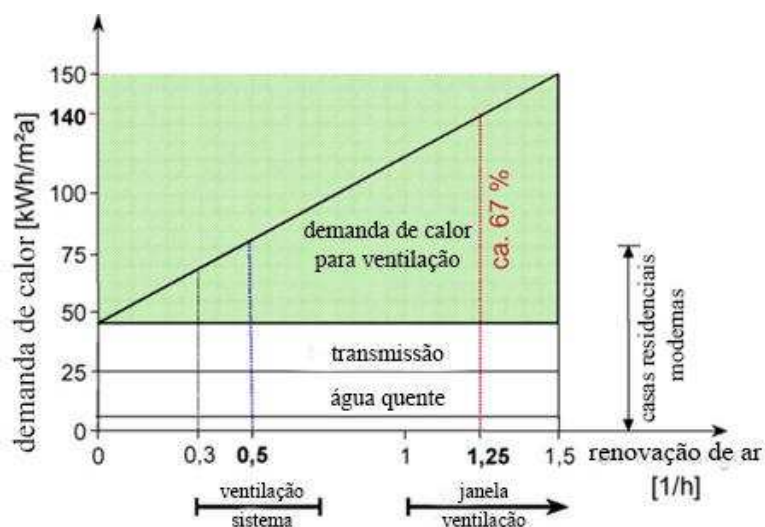


Figura 2.2: Demanda térmica versus troca de ar em casas residenciais modernas.
Fonte: MAIER; KRZACZEK; TEJCHMAN, 2009

2.2.1. Ventilação mecânica

A qualidade do ar interno (IAQ) é um dos mais importantes indicadores de desempenho do sistema de distribuição de ar, particularmente em termos de concentração e distribuição de

contaminantes no ar. A eficácia do sistema de ventilação é caracterizada pela eficiência do sistema de distribuição de ar na remoção de poluentes geradas internamente a partir do espaço ventilado, (PEREIRA et al., 2009).

Segundo Roulet (2008), o objetivo das instalações de ventilação atuais é fornecer o ar puro para as edificações, substituindo o ar viciado. A ventilação mecânica consiste em fazer o ar circular dentro de uma edificação através de ventiladores e dutos de ventilação. O ar fresco exterior entra por uma grelha e passa através de um filtro, e então chega em um duto para ser distribuído nos espaços de ventilação. O ar extraído do interior passa, eventualmente, no recuperador de calor e em seguida é evacuado.

Em termos de eficiência energética, o objetivo da ventilação mecânica é de transportar a quantidade de ar necessária para assegurar a IAQ com o menor consumo de energia e fazer uso da recuperação de calor para diminuir as perdas na ventilação. A ausência de dutos é a maior vantagem do sistema descentralizado, resultando em menores perdas de pressão, fácil instalação e manutenção dos dutos, (MERZKIRCH et al., 2015).

Os sistemas de ventilação mecânica com recuperação de calor apresentam um consumo de energia térmica cerca de 10-30% inferior a ventiladores individuais e à ventilação natural. O consumo de energia térmica calculada teoricamente foi superior em cerca de 36% do que o valor médio medido para todos os sistemas de ventilação, em edificações situadas na Alemanha. (MAIER, KRZACZEK E TEJCHMAN, 2009).

No entanto, muitos problemas, decorrentes de projeto, de instalação, bem como de aceitabilidade dos ocupantes, foram encontrados. A maioria das falhas e deficiências observadas podem ser causados por: má fabricação de componentes (vazamento na troca de calor); seleção e instalação impróprias de componentes (superdimensionamento de ventiladores); balanceamento de fluxo do sistema ruim e colocação em funcionamento inadequado (resultando em grandes variações das taxas de fluxo nos quartos individuais); elevada emissão sonora em terminais de abastecimento e de extração de ar; excessivo arejamento pelas janelas pelos ocupantes e baixa aceitação geral, (DORER; BREER, 1998). Além disso, para ambos os dispositivos centralizados e

descentralizados com regeneração de calor, as infiltrações diminuem o fluxo de entrada de ar fresco, tornando-se necessário aumentar os fluxos de ar para cobrir a demanda. Este novamente leva a um maior consumo de energia dos ventiladores e a níveis de ruído superiores, que são na maioria dos casos o fator limitante especialmente para dispositivos descentralizados, (MERZKIRCH et al., 2015).

2.3. Ruído

Todos os sons que perturbam, irritam, ou são prejudiciais às atividades cotidianas, tais como trabalho, descanso, estudo e entretenimento, são considerados ruídos. Na verdade, qualquer som julgado indesejável pelo receptor pode ser considerado um ruído. O ruído pode ser contínuo ou impulsivo e os dois tipos podem causar efeitos adversos sobre o bem-estar físico, mental e social (LAI et al., 2009). Segundo Lee e Kimb (2015), as condições de ruído também se diferem entre as estações do ano, em que no verão há maior insatisfação do que no inverno.

2.4. Dióxido de carbono (CO₂)

O dióxido de carbono (CO₂) é um gás incolor e inodoro, resultante da combustão completa do carbono e de compostos orgânicos, (ROULET, 2008). O CO₂ é facilmente medido por absorção infravermelho e é frequentemente utilizado como indicador de poluição proveniente dos ocupantes, que são a fonte principal de CO₂ nas edificações (ABNT, 2008; ROULET, 2008). Nenhum efeito notável é observado à concentração menor que 2000 ppm (*parts per million*) ou 0,2%, (ROULET, 2008). Na Tabela 2.1 mostra-se alguns efeitos observados em diversas concentrações.

Tabela 2.1 - Concentrações em CO₂ correspondendo à diversas observações.

Concentração	Observação
0,5%	Letargia
1,5%	Respiração mais rápida e difícil
3%	Dor de cabeça, confusão, náusea
6-8%	Torpor, morte

Fonte: ROULET, 2008

Um nível de CO₂ interior aceitável deve ser mantido abaixo de 1000 ppm ou 650 ppm acima do nível do ambiente exterior, a fim de evitar qualquer acúmulo associado ao odor do corpo humano, (LAI et al., 2009; ABNT, 2008). Segundo Roulet (2008) a concentração de CO₂ nas cidade podem chegar a 700 ppm ou mais, devido à atividade humana e à utilização de combustíveis fósseis. Em termos de satisfação dos ocupantes, a IAQ aceitável significa ar ambiente em que não haja contaminantes em níveis de concentração prejudiciais e, 80% das pessoas expostas a ele não expressam qualquer insatisfação (LAI et al., 2009; ASHRAE, 2013a).

Maier, Krzaczek e Tejchman (2009) relatam que no caso da qualidade do ar em relação à concentração de CO₂, os sistemas de ventilação mecânica atingem de 40-50% melhores resultados do que os sistemas com ventilação natural. Por sua vez, o sistema de ventilação mecânica com ventiladores individuais apresentam resultados cerca de 30% melhores do que o sistema da ventilação mecânica com elementos principais de ar interior e exterior, e cerca de 10% melhores do que o sistema com aquecimento do ar.

3. NORMAS E PARÂMETROS PARA IAQ

Neste capítulo são apresentadas as normas ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2013a) e ASHRAE 62.2 (ASHRAE, 2013b), EN 15251 (CEN, 2007), ISO 7730 (ISO, 2005) e NBR 16401 (ABNT, 2008). Os valores recomendados serão utilizados como referência para a avaliação da IAQ.

3.1. ASHRAE 62.1

O objetivo da norma ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2013a) é especificar as taxas mínimas de ventilação e a Qualidade do Ar Interior (IAQ) nos edifícios, as quais minimizam o potencial de efeitos adversos à saúde.

Os sistemas de condicionamento de ar com capacidade de desumidificação devem ser projetados de modo que, em áreas de ocupação, a umidade relativa do ar seja limitada a 65% ou menos. Os parâmetros para uma zona de ventilação devem ser determinados de acordo com o fluxo de ar necessário para o espaço ocupado. A capacidade populacional da zona será igual ao maior número de pessoas esperadas para ocupá-la durante um dia típico. Se não for possível estabelecer o número de pessoas que deverão ocupar uma zona para um projeto específico, é permitido um valor estimado para o fluxo de ar, desde que este esteja em acordo com os dados apresentados na Tabela 3.1.

O projeto do sistema de ventilação, operação e manutenção deverão ser reavaliados quando houver mudanças na utilização do edifício ou na ocupação, alterações significativas de construção, ou outras alterações inconsistentes com as premissas de projeto.

Manter uma concentração de CO₂ em equilíbrio e não superior a cerca de 700 ppm acima dos níveis do ar exterior vai indicar que a grande maioria dos visitantes que entrarem no ambiente ficarão satisfeitos em relação ao odor corporal. As concentrações de CO₂ no ar exterior aceitável tipicamente variam de 300 a 500 ppm.

Tabela 3.1: Taxa de ventilação mínima em área de ocupação

Categoria De Ocupação	Pessoas		Área		Notas	Valores Padrão	
	Taxa Ar Exterior		Taxa Do Ar Exterior - R_a			Densidade	Combinação
	R_p					Ocupante (ver nota 4)	Taxa Do Ar Exterior (ver nota 5)
	Cfm/pessoa	L/s.pessoa	Cfm/ft ²	L/s.m ²		#/1000ft ² ou #/100 m ²	cfm/pessoa L/s.pessoa
Residencial							
Unidade de habitação	5	2.5	0.06	0.3		F	- -
Corredores comuns	-	-	0.06	0.3	F, G		- -
NOTA GERAIS DA TABELA 3-1							
1 Requisitos relacionados: As taxas desta tabela são baseados em todos os outros requisitos aplicáveis deste padrão a ser cumpridos.							
2 Ambiente de Fumo do Tabaco: Esta tabela se aplica a áreas não-fumantes.							
3 Densidade do ar: as taxas de fluxo de ar volumétricas são baseados em uma densidade do ar de 0,075 lb _{da} /ft ³ (1,2 kg _{da} /m ³), que corresponde ao ar seco a uma pressão barométrica de 1 atm (101,3 kPa) e uma temperatura do ar de 70° F (21° C). As taxas podem ser ajustadas para a densidade real, mas essa adaptação não é necessário para o cumprimento desta norma.							
4 Densidade de ocupação padrão: A densidade ocupante padrão deve ser utilizado quando não se sabe a densidade de ocupação real.							
5 Taxa do ar exterior combinado padrão (por pessoa): Esta taxa é baseada na densidade de ocupação padrão.							
ITEM – NOTAS ESPECÍFICAS PARA A TABELA 3-1							
F Ocupação padrão para unidades habitacionais serão duas pessoas para estúdio e de um quarto, com uma pessoa adicional para cada quarto adicional.							
G O ar de uma habitação residencial não deve ser recirculado ou transferido para qualquer outro espaço fora dessa habitação.							

Fonte: ASHRAE, 2013a.

3.2. ASHRAE 62.2

A norma ASHRAE 62.2 (ASHRAE, 2013b) define os parâmetros e requisitos mínimos para os sistemas de ventilação mecânica e natural, e para as fachadas do edifício que se destinam a proporcionar uma qualidade aceitável do ar interior em pequenos edifícios residenciais.

Um sistema mecânico de exaustão, abastecimento, ou uma combinação destes, deve ser instalado para cada unidade de habitação e fornecer continuamente a ventilação com ar exterior para todo o edifício. A taxa de ventilação mecânica necessária para os edifícios multifamiliares por unidade de habitação, Q_{fan} , deve seguir as taxas especificadas conforme mostrado na Tabela 3.2. Esta assume duas pessoas em um estúdio ou um quarto em unidade de habitação e uma pessoa a mais para cada quarto adicional. Quando são conhecidas densidades de ocupação mais elevadas, a taxa será aumentada em 3,5 l/s para cada pessoa adicional. Corredores e outras áreas comuns do espaço condicionado devem ser providos de ventilação a uma taxa de 30 l/s por 100 m² de área útil.

Tabela 3.2: Requisitos de ventilação de ar para unidades de habitação, l/s

Área bruta (m ²)	Quartos				
	1	2	3	4	>5
<46	14	19	21	26	28
47-93	21	26	28	33	35
94-139	28	33	35	40	42
140-186	35	40	42	47	50
187-232	42	47	50	54	57
233-279	50	54	57	61	64
280-325	57	61	64	68	70
>326	63	68	70	75	78

Fonte: ASHRAE, 2013b.

O sistema de ventilação mecânica de um edifício é composto por um ou mais ventiladores de abastecimento ou exaustão associados a dutos e controladores. Exaustores locais são autorizados a compor parte de um sistema de exaustão mecânica total.

Um sistema de exaustão mecânica deve ser instalado em cada cozinha e banheiro. Existem dois tipos de sistemas de exaustão mecânica, contínuo e controle por demanda (DCV - *demand-controlled ventilation*). O sistema de exaustão mecânica com DCV deve ser concebido para ser operado conforme a necessidade do ocupante. A taxa mínima de fluxo de ar deve ser o valor indicado conforme mostrado na Tabela 3.3. O sistema de exaustão mecânica de funcionamento contínuo deve ser instalado para funcionar sem intervenção do ocupante. O sistema deve ser projetado para operar durante todas as horas de ocupação. A ventilação mínima deve ser igual à quantidade indicada na Tabela 3.4.

Tabela 3.3: Taxa de fluxo do ar para sistema local de ventilação mecânica com DCV

Aplicação	Fluxo do ar	Notas
Cozinha	100 cfm (50 l/s)	Exaustor ventilador (incluindo combinações de equipamentos de aspiração de ar) necessário se a vazão do exaustor é inferior a 5 renovações de ar por hora (ach) na cozinha.
Banheiro	50 cfm (25 l/s)	

Fonte: ASHRAE, 2013b.

Tabela 3.4: Taxa de fluxo do ar para sistema local de ventilação mecânica contínua

Aplicação	Fluxo do ar	Notas
Cozinha	5 ach	Baseado no volume da cozinha
Banheiro	20 cfm (10 l/s)	

Fonte: ASHRAE, 2013b.

3.3. EN 15251

A norma EN 15251 (CEN 2007) especifica como os critérios de projeto podem ser estabelecidos e utilizados para o dimensionamento de sistemas. Ela define como estabelecer e definir os principais parâmetros a serem utilizados como entrada para o cálculo da energia e a avaliação a longo prazo do ambiente interno.

Segundo a norma EN 15251 (CEN 2007), o ambiente interior em um edifício pode ser classificado por meio de: (a) critérios utilizados para os cálculos de energia (edifícios novos); (b) simulações computacionais para o desempenho anual do ambiente interior e da energia (edifícios novos e existentes); (c) mensuração a longo prazo de parâmetros selecionados para o ambiente interior (edifícios existentes); e (d) respostas subjetivas de ocupantes (edifícios existentes).

Valores de entrada recomendados para a umidade relativa do ar são dados para cada uma das diferentes categorias. Uma breve descrição das categorias de conforto é apresentada no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Descrição da aplicabilidade das categorias usadas

Categoria	Explicação
I	Alto nível de expectativa, é recomendado para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com requisitos especiais, como doentes, crianças, com alguma deficiência e idosos.
II	Nível normal de expectativa e deve ser usado para novas construções e renovações
III	Um nível aceitável, moderado de expectativa e pode ser usado para edifícios existentes.
IV	Valores fora dos critérios para as categorias acima. Esta categoria só deve ser aceita para uma parte limitada do ano.

Fonte: CEN, 2007.

Para os edifícios residenciais são recomendadas temperaturas operacionais internas ($T_{operativas}$), definida como temperatura uniforme de um recinto fechado preto imaginário e o ar no seu interior, em que um ocupante troca a mesma quantidade de calor por radiação e convecção como no ambiente real não uniforme; calculada de acordo com norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013c), para os sistemas de ventilação, aquecimento e refrigeração (HVAC – *Heating, Ventilation and air-Conditioning*) conforme apresentados na Tabela 3.5. Para atingir o conforto térmico, os valores para o dimensionamento dos sistemas de refrigeração são os valores superiores do

intervalo de tempo e para o dimensionamento do sistema de aquecimento são os valores inferiores.

Tabela 3.5: Valores recomendados para a temperatura interior em edificações com sistemas mecânicos de ventilação - HVAC.

Tipo de edificação/espaço	Categoria	Temperatura Operativa °C	
		Mínimo para aquecimento (inverno) ~ 1,0 clo	Máximo para resfriamento (verão) ~ 0,5 clo
Edifícios residenciais: espaços de convivência (quartos, salas de estar, cozinhas, etc) Sedentário ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Edifícios residenciais: outros espaços (depósitos, corredores, etc) Em pé – andando ~ 1,6 met	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	

Fonte: CEN, 2007.

O dimensionamento das taxas de ventilação necessárias deve ser especificado como uma troca de ar por hora para cada cômodo, e/ou no fornecimento de ar exterior e/ou taxas de exaustão necessárias (banheiros, cozinhas, etc) ou administradas como uma taxa global de troca de ar necessária. O fornecimento de ar para cozinhas e sanitários pode ser feito com ar proveniente dos quartos e salas. Na Tabela 3.6 apresenta-se os critérios para as taxas de renovação do ar para sistemas de ventilação mecânica contínua. Os valores apresentados na tabela assumem uma mistura completa de ar no cômodo (isto é, a concentração de poluentes dos gases na exaustão é igual na zona ocupada).

Tabela 3.6: Taxa de ventilação para residências. Operação contínua da ventilação durante as horas de ocupação. Mistura completa.

Categoria	Taxa de renovação do ar ^a		Salas de convivências, quartos Fluxo fornecimento de ar exterior		Fluxo de exaustão de ar, l/s		
	l/s por m ² (1)	ach	l/s por pes ^b (2)	l/s por m ² (3)	Cozinha (4a)	Banheiros (4b)	Toaletes (4)
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

^a A taxa de renovação do ar expressa em l/s.m² e ach correspondem um ao outro quando a altura do teto é de 2,5 m.
^b O número de ocupantes na residência pode ser estimado de acordo com o número de quartos. As suposições feitas em nível nacional tem que ser usado quando existente; eles podem variar devido ao consumo de energia e para cálculos de IAQ.

Fonte: CEN, 2007.

Segundo a norma EN 15251 (CEN, 2007), a umidificação do ar interior geralmente não é necessária. A umidade tem apenas um pequeno efeito sobre a sensação térmica e a qualidade do ar percebida nas salas de ocupação sedentária. No entanto, a longo prazo a alta umidade dentro de casa irá causar o crescimento microbiano, e a umidade muito baixa (<15-20%) provoca secura e irritação dos olhos e vias aéreas. Caso haja necessidade de umidificação ou desumidificação são recomendados os valores conforme apresentados da Tabela 3.7.

Tabela 3.7: Valores recomendados para umidade em espaços ocupados se sistemas de umidificação ou desumidificação são instalados.

Tipo de edificação/espaço	Categoria	Projeto de umidade relativa para desumidificação, %	Projeto de umidade relativa para umidificação, %
Espaços em que o critério de umidade é definido pela ocupação humana. Espaços especiais (museus, igrejas, etc) podem exigir outros limites.	I	50	30
	II	60	25
	III	70	20
	IV	>70	<20

Fonte: CEN, 2007.

Os parâmetros recomendados para o cálculo de CO₂ são apresentados na Tabela 3.8. Os valores listados para as concentrações de CO₂ também podem ser utilizados para a ventilação controlada por demanda (DCV - *Demand-Controlled Ventilation*).

Tabela 3.8: Exemplo para concentrações de CO₂ recomendadas acima da concentração do ar exterior para cálculos de energia e DCV

Categoria	Concentração de CO₂ acima do ar exterior em ppm para cálculos de energia
I	350
II	500
III	800
IV	<800

Fonte: CEN, 2007.

Crítérios para o nível de pressão sonora para sistemas internos de alguns espaços e edifícios são apresentados na Tabela 3.9.

Tabela 3.9: Exemplos de projeto para o nível de pressão sonora ponderada

Edifício	Tipo de espaço	Nível de pressão sonora [dB(A)]	
		Intervalo típico	Valor padrão
Residencial	Salas de convivência	25 a 40	32
	Quartos	20 a 35	26

Fonte: CEN, 2007.

3.4. NBR 16401

A Norma NBR 16401 (ABNT, 2008) estabelece os parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar condicionado, desenvolvendo atividade leve ou sedentária.

A infiltração de ar é normalmente provocada pelo efeito de ventos e de diferenças de pressão devidas ao efeito chaminé e, quando não mantida sob controle, implica em taxa adicional de ar exterior e conseqüentemente de carga térmica para o sistema.

Os parâmetros ambientais que afetam o conforto térmico são: a temperatura operativa; a velocidade do ar; e a umidade relativa do ar, (Tabela 3.10).

Tabela 3.10: Parâmetros ambientais

Verão (roupa típica 0,5 clo)	Inverno (roupa típica 0,9 clo)
Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por: <ul style="list-style-type: none">▪ 22,5 °C a 25,5 °C e umidade relativa de 65 %▪ 23,0 °C a 26,0 °C e umidade relativa de 35 %	Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por: <ul style="list-style-type: none">▪ 21,0 °C a 23,5 °C e umidade relativa de 60 %▪ 21,5 °C a 24,0 °C e umidade relativa de 30 %
A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar: <ul style="list-style-type: none">▪ 0,20 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30 % a 50 %)▪ 0,25 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10 %)	A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar: <ul style="list-style-type: none">▪ 0,15 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30 % a 50 %)▪ 0,20 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10 %)

Fonte: ABNT, 2008.

A conformidade dos parâmetros ambientais deve ser avaliada quando há instalações novas e após a execução de reformas ou modificações dos locais ou do sistema, e sempre que houver suspeita de desvio, queixa ou contestação.

A vazão eficaz de ar exterior V_{ef} é considerada constituída pela soma de duas partes, avaliadas separadamente: a vazão relacionada às pessoas, (admitindo pessoas adaptadas ao recinto) e a vazão relacionada à área ocupada. A V_{ef} é calculada pela equação:

$$V_{ef} = P_z \cdot F_p + A_z \cdot F_a \quad (3.1)$$

Onde V_{ef} é a vazão eficaz de ar exterior (l/s); F_p é vazão por pessoa (L/s*pessoa), (Tabelado); F_a é vazão por área útil ocupada (L/s* m²), (Tabelado); P_z é o número máximo de pessoas na zona de ventilação; A_z é a área útil ocupada pelas pessoas (m²).

O sistema de ar condicionado deve filtrar continuamente o material particulado trazido pelo ar exterior e os gerados internamente e transportados pelo ar recirculado, a fim de reduzir a acumulação de poluentes nos equipamentos e dutos do sistema; e contribuir para reduzir sua concentração de poluentes no recinto a níveis aceitáveis. A concentração máxima de CO₂ considerada aceitável é de 3500ppm. Uma medição acima de 1000 ppm não indica que o critério não é satisfeito, desde que a medição não ultrapasse em mais de 700 ppm a concentração no ar exterior. A concentração de CO₂ não pode ser considerada o único gás indicador da qualidade do ar do recinto, pois inúmeros poluentes químicos presentes, além dos produzidos pelas pessoas, não tem nenhuma relação com a concentração de CO₂, (ABNT, 2008).

3.5. ISO 7730

A norma ISO 7730 (ISO, 2005) apresenta métodos para prever a sensação térmica geral e grau de desconforto (insatisfação térmica) de pessoas expostas a ambientes moderadamente quentes. Ela permite a determinação e interpretação do conforto térmico usando o cálculo analítico do Voto Médio Estimado (PMV - *Predicted Mean Vote*) e do Percentual de Insatisfeitos (PPD - *Predicted Percentage Dissatisfied*) e os critérios de conforto térmico locais, dadas as condições ambientais consideradas aceitáveis para o conforto térmico geral, bem como aquelas que representam desconforto local.

A sensação térmica de um ser humano está relacionada principalmente com o equilíbrio térmico do seu corpo como um todo. Este equilíbrio é influenciado pela atividade física e vestuário, bem como os parâmetros ambientais: temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade e umidade do ar. Por isso, estes fatores têm sido medidos ou estimados, e a sensação térmica para o corpo como um todo pode ser prevista por meio do cálculo do PMV.

O PPD fornece informações sobre o índice de desconforto térmico ou a insatisfação térmica ao prever o percentual de pessoas que possam sentir calor ou frio em um determinado ambiente. Este pode ser obtido a partir do PMV.

3.5.1. PMV

O PMV é um índice que prevê o valor médio dos votos de um grande grupo de pessoas a partir de uma escala de 7 pontos de sensação térmica (Tabela 3.11), com base no balanço de calor do corpo humano. O equilíbrio térmico é obtido quando a produção de energia interna do corpo é igual à perda de calor para o ambiente. Em um ambiente moderado, o sistema termorregulador humano tentará automaticamente modificar a temperatura da pele e o suor para manter o equilíbrio térmico.

Tabela 3.11: Escala de 7 pontos de sensação térmica

+3	Muito Quente
+2	Quente
+1	Pouco Quente
0	Neutro
-1	Fresco
-2	Frio
-3	Muito frio

Fonte: ASHRAE, 2013c

Calcular o PMV usando as equações (3.2) a (3.5):

$$PMV = [0,303 \times \exp(-0,036 \times M) + 0,028] \times \left\{ \begin{array}{l} \{(M - W) - 3,05 \times 10^{-3} \times [5733 - 6,99 \times (M - W) - Pa] - 0,42 \times [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \times 10^{-5} \times M \times (5867 - Pa) - 0,0014 \times M \times (34 - T_a) \\ -3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] - f_{cl} \times h_c \times (T_{cl} - T_a) \} \end{array} \right. \quad (3.2)$$

$$T_{cl} = 35,7 - 0,028 \times (M - W) - I_{cl} \times \{3,96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(T_{cl} + 273)^4 - (\bar{T}_r + 273)^4] + f_{cl} \times h_c \times (T_{cl} - T_a)\} \quad (3.3)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \times |T_{cl} - T_a|^{0,25} & \text{para } 2,38 \times |T_{cl} - T_a|^{0,25} > 12,1 \times \sqrt{V_{ar}} \\ 12,1 \times \sqrt{V_{ar}} & \text{para } 2,38 \times |T_{cl} - T_a|^{0,25} < 12,1 \times \sqrt{V_{ar}} \end{cases} \quad (3.4)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \times \text{K}/M \\ 1,05 + 0,645I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \times \text{K}/M \end{cases} \quad (3.5)$$

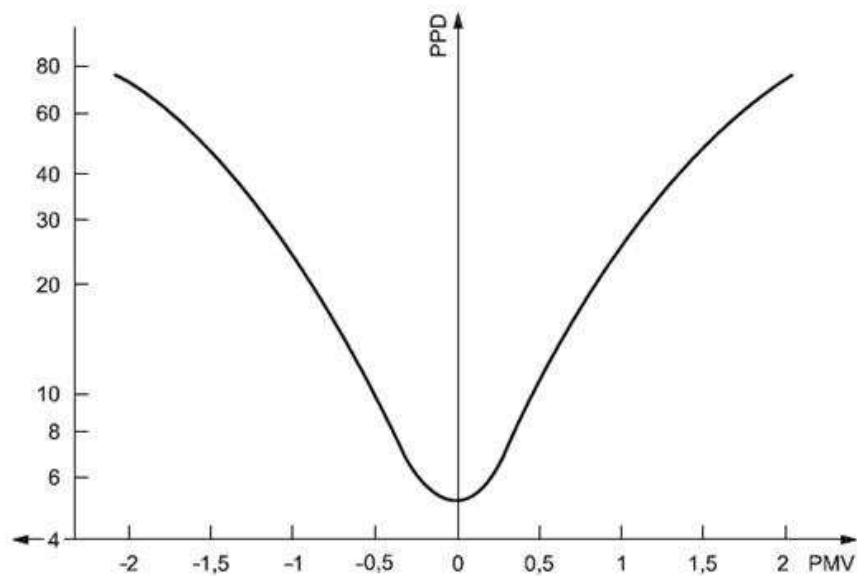
Onde, M é a taxa metabólica, em watts por metros quadrados (W/m^2); W é a potência mecânica efetiva, em watts por metro quadrado (W/m^2); I_{cl} é o isolamento do vestuário, em metros quadrados vezes kelvin por watt ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$); f_{cl} é o fator de área de superfície da vestimenta; T_a é a temperatura do ar, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$); \bar{T}_r é a temperatura radiante média, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$); V_{ar} é a velocidade relativa do ar em metros por segundo (m/s); Pa é a pressão parcial de vapor de água, em pascal (Pa); h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção, em watts por metro quadrado vezes kelvin ($\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$); T_{cl} é a temperatura da superfície do vestuário, em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

Observe que 1 unidade de metabolismo = 1 met = $58,2 \text{ W}/\text{m}^2$; 1 unidade de vestimenta = 1 clo = $0,155 \text{ m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

3.5.2. PPD

O PPD é um índice que estabelece uma previsão quantitativa da porcentagem de pessoas que se sentem termicamente insatisfeitas, por frio ou calor. Para os efeitos desta Norma, as pessoas termicamente insatisfeitas são as que vão votar quente, pouco quente, fresco ou frio sobre a escala de sensação térmica de 7 pontos. Com o valor de PMV determinado, pode-se calcular o PPD, utilizando a Equação 3.6. Portanto PMV e PPD estão estritamente relacionados, (Figura 3.1).

$$\text{PPD} = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot \text{PMV}^4 - 0,2179 \cdot \text{PMV}^2) \quad (3.6)$$



Legenda
 PMV Voto Médio Estimado
 PPD Percentage de Pessoas Insatisfeitas, %

Figura 3.1: PPD em função de PMV
 Fonte: ISO 7730 (ISO, 2005)

O PPD prevê que o número de pessoas termicamente insatisfeitos dentre um grande grupo de pessoas. O restante do grupo vai se sentir termicamente neutro, pouco quente ou fresco. A distribuição prévia dos votos é apresentada na Tabela 3.12.

Tabela 3.12: Distribuição dos votos de sensação térmica individuais para diferentes valores de voto médio

PMV	PPD	Pessoas previsto para votar ^a		
		%		
		0	-1, 0 ou +1	-2, -1, 0, +1 ou +2
+2	75	5	25	70
+1	25	30	75	95
+0,5	10	55	90	98
0	5	60	95	100
-0,5	10	55	90	98
-1	25	30	75	95
-2	75	5	25	70

^a Com base em experiências envolvendo 1 300 indivíduos

Fonte: ISO 7730 (ISO, 2005)

Na Tabela 3.13 tem-se um resumo das normas ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2013a) e 62.2 (ASHRAE, 2013b), EN 15251 (CEN, 2007), NBR 16401 (ABNT, 2008) e ISO 7730 (ISO, 2005)

com os principais parâmetros recomendados para avaliação da IAQ. Observa-se que a norma europeia EN 15251 (CEN, 2007) contém o maior número de parâmetros relacionados à avaliação da IAQ. E para este estudo pode-se utilizar os valores como referência relacionados à Categoria III da norma EN 15251 (CEN, 2007), de nível aceitável de expectativa e por ser usado para edifícios existentes. Esta norma também considera que a umidificação do ar interior geralmente não é necessária, e a norma ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2013a) sugere um limite máximo de 65% para este parâmetro, que será utilizado como referência neste trabalho.

Tabela 3.13: Parâmetros normatizados

NORMA	Taxa de Renovação Do Ar	Velocidade média do ar	Fornecimento de ar	Exaustão de ar (l/s)		Umidade Relativa	CO ₂ (ppm)	Pressão Sonora	T _o (°C)	
ASHRAE 62.1	2,5 l/s por pessoa ou 0,3 l/s por m ²	N/C	N/C	N/C		< 65 %	< 700 (Acima do ar exterior: 500)	N/C	N/C	
ASHRAE 62.2	47-93 m ² : 1 quarto 21 l/s e 2 quartos 26 l/s 93-139 m ² : 3 quartos 35 l/s Corredores 30l/s para 100m ²)	N/C	N/C	Cozinha	Banheiro	N/C	N/C	N/C	N/C	
				DCV						
				50 l/s	25 l/s					
				Ventilação Contínua						
				5 ach	10 l/s					
EN 15251	I: 0,49 l/s.m ² II:0,42 l/s.m ² III:0,35 l/s.m ²	N/C	l/s. pessoa I:10 II:7 III:4	l/s.m ² I:1,4 II:1,0 III:0,6	Cozinha I:28 II:20 III:14	Banheiro I:20 II:15 III:10	> 15-20%	I:350 II:500 III:800 (Acima do ar exterior)	Sala: 25-40 [dB(a)] Quarto: 20-35 [dB(a)]	I: 21-25 II: 20-26 III: 18-27
NBR 16401	N/C	Verão 0,20m/s (turbulência 30 % a 50 %) 0,25 m/s (turbulência inferior a 10 %) Inverno 0,15 m/s (turbulência 30 % a 50 %) 0,20 m/s (turbulência inferior a 10 %)	N/C	N/C	N/C	Verão(0,5 clo) 65% 35% Inverno(0,9 clo) 60% 30%	< 700 (Acima do ar exterior: 400)	N/C	Verão(0,5 clo) 22,5-25,5 23,0-26,0 Inverno(0,9 clo) 21,0-23,5 21,5-24,0	
ISO 7730	PMV: +3 Muito quente; +2 Quente; +1 Pouco quente; 0 Neutro; -1 Fresco; -2 Frio; -3 Muito frio PPD = 100-95.exp(-0.03353.PMV ⁴ -0.2179.PMV ²)									
Notas gerais:										
<ul style="list-style-type: none"> • N/C: Nada consta, ou seja, não foram encontrados referências na norma para este parâmetro. • 1 m³/h = 0.277778 L/s; 1 L/s = 3.6 m³/h 										

Fonte: ASHRAE, 2013a e 2013b; CEN, 2007; ABNT, 2008; ISO, 2005.

4. MATERIAL E MÉTODO

O estudo apresenta resultados de investigações experimentais realizados em 16 apartamentos de baixo consumo de energia, equipados com os 4 sistemas de ventilação mecânica com recuperação de calor, distribuídos em duas edificações residenciais situadas na Praça Pierre Krier na cidade de Esch-sur-Alzette, Luxemburgo, (Figura 4.1 a Figura 4.3). A IAQ dos edifícios residenciais é examinada a partir da perspectiva de aceitação dos ocupantes em três aspectos: conforto térmico, qualidade do ar interior e ventilação.



Figura 4.1: Edifícios



(a) Edifício 629



(a) Edifício 630

Figura 4.2: Fachadas frontais



(a) Edifício 629



(a) Edifício 630

Figura 4.3: Fachadas laterais

Originalmente construídas em 1957, nos anos 2012 à 2014 as edificações foram renovadas e equipadas com os sistemas de ventilação mecânica. Cada edifício possui 5 andares: Subsolo, Nível da rua, 1º Pavimento, e 2º-3º Pavimentos compondo os apartamentos duplex. Cada andar é dividido em 4 apartamentos, de 1, 2 ou 3 quartos de 57 m² à 131 m² de área útil. Na Tabela 4.1 mostra-se o tipo de sistema de ventilação mecânica referente a cada apartamento (nome do sistema, nº do andar, nº do apartamento) dos Edifícios 629 e 630.

Tabela 4.1: Distribuição dos sistemas de ventilação

Andar	Edifício 629				Edifício 630			
2º-3º Pavimentos (Duplex)	Lunos 2.1	Meltem 2.2	Lunos 2.3	LTM 2.4	Meltem 2.1	LTM 2.2	LTM 2.3	Lunos 2.4
1º Pavimento	Lunos 1.1	Meltem 1.2	Lunos 1.3	LTM 1.4	Meltem 1.1	Lunos 1.2	LTM 1.3	Lunos 1.4
Nível da rua	LTM Zentral 0.1	LTM Zentral 0.2	LTM Zentral 0.3	LTM Zentral 0.4	Meltem 0.1	LTM 0.2	LTM 0.3	Lunos 0.4

As investigações foram divididas em duas etapas. Na primeira etapa, questionários sobre a qualidade do ar e ventilação foram aplicados aos moradores dos apartamentos. Na segunda fase, foram realizadas medições experimentais nas unidades de teste.

4.1. Os sistemas de ventilação

4.1.1. Lunos

Os ventiladores descentralizados de LUNOS baseiam-se no fluxo de ar total da área residencial, e podem ser combinados em três diferentes sistemas de ventilação: sistema de exaustão de ar, sistema híbrido e sistema com recuperação de calor. O sistema de ventilação utilizado nos edifícios contém dois dispositivos que devem sempre funcionar em paralelo, Figura 4.4, com recuperação de calor e ventiladores. O método de recuperação de calor funciona a partir de um elemento de armazenamento auto recarregável, semelhante a uma bateria, com energia térmica em modo reversível e de transferência para o fornecimento de ar.

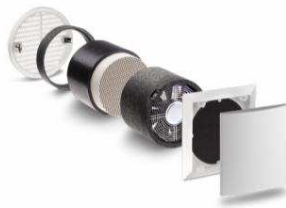


Figura 4.4: Sistema de fornecimento e exaustão de ar
Fonte: LUNOS, 2014

4.1.2. Meltem

O sistema Meltem (M-WRG-S) é uma unidade descentralizada de ventilação com recuperação de calor. O ar viciado é extraído e a sua energia térmica é transferida para o ar fresco, por meio da recuperação de calor. A unidade tem dois ventiladores, um ventilador extrai o ar quente viciado a partir do interior e outro ventilador aspira o ar fresco do exterior. À medida que os fluxos de ar fluem através dos dutos de ar do núcleo, o calor é transferido de um lado para o outro, enquanto que as correntes de ar nunca são misturadas, Figura 4.5. O ar viciado arrefecido é levado para fora e o ar fresco pré-temperado, em seguida, é transmitido para o ambiente interno.

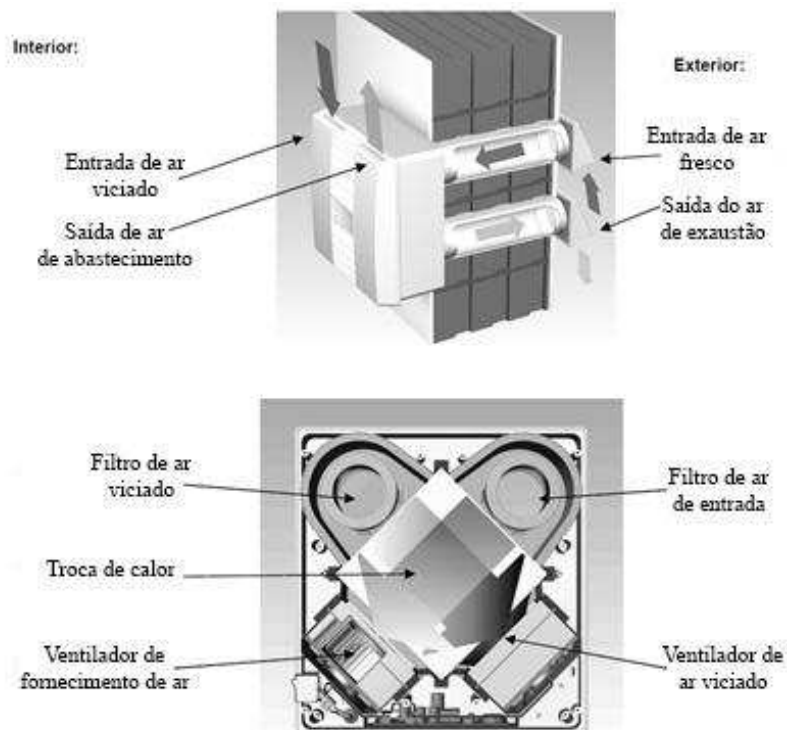


Figura 4.5: Sistemas Meltem com recuperação de calor
Fonte: MELTEM, 2012

4.1.3. LTM Thermo-Lüfter.

O dispositivo de ventilação LTM Thermo-Lüfter é descentralizado com recuperação de calor. O calor é armazenado em um bloco de alumínio durante o transporte do ar quente interno para o exterior. Subsequentemente, a direção dos ventiladores é invertida. O ar exterior frio passa através dos ventiladores e pelos armazenadores de calor em um bloco de alumínio. Desse modo, o ar fresco é aquecido, filtrado e fornecido para a habitação. A troca de calor no verão é automaticamente invertida, o ar quente flui liberando o seu calor para o armazenamento, onde é absorvido pelo fluxo de ar mais frio, Figura 4.6 e Figura 4.7.

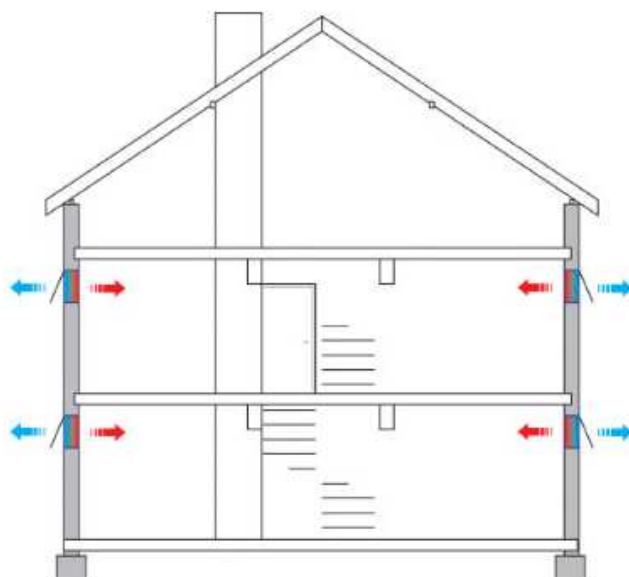


Figura 4.6: Funcionamento LTM Thermo-Lüfter
Fonte: LTM, 2015.



(a) Saída do ar quente no sistema LTM Thermo-Lüfter

(b) Entrada do ar frio e aquecimento no sistema LTM Thermo-Lüfter

Figura 4.7: Funcionamento do dispositivo LTM Thermo-Lüfter
Fonte: LTM, 2015.

4.1.4. LTM Zentral

O sistema LTM Zentral é composto por um dispositivo central para a ventilação de todos os cômodos de uma só vez, com recuperação de calor. O ar exterior filtrado absorve a maior parte da energia térmica do ar de exaustão antes de ser introduzido por meio da distribuição de ar nos cômodos individuais. O fluxo de ar passa livremente dos quartos e salas para os cômodos de escape, como banheiros, cozinhas e lavanderias. Deste modo, a exaustão de ar é direcionada e volta para o dispositivo através de um sistema de duto separado, onde ocorrem as trocas de calor para o ar que será fornecido ao ambiente interno, Figura 4.8 e Figura 4.9.



Figura 4.8: Funcionamento LTM Zentral
Fonte: LTM ZENTRAL, 2015

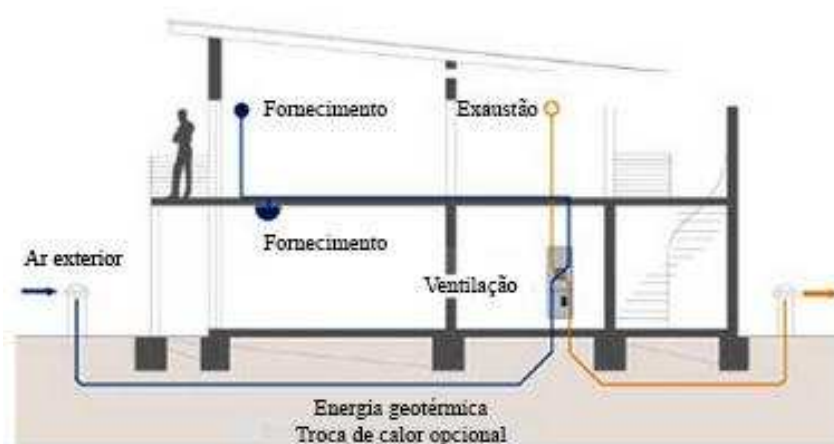


Figura 4.9: Funcionamento LTM Zentral
Fonte: LTM ZENTRAL, 2015

4.2. Questionário

A elaboração do questionário se baseou nos modelos de Silva (2010) e Roulet (2008), de forma a abranger aspectos da localização do respondente no edifício, informações pessoais como sexo e idade, tempo de permanência do ambiente, número de pessoas que habitam em cada apartamento, além de dados relacionados à síndrome do edifício doente (SBS) e à impressão do ocupante sobre o conforto térmico e a qualidade do ar em sua residência.

No APÊNDICE A apresenta-se o questionário aplicado aos usuários. O questionário é constituído de 22 questões. O foco das questões está relacionado sobre a eficiência dos sistemas de ventilação em relação à qualidade do ar interior incluindo a sensação térmica do ambiente (temperatura e umidade relativa do ar), concentração de CO₂ (pelo odor), e ruído.

4.3. Equipamentos de medição

Como investigar todos os tipos de poluentes do ar interior para o acompanhamento geral da qualidade do ar e da avaliação é um assunto complexo, Lai et al.,2009 e CEN, 2007, sugeriram que a medição e a análise da concentração de CO₂ poderia ser útil para a compreensão da qualidade do ar interno e da eficiência da ventilação.

4.3.1. Concentração de CO₂

O sensor utilizado para a medição da concentração de CO₂ *in-loco* foi o “Wöhler CDL 210 CO₂-Datalogger”, Figura 4.10. Por meio da medição e de identificação da concentração de CO₂, da temperatura e da umidade relativa do ar, os dados deste medidor são utilizados para a determinação da IAQ. O nível de CO₂ é obtido pela medição por infravermelho.



Figura 4.10: Sensor Wöhler

4.3.2. Parâmetros térmicos internos

Para a medição da temperatura interna, umidade relativa e velocidade do ar interna utilizam-se os sensores Alborn, Figura 4.11. Obtém-se assim uma quantificação do desempenho dos sistemas de aquecimento e ventilação, que é calculada a partir do registro da faixa de medição de temperatura radiante média, temperatura ambiente, velocidade do ar e umidade relativa interna. Os modelos dos equipamentos utilizados foram: (a) Termómetro de bulbo FPA805GTS; (b) Sensor de umidade e temperatura FHAD4641; (c) Thermoanémomètre até 1 m/s, sem suavização, tempo de resposta de 100 ms FVA605TA10U; (d) ALMEMO® portátil 2890-9, 9 entradas.



Figura 4.11: Montagem dos sensores
Fonte: ALBORN,2003.

4.3.3. Fluxo de ar nos sistemas de ventilação

O DIFF Airflow automático, Figura 4.12, é um dispositivo de medição do fluxo de ar único o qual é baseado no método de pressão zero. A pressão produzida por resistência interna do dispositivo de medição é automaticamente compensada pelo método de pressão zero com respeito à pressão atmosférica no exterior do dispositivo. A compensação de pressão é produzida por um ventilador embutido, a qual é controlada por um sensor de pressão diferencial. Ele pode ser usado para a medição do ar de entrada e de escape em difusores de turbulência, grades, etc.



Figura 4.12: Airflow DIFF

4.4. **Temperatura do ambiente externo**

Os dados da temperatura externa e umidade relativa externa para a cidade Esch-sur-Alzette no período de 9 de Março 2015 à 14 de Abril de 2015, Figura 4.13, foram obtidas por meio do histórico meteorológico cotidiano fornecido no site FREEMETEO, (2015). Nota-se que as temperaturas externas estão entre -2°C a 20°C, ou seja, as temperaturas são baixas para o período analisado. E a umidade relativa do ar exterior é alta, ultrapassando os 65% e chegando a 100%.

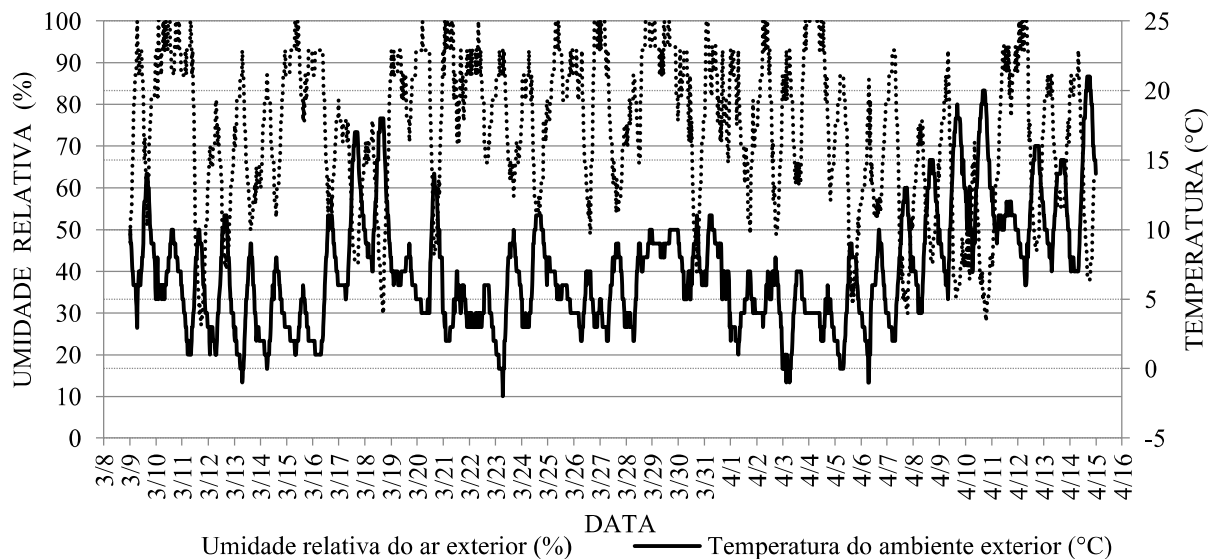


Figura 4.13: Evolução da temperatura externa e umidade relativa externa para o período de 9 de Março 2015 à 14 de Abril de 2015, para a cidade de Esch-sur-Alzette

Segundo Roulet (2008) a umidade relativa exterior varia linearmente com a temperatura, Equação (4.1). Assim foi traçado um diagrama, Figura 4.14, que apresenta esta relação e os valores reais para as temperaturas médias exteriores e umidades relativas médias exteriores para a cidade de Esch/Alzette. Observa-se que os dados meteorológicos locais para o período de 9 de Março 2015 à 14 de Abril de 2015 seguem este padrão estando próximos a linha de valores lineares.

$$\phi_e \cong 75 - 0,25 \cdot T_e \tag{4.1}$$

Onde ϕ_e é a umidade relativa exterior (%), e T_e é temperatura exterior (°C).

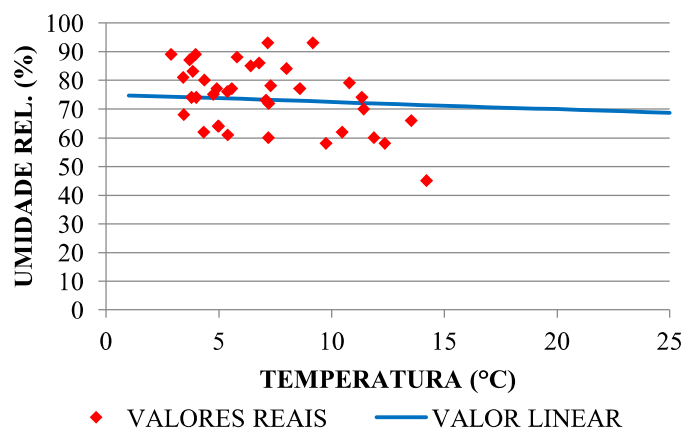


Figura 4.14: Relação umidade relativa exterior e temperatura exterior

5. RESULTADOS

5.1. Questionário

A aplicação dos questionários nos Edifícios 629 e 630 ocorreu nos dias 09 e 10 de março de 2015, entre 9 e 15 horas. Obteve-se um total de 16 respondentes adultos, sendo um de cada apartamento. Este número de respondentes corresponde a 67% dos 24 apartamentos, divididos em 12 mulheres e 4 homens, com idades entre 26 e 71 anos. Do total dos apartamentos, 16% estavam desocupados e em 17% os moradores não se encontravam na moradia no momento da entrevista. Segundo as respostas dos ocupantes, os apartamentos estavam ocupados há 6 meses em média.

Com base na escala de sensação térmica conforme a norma ASHRAE 55 (ASHRAE, 2013c), foi solicitado aos ocupantes para que classificassem o ambiente térmico de seu apartamento. Na Figura 5.1 apresenta-se a distribuição dos votos da sensação térmica dos ocupantes dos edifícios.

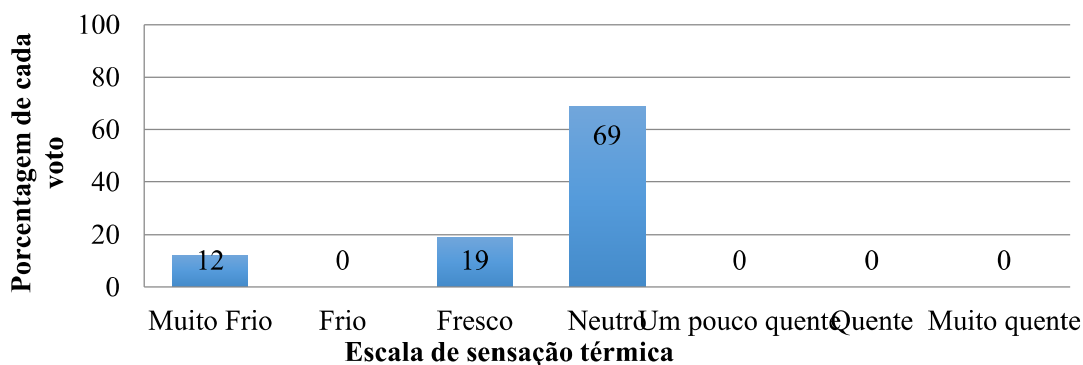


Figura 5.1: Satisfação em relação ao Conforto Térmico nos apartamentos

Observa-se que 69% dos usuários estão satisfeitos em relação ao ambiente térmico, 19% sentem um pouco frio e 12% sentem muito frio. Mas, segundo a norma ISO 7730 (ISO, 2005), os votos entre a classificação “Fresco” e “Um pouco Quente” são considerados como satisfatórios, assim o valor de 69% de satisfeitos pode ser aumentado para 88%, com 12% de insatisfeitos.

Na Figura 5.2 são apresentados os resultados da sensação dos moradores em relação ao ambiente interno com foco na temperatura do ar interno, umidade relativa do ar interno, ruído, eliminação

de odores, IAQ e sistema de ventilação. Observa-se que 69% das pessoas classificaram a temperatura do ar interno como “Neutra”, mas 31% consideram o ambiente como “fresco” e “muito frio”. Desse modo pode-se concluir que o ambiente interno é um pouco frio e isto está relacionado principalmente ao sistema de aquecimento ou resfriamento do ambiente, e portanto, pode ser regulado pelos moradores com o ajuste da temperatura. Em relação à umidade relativa do ar interno, 56% dos ocupantes estão satisfeitos e 25% consideram como “alta” a “muito alta” e 19% consideram baixa.

Em relação ao ruído, no total, 69% dos moradores acreditam que o barulho produzido pelos sistemas de ventilação é “muito baixo” a “normal”, ou seja, não causam distúrbios no ambiente. Considerando a eficiência dos sistemas de ventilação para eliminar os odores, 57% das pessoas os consideram de “normal” à “muito suficiente” e 43% os consideram de “insuficiente” à “muito insuficiente”. Como mostrado na pesquisa de Merzkirch et al. (2015), a recirculação do ar pode afetar a qualidade do ar fornecido ao ambiente. Para a IAQ tem-se que 88% dos moradores se sentem satisfeitos e a classificam como “normal” a “muito boa”. Os sistemas de ventilação foram classificados como “normal” a “muito bom” e 82% dos moradores os consideram como muito satisfatórios.

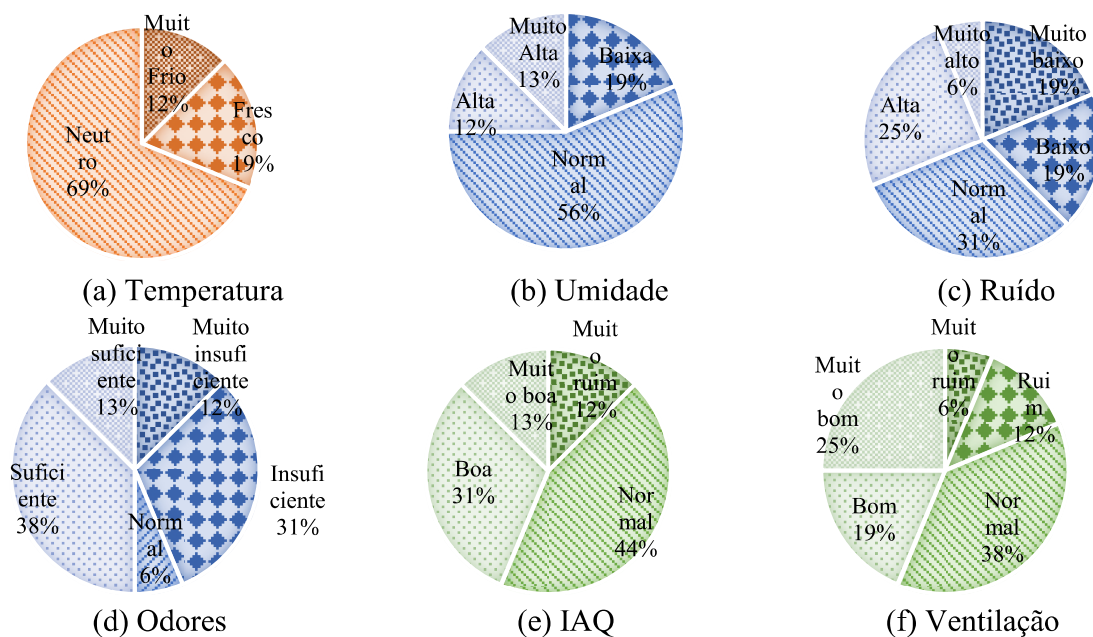


Figura 5.2: Sensação dos moradores em relação ao ambiente interno.

Os moradores foram solicitados a responder se apresentavam algum sintoma relacionado à Síndrome do Edifício Doente (SBS), e se estes sintomas desapareciam quando saíam do apartamento. Todos os sintomas foram mencionados, sendo que, o de maior ocorrência (23% dos casos) foi o sintoma “Nariz congestionado”. E para 64% dos ocupantes estes sintomas desapareciam uma vez que se encontravam fora da edificação, Figura 5.3. De acordo Ogunde et al. (2015) microrganismos podem estar crescendo dentro dos elementos de construção, tais como em materiais de isolamento ou em partes em madeira e paredes de bloco. Para Roulet (2008), o edifício em si e os seus sistemas de ventilação são as principais fontes de poluição em muitos edifícios. Como os edifícios são antigos e foram renovados em 2012-2014, com a adição de novas paredes, materiais isolantes, entre outros, que podem liberar contaminantes orgânicos voláteis (VOCs), pode-se dizer que por causa da reforma e dos novos materiais o próprio edifício é a fonte de poluição interna. No entanto, a caracterização dos contaminantes é um passo necessário para descobrir quais fontes estão envolvidas e quanto elas emitem, e que concentrações estão produzindo.

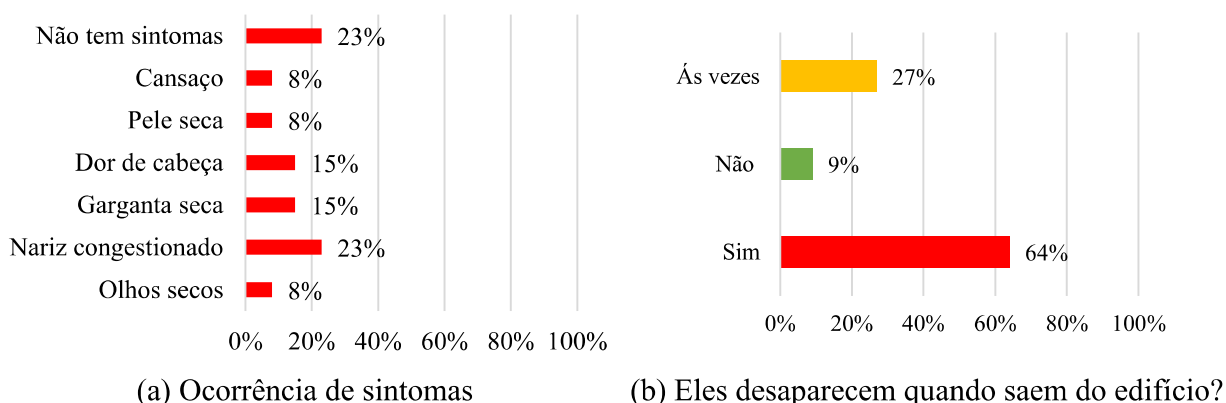


Figura 5.3: Percentuais das ocorrências de sintomas da SBS apontados pelos moradores

Os moradores também foram questionados se eles abriam as janelas e em qual momento, 87,5% deles responderam que sim e que faziam isso após cozinhare, e 37,5 % após dormir. Ou seja, deve-se considerar a abertura das janelas em pelo menos um momento do dia.

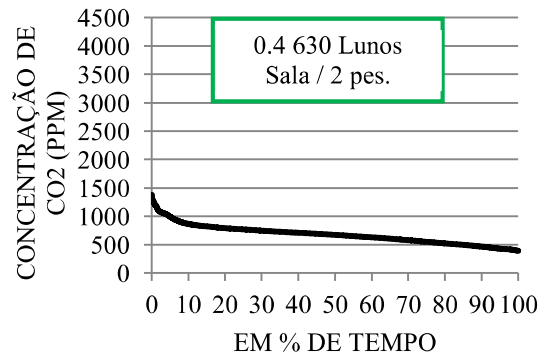
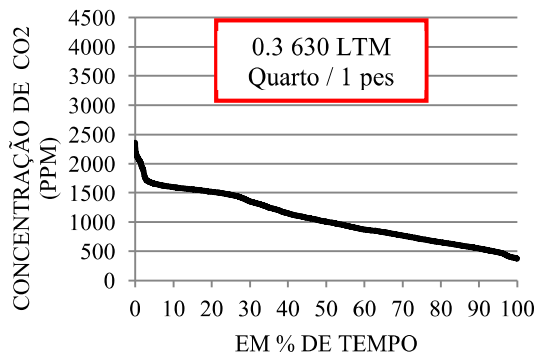
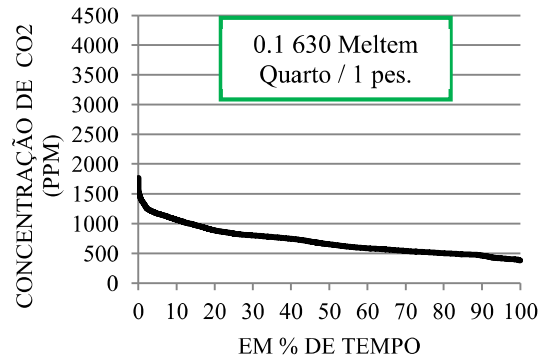
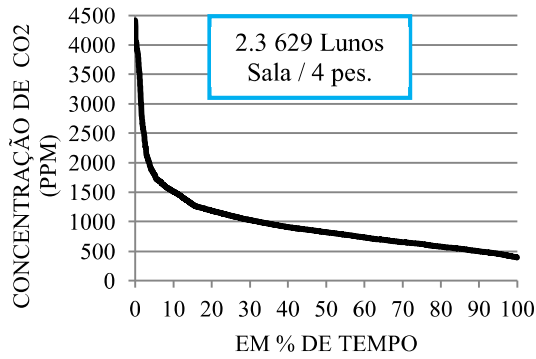
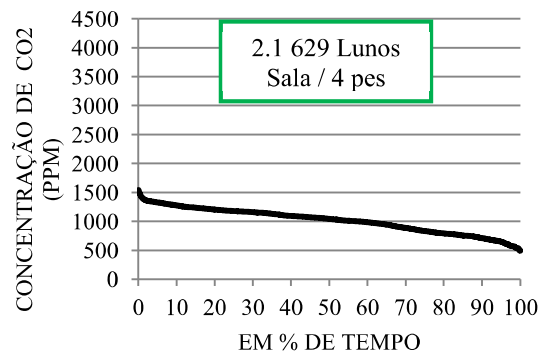
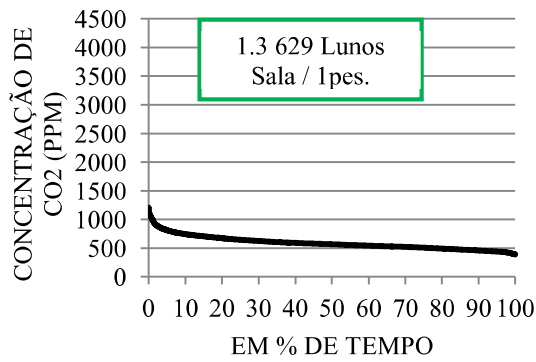
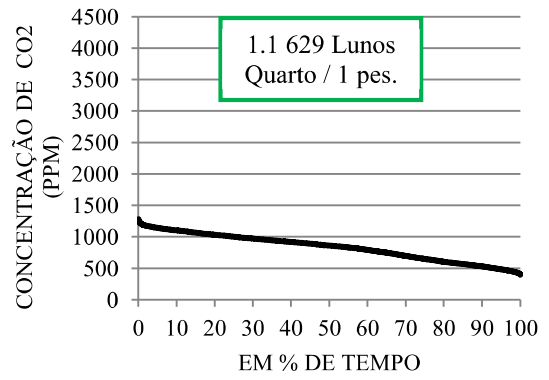
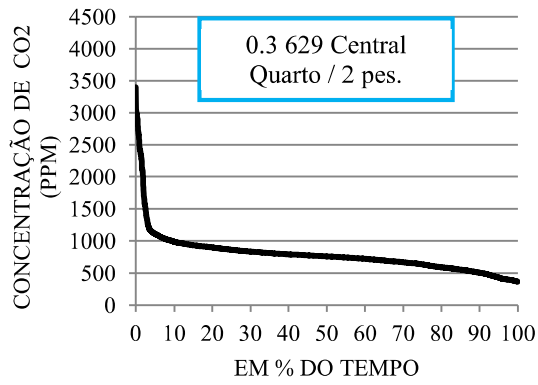
Durante a aplicação dos questionários, observou-se que os moradores têm dificuldade para entender como funcionam os dispositivos de ventilação e em manter as janelas fechadas para melhor funcionamento destes. Muitas vezes a empresa precisa passar as informações sobre o

funcionamento do sistema de ventilação e como se portar diante dele mais de uma vez para os moradores; pois a maioria das pessoas que receberam estas orientações disseram que não se lembram ou não entenderam exatamente como agir diante destes tipos de dispositivos. Neste sentido, seria bom ter as mesmas informações impressas para que possam ter acesso sempre que tiverem dúvidas. Por outro lado, algumas pessoas percebem algum problema com o sistema de ventilação ou com a qualidade do ar, mas não sabem a quem informar ou simplesmente não informam a empresa para não incomodarem ou receberem notificações.

5.2. Medições in loco

Na primeira parte das medições os apartamentos foram equipados com sensores Wöhler (2015) para medir a umidade relativa, a temperatura e a concentração de CO₂ do ar interno. No total foram instalados 17 pontos de medição (durante 1 mês, de 15 em 15 minutos). Na segunda avaliação foi utilizado o equipamento DIFF Airflow (2015) para medir o fluxo de ar.

Na instalação dos dispositivos de medição Whöler (2015) foi questionado ao usuário qual era o ambiente de maior permanência, entre sala e quarto. Dos 17 dispositivos instalados, 16 foram analisados, pois um não funcionou como previsto ou foi desligado durante as medições. Na Figura 5.4 são apresentados os gráficos com as curvas de concentração de CO₂ em função do tempo, com informações do número do apartamento, do tipo de sistema de ventilação, localização do sensor e o número de pessoas residentes. A partir destes resultados mostrados observa-se que 80% das medições da concentração de CO₂ estão abaixo dos 1500ppm. Nos apartamentos 0.3 629 e 2.3 629 a concentração ultrapassa os 1500ppm, porém em menos de 10% do tempo. Somente 20% dos apartamentos ultrapassam esse limite em 20-30 % do tempo medido, estes apartamentos foram 0.3 630, 2.2 630 e 2.4 630. Portanto, como estes três apartamentos apresentaram resultados acima do limite da concentração de CO₂ previstas, novas medições foram feitas para tentar investigar o(s) motivo(s) com o equipamento DIFF Airflow (2015).



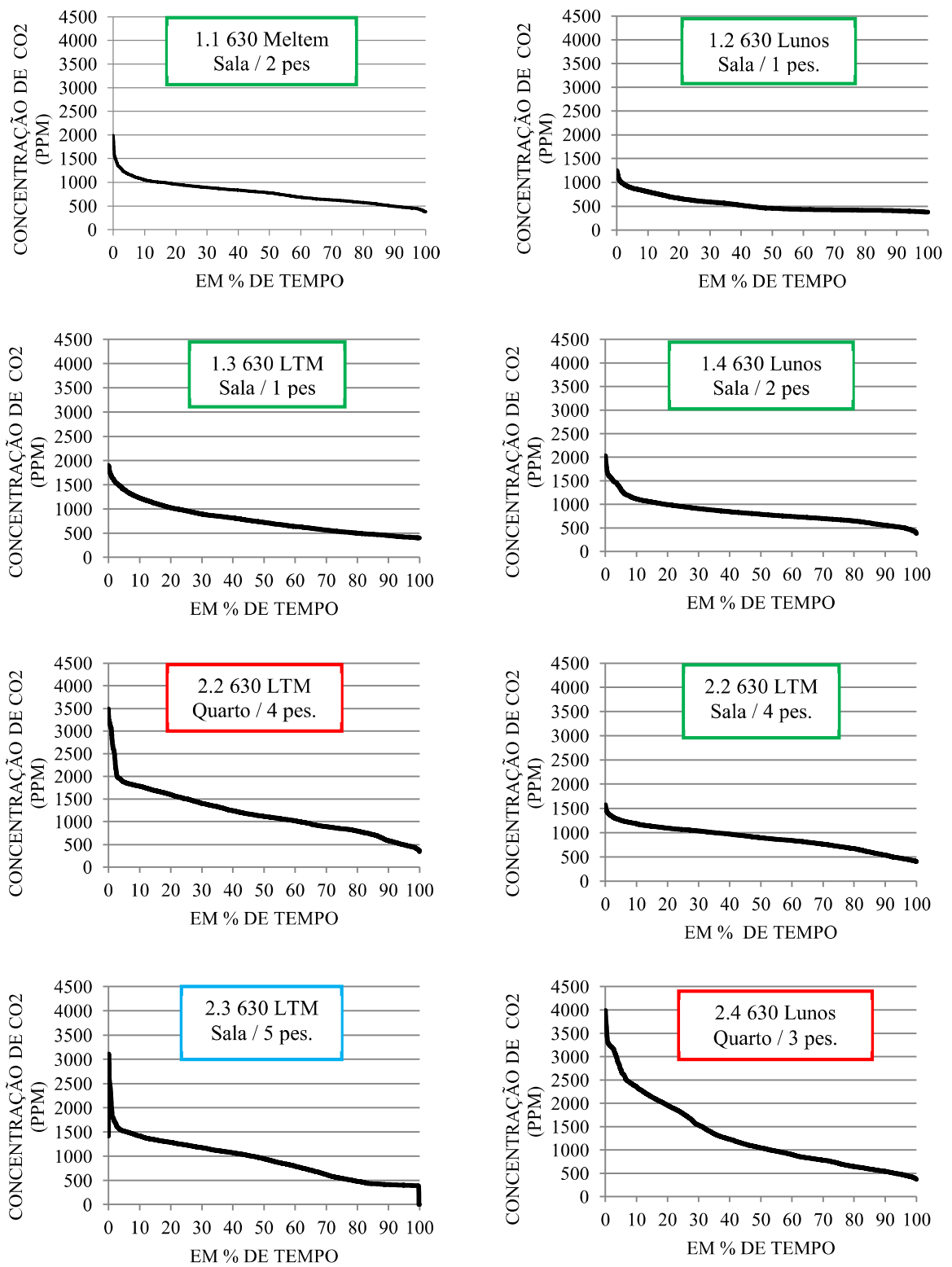


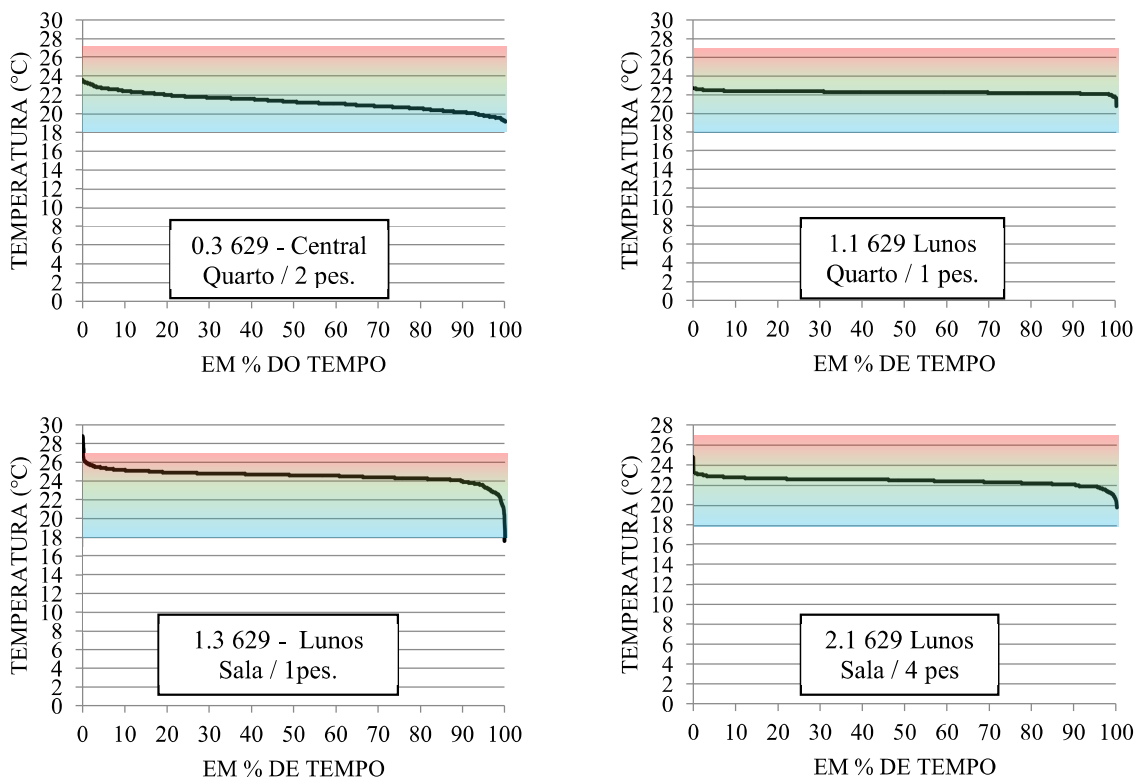
Figura 5.4: Concentração de CO₂ em função do tempo de medição.

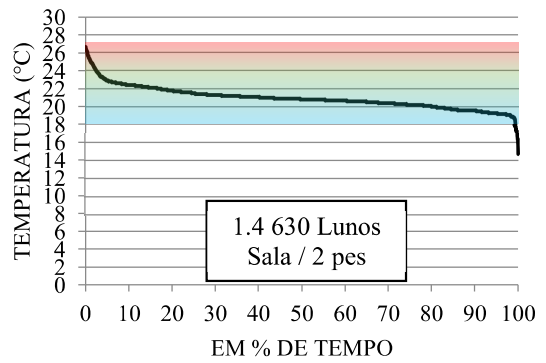
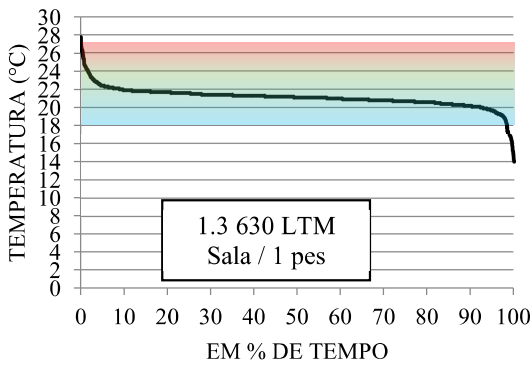
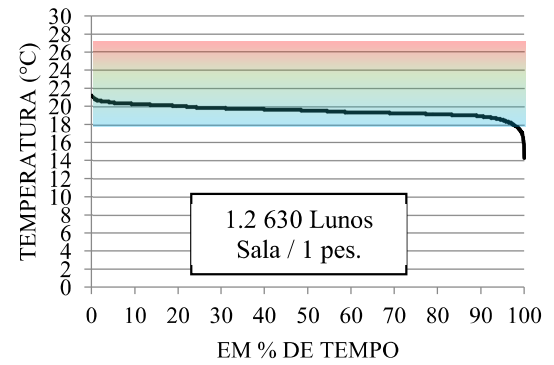
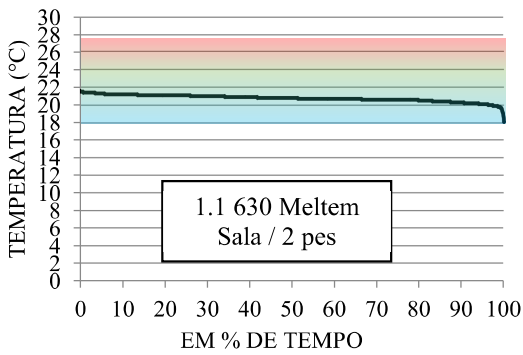
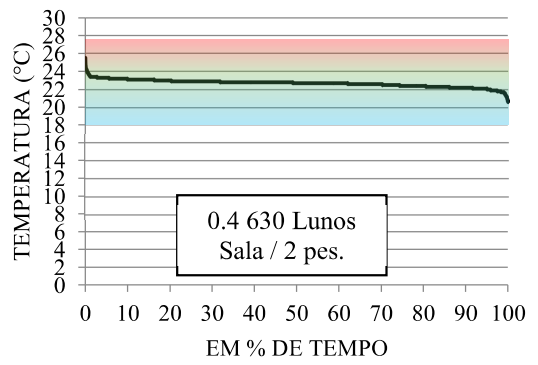
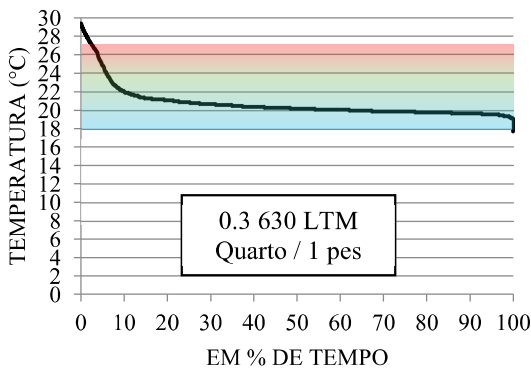
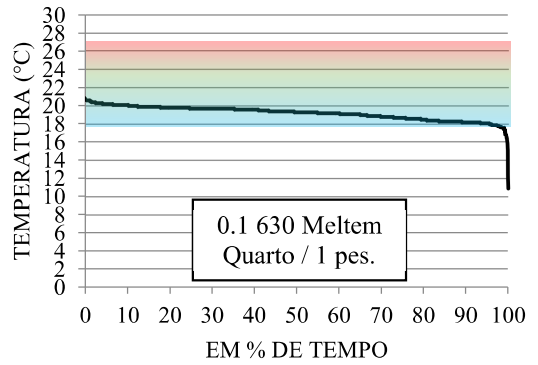
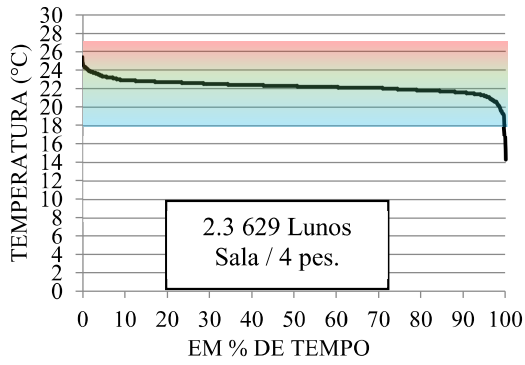
Na Figura 5.5 são apresentados os valores de temperatura do ar interno em % do tempo medido. Observa-se a partir dos resultados obtidos que o valor da temperatura interna está dentro da faixa de conforto térmico de 18°C à 27°C recomendado pela norma EN 15251 (CEN, 2007). Porém, segundo Roulet (2008), a temperatura operativa ideal para uma pessoa sentada (1.2 met) e com vestimentas de frio (1 clo) é de 22°C, ou seja, abaixo desta temperatura a sensação poderá ser de frio. A temperatura operativa (T_{op}) é uma média ponderada da temperatura do ar, T_a , e da temperatura radiante T_r , definida conforme mostrado na Eq.(5.1).

$$T_{op} = \alpha T_a + (1 - \alpha) T_r \quad (5.1)$$

Onde $\alpha = 0,5 + 0,25v$ e v = velocidade relativa do ar, (m/s).

As influências possíveis para este fato são geralmente ligadas ao sistema de aquecimento interno.





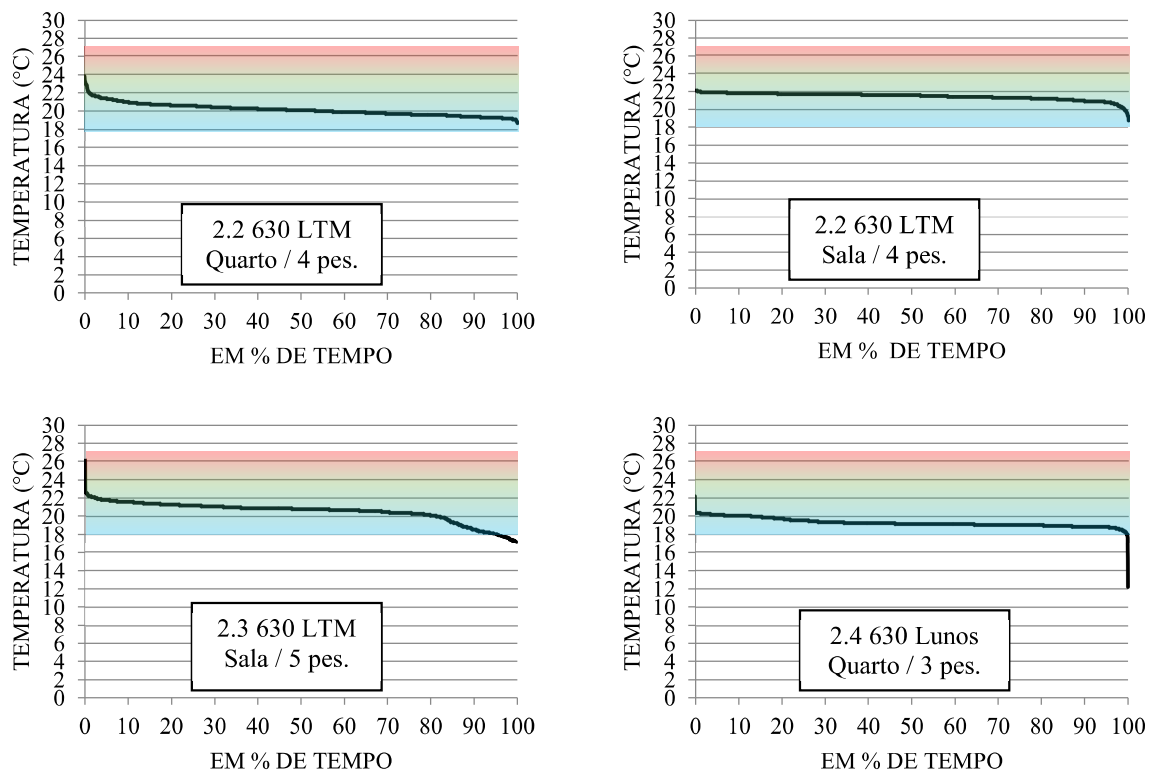
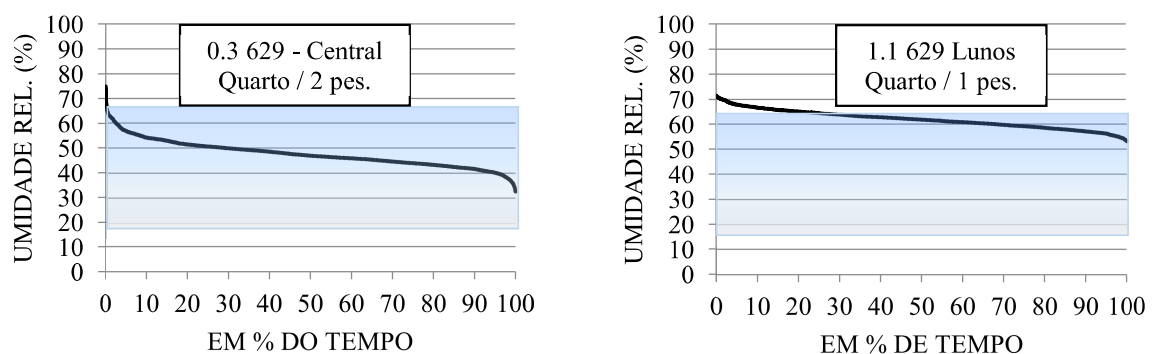
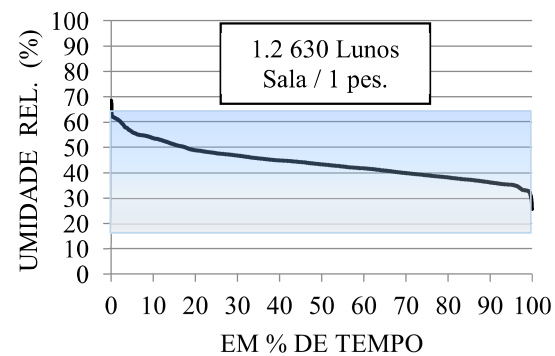
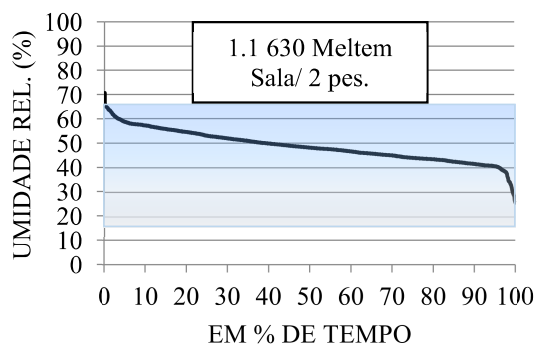
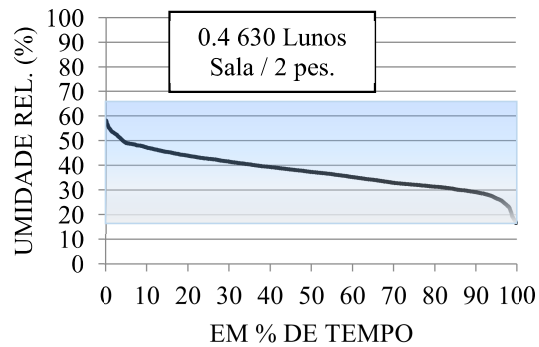
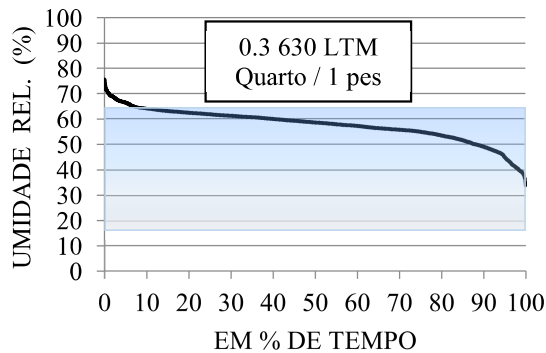
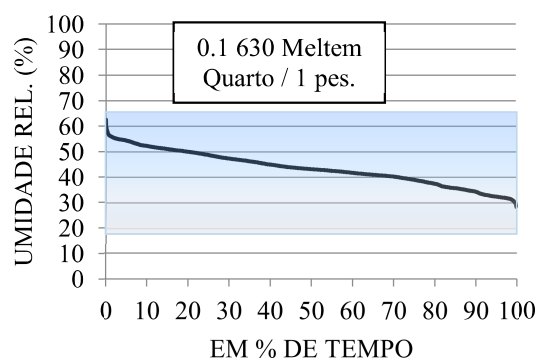
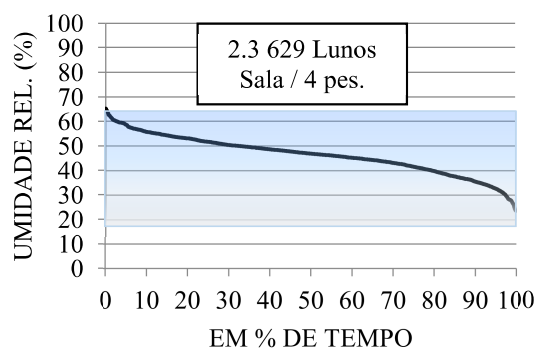
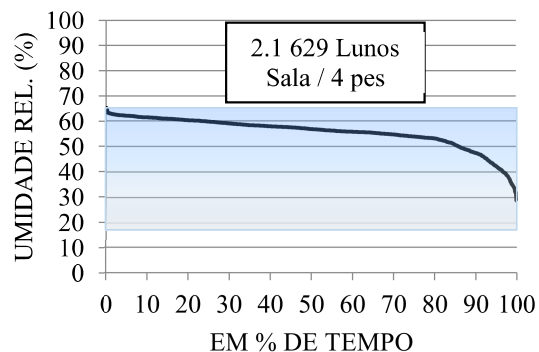
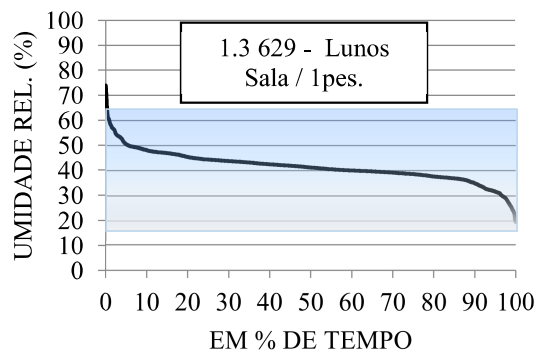


Figura 5.5: Temperatura interna em % em função do tempo de medição

Na Figura 5.6 são apresentados os valores resultantes da umidade relativa do ar interno em função da porcentagem do tempo medido. Observa-se nos resultados obtidos que 14 dos 15 apartamentos avaliados apresentaram valores entre 30% e 70% de umidade relativa (dentro da faixa), recomendados por Roulet (2008), durante 90% do tempo medido. Somente um caso, o apartamento 2.4 630, a umidade relativa interna de 70 % é ultrapassada em 30% do tempo medido.





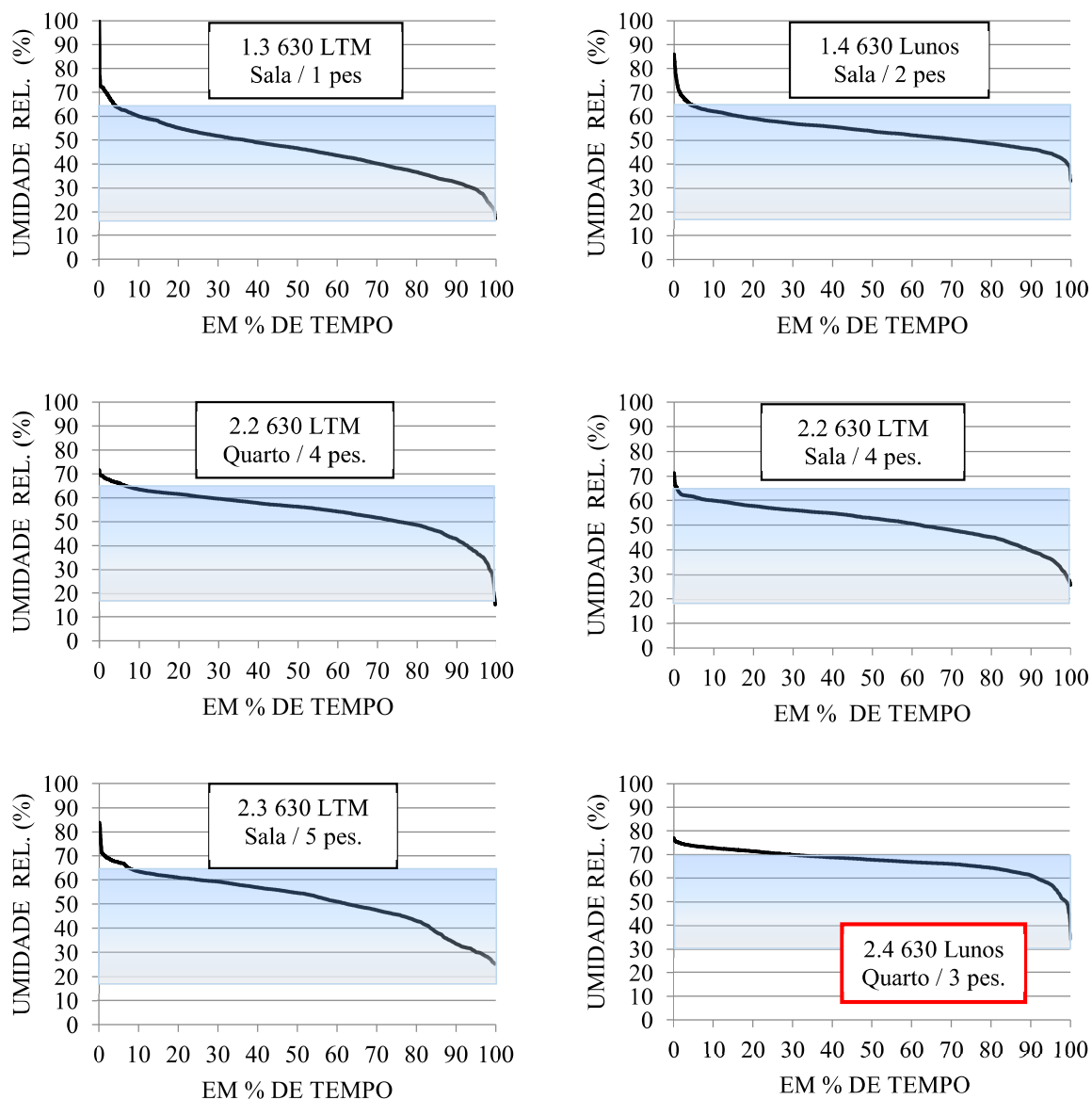


Figura 5.6: Umidade relativa em % em função do tempo de medição

Nas Figura 5.7 a Figura 5.10 apresenta-se os valores médios, máximos e mínimos da temperatura interna, umidade relativa interna e concentração interna de CO₂ para cada apartamento estudado, no período de 09 de Março de 2015 à 14 de Abril de 2015. Observa-se a partir dos valores médios mostrados que a concentração interna de CO₂ está diretamente relacionada à umidade relativa interna. Os 3 maiores valores de concentração de CO₂ ocorreram nas medições nos quartos, cujo volume é menor do que nas salas. Resultados similares foram encontrados nas medições de Merzkirch et al. (2015), em que a alta taxa de recirculação resultou em má qualidade

do ar interior com concentrações de CO₂ superiores a 2300 ppm no quarto durante a noite, embora a taxa de fornecimento de ar medida tenha sido de 40 m³/h. Segundo a norma EN 15251 (CEN, 2007) o mínimo por pessoas é de 14,4 m³/h, ou 4 l/s, ou seja, 40m³/h estava muito acima do esperado. Contudo, os valores médios internos para temperatura, umidade relativa e concentração de CO₂ estão entre os limites sugeridos pelas normas ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2013a) e EN 15251 (CEN, 2007).

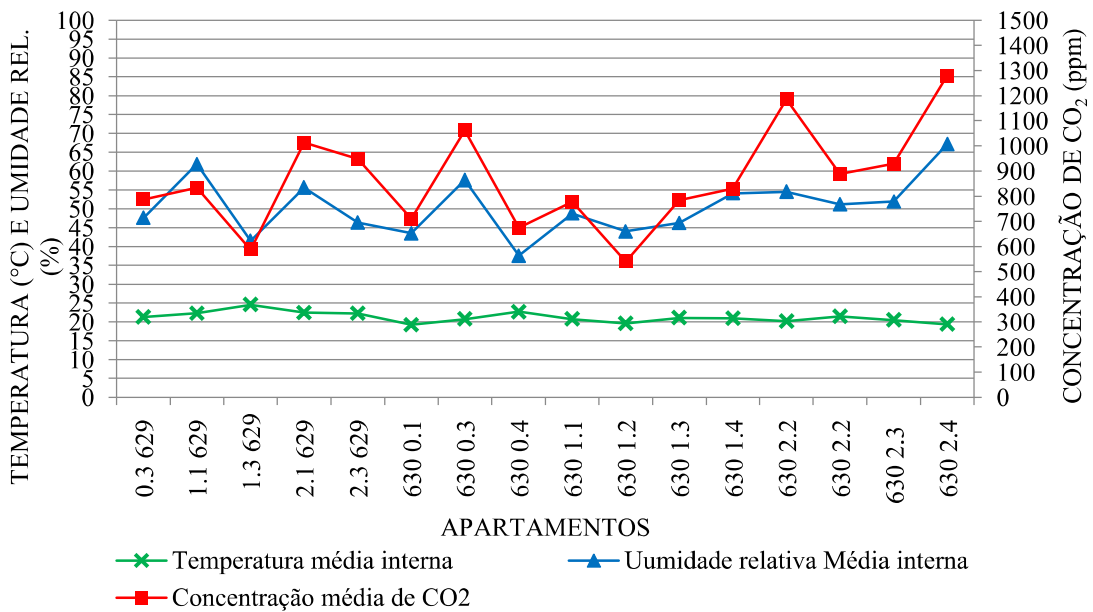


Figura 5.7: Valores médios de temperatura, umidade relativa e concentração de CO₂

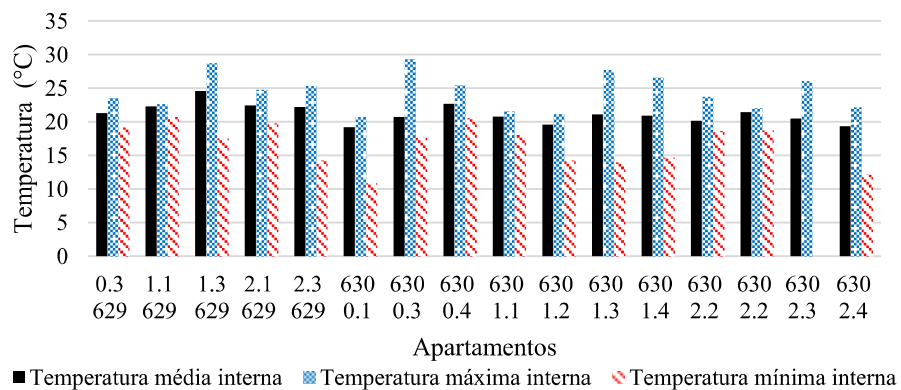
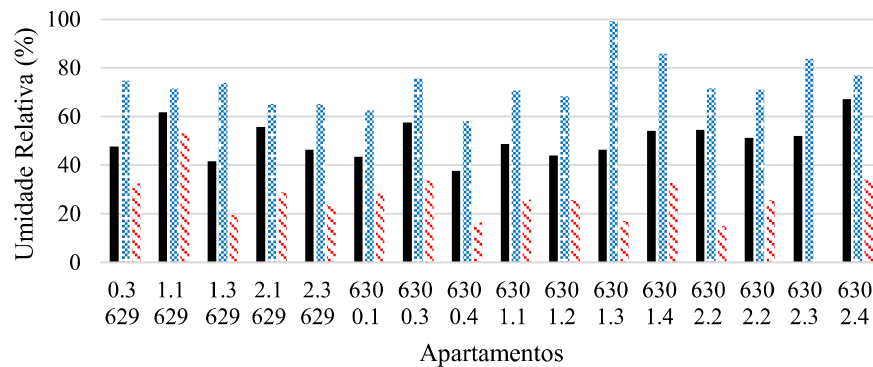
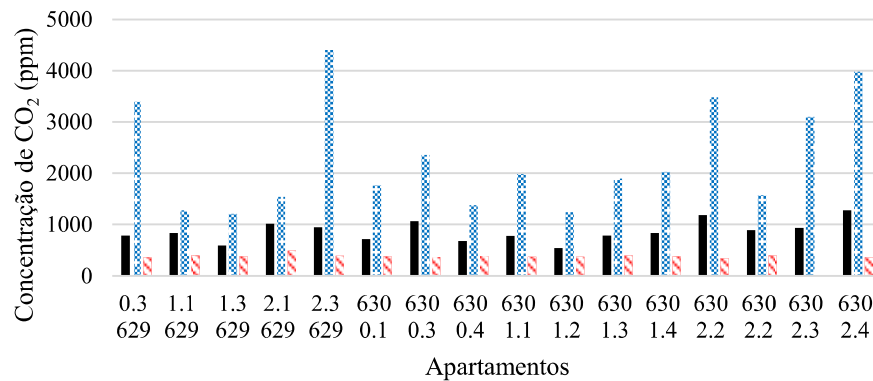


Figura 5.8: Valores médios, máximos e mínimos da temperatura interna.



■ Umidade relativa Média interna ■ Umidade máxima interna ■ Umidade mínima interna
 Figura 5.9: Valores médios, máximos e mínimos da umidade relativa.



■ Concentração média de CO2 ■ Concentração máxima de CO2 ■ Concentração mínima de CO2
 Figura 5.10: Valores médios, máximos e mínimos da concentração de CO₂.

Para verificar as causas das altas concentrações de CO₂ nos apartamentos 0.3 630 e 2.4 630 e a alta umidade relativa no apartamento 2.4 630 foram feitas novas medições com o dispositivo DIFF *Airflow* (2015) para avaliar o fluxo de ar proveniente dos dispositivos e relacioná-los aos resultados anteriores. A escolha dos apartamentos foi devido aos resultados apresentados nas Figura 5.4, Figura 5.4 e Figura 5.6. No apartamento 2.2 630 não foi possível fazer as medições devido à moradora que não permitiu, mas pressupõe-se que as causas são similares as do apartamento 2.4 630 para a alta concentração de CO₂, porque as dimensões e características físicas dos apartamentos são as mesmas. Nas Tabela 5.1 e Tabela 5.2 são apresentados os valores do fluxo de ar medidos com o dispositivo DIFF *Airflow* (2015), para os ambientes analisados, Quarto 2 do apartamento 0.3 630 e Quarto 3 do apartamento 2.4 630. Nas Tabela 5.3 e Tabela 5.4 são apresentados os valores calculados do fluxo de ar para estes ambientes, segundo as taxas de renovação do ar por m², conforme as normas ASHRAE 62.1 (ASHRAE, 2013a) e EN 15251 (CEN, 2007).

Tabela 5.1: Fluxo de ar medidos no Quarto 2, apartamento 0.3 630 - LTM

Data	Função	Fluxo de ar (m ³ /h)	Temperatura (°C)
26/Maio/2015	Supply	10,2	20,4
2/Junho/2015	Supply	19,6	21,8
2/Junho/2015	Supply	0,9	22,5

Tabela 5.2: Fluxo de ar medidos no Quarto 3, apartamento 2.4 630 - Lunos

Data	Função	Fluxo de ar (m ³ /h)	Temperatura interna (°C)
17/Junho/2015	Exhaust	2	24,8
24/Junho/2015	Supply	4,8	23,5
25/Junho/2015	Exhaust	0,8	24

Tabela 5.3: Fluxo de ar calculado para o Quarto 2, do apartamento 0.3 630 - LTM

	Ashrae 62.1	EN 15251
Taxa de renovação do ar	0,3 l/s por m ²	0,35 l/s por m ²
Fluxo de ar	12 m ³ /h	14 m ³ /h
Em que: <ul style="list-style-type: none"> • A área do quarto é de 10,9 m² • A altura do pé direito é igual a 2,5 m • 1 l/s = 3,6 m³/h <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="width: 30%;"> <p>Lembrando que: (cálculo do fluxo de ar</p> $= (\text{área do ambiente em m}^2) \cdot \left(\text{a taxa de renovação do ar em } \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 \right) \cdot (3,6 \text{ m}^3/\text{h})$ </div> <div style="width: 65%;"></div> </div>		

Tabela 5.4: Fluxo de ar calculado para o Quarto 3, do apartamento 2.4 630 - Lunos

	Ashrae 62.1	EN 15251
Taxa de renovação do ar	0,3 l/s por m ²	0,35 l/s por m ²
Fluxo de ar	12 m ³ /h	14 m ³ /h
Em que: <ul style="list-style-type: none"> • A área do quarto é de 10,5 m² • A altura do pé direito é igual a 2,5 m • 1 l/s = 3,6 m³/h <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start; margin-top: 10px;"> <div style="width: 30%;"> <p>Lembrando que: (cálculo do fluxo de ar</p> $= (\text{área do ambiente em m}^2) \cdot \left(\text{a taxa de renovação do ar em } \frac{\text{l}}{\text{s}} \cdot \text{m}^2 \right) \cdot (3,6 \text{ m}^3/\text{h})$ </div> <div style="width: 65%;"></div> </div>		

Observa-se que no Quarto 2 do apartamento 0.3 630 (Tabela 5.1) há uma grande variação do fluxo de ar medido, com valores próximos aos calculados segundo a taxa de renovação do ar utilizada pelas normas. No Quarto 3 do apartamento 2.4 630 (Tabela 5.2) todos os valores de fluxo de ar medidos estão muito abaixo do fluxo de ar calculado segundo as taxas recomendadas pelas normas. Portanto entende-se que a alta concentração de CO₂ e umidade relativa constatadas nos apartamentos podem estar ligadas ao sistema de ventilação com recuperação de calor, ou seja, regulação insuficiente do fluxo de ar, ou mau funcionamento, instalação e/ou manutenção dos dispositivos. Assim é necessário uma vistoria in loco por um técnico responsável pelos sistemas.

Com a instalação dos sensores Ahlborn no apartamento 0.3 630 (Quarto 2) e apartamento 2.4 630 (Quarto 3) foi possível medir e obter valores para os parâmetros ambientais necessários para o cálculo do PMV, como temperatura do ar, a temperatura média radiante, velocidade do ar e a umidade relativa do ar. Na Tabela 5.5 são apresentados os valores utilizados para o cálculo do PMV para os apartamentos 0.3 630 (no Quarto 2) e 2.4 630 (no Quarto 3). Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados dos cálculos de PMV e PPD para estes apartamentos conforme as Equações 3.2 a 3.6 da norma ISO 7730 (ISO, 2005). Observa-se que os resultados de PMV e PPD encontram-se dentro da zona de conforto, classificada como “neutro” em que o ocupante se sente satisfeito.

Tabela 5.5: Dados utilizados para cálculo do PMV e PPD

Parâmetros		Apartamento 0.3 630 (Quarto 2)	Apartamento 2.4 630 (Quarto 3)
Vestimenta (clo)	[0 to 2clo]	1,0	1,0
Temperatura ambiente (°C)	[10 to 30°C]	21,6	21,6
Temperatura média radiante (°C)	[10 to 40°C]	21,4	24,2
Atividade (met)	[0.8 to 4met]	1,0	1,0
Velocidade do ar (m/s)	[0 to 1m/s]	0,00	0,03
Umidade relativa (%)	[30 to 70%]	60	58

Note:

- Para o ambiente térmico, os critérios para a temperatura operativa baseiam-se em níveis típicos de atividade, para a roupa de 0,5 clo durante o verão ("período de arrefecimento") e 1,0 clo durante o inverno ("estação de aquecimento"). (ISO, 2005)
- 1,0 clo: Roupas íntimas com calças e mangas compridas, jaqueta, meias, sapatos.
- Taxa metabólica é uma média ponderada que deve ser estimado no período de 1 h, ou seja, atividade desenvolvida.
- 1,0 met : sentado e relaxando

Tabela 5.6: Resultados do cálculo para PMV e PPD

Parâmetros	Resultados	
	Apartamento 0.3 630 (Quarto 2)	Apartamento 2.4 630 (Quarto 3)
Temperatura Operativa(°C)	21,5	22,9
PMV	-0,3	0,0
PPD	6,9	5,0

5.3. Questionário X Medições

Para entender a sensação do usuário em relação ao ambiente, os dados das medições de temperatura, umidade relativa e concentração de CO₂ do ar interno foram analisados e

comparados com as respostas obtidas via questionário. A concentração de CO₂ é frequentemente utilizada como indicador de poluição proveniente dos ocupantes, que são a fonte principal nas edificações. No questionário as questões relacionadas ao CO₂ foram: “Os dispositivos são suficientes para eliminarem os cheiros desagradáveis?”, “Você sente algum destes sintomas...? Estes desaparecem assim que você sai do apartamento?”, e “Como você julga a IAQ do seu apartamento?”. Comparando as respostas com as medições, observa-se que 43% dos moradores responderam que os odores não eram suficientemente eliminados e todos apresentaram sintomas. No entanto 88% dos ocupantes julgaram a IAQ como sendo “normal” à “muito boa”. Desse modo, observa-se que os moradores não têm consciência de que estes fatores estão ligados à concentração de CO₂, e este ligado a IAQ. Comparando a evolução temporal da temperatura com as respostas da Questão (Como você sente a temperatura ambiente do seu apartamento?) observa-se que, quando as temperaturas internas medidas atingiram 22°C, algumas pessoas classificaram o ambiente interno como “um pouco fresco”, e quando atingiram 20°C como “frio”. Avaliando os valores de umidade relativa do ar interno em função do tempo com a Questão (Como você sente a umidade do ar?), observa-se que para a umidade relativa acima de 50% em 20-30% do tempo medido, os moradores classificaram-na como “normal”, mas durante 65% do tempo ou mais, os moradores classificaram-na como “alta” ou “muito alta” e apresentavam o sintoma de nariz congestionado.

A sensação térmica de um ser humano, em relação a um dado ambiente, está relacionada principalmente com o equilíbrio térmico do corpo como um todo. Este equilíbrio térmico é influenciado pela atividade física, vestuário utilizado, bem como os parâmetros ambientais. Comparando os resultados calculados para PMV e PPD (Tabela 5.6), com as respostas da Questão 6 (Como você sente a temperatura ambiente no seu apartamento?), para o apartamentos 2.4 630 (Quarto 3), observa-se que a classificação da sensação térmica não são as mesmas (Tabela 5.7), ou seja, segundo os cálculos as pessoas deveriam se sentir satisfeitas, ou seja, classificar o ambiente térmico como “neutro”. Porém, no questionário os ocupantes classificaram como “muito frio”, o que prova que as temperaturas abaixo de 22°C podem causar sensação de frio para algumas pessoas.

Tabela 5.7: Comparação entre resposta do questionário e os valores calculados para sensação térmica do ocupante, nos apartamentos 0.3 630 (Quarto 2) e 2.4 630 (Quarto 3)

Apartamento	Respostas do questionário Questão 6	Valor calculado PMV
0.3 630 (Quarto 2)	Fresco	-0,3 (Neutro à Fresco)
2.4 630 (Quarto 3)	Muito Frio	0 (Neutro)

6. CONCLUSÕES

Em relação aos resultados obtidos via questionários concluiu-se que:

- Para 82 % a 88% dos moradores a IAQ e o sistema de ventilação são normais ou muito bons, ou seja, eles estão satisfeitos;
- As edificações podem estar sofrendo da SBS (*Sick Building Syndrome* -Síndrome do Edifício Doente), pois para 64% dos ocupantes os sintomas psico-fisiológicos desapareciam uma vez que se encontravam fora da edificação. Porém para se saber as causas exatas deste fenômeno devem ser feitos novos estudos e medições nos apartamentos;
- Como 87,5% dos moradores responderam que abrem as janelas no mínimo uma vez ao dia, os dispositivos de ventilação mecânica com recuperação de calor devem ser projetados e programados de acordo com essa situação para diminuir as perdas de calor;
- As informações de funcionamento dos dispositivos devem ser passadas mais de uma vez para os usuários e também serem entregues impressas de modo que possam ter acesso sempre que tiverem dúvidas. Os moradores têm dificuldades para entender como funcionam os dispositivos de ventilação e em manter as janelas fechadas para melhor funcionamento desses;
- Comparando as respostas, observa-se que 43% dos moradores responderam que os odores não eram suficientemente eliminados e todos apresentaram sintomas. Mas 88% dos ocupantes julgaram a IAQ como sendo “normal” a “muito boa”. Portanto, observa-se que os moradores não têm consciência que esses fatores estão ligados à concentração de CO₂, e esse ligado a IAQ.

Pelos resultados obtidos das medições in loco pode-se concluir que:

- Em 82% dos apartamentos a concentração de CO₂ estava abaixo de 1500 ppm. A umidade relativa do ar interno estava abaixo de 70% em 94% dos casos estudados, ou seja, 14 dos 15 apartamentos medidos. Os apartamentos que obtiveram altas concentrações de CO₂ e umidade relativa ocorreram durante a noite nos quartos, cujo volume é menor do que nas salas. As altas concentrações de CO₂ também podem ter ocorrido devido à alta infiltração nos dispositivos, a recirculação do ar viciado, regulação insuficiente do fluxo de ar; ou mal funcionamento, instalação e/ou manutenção dos dispositivos.

- As temperaturas internas estavam dentro da faixa de conforto térmico entre 18°C e 27°C, e 69% dos moradores se sentem satisfeitos. Porém observa-se que quando as temperaturas internas atingiram 22°C, alguns moradores classificaram o ambiente interno como “um pouco fresco”, e quando à 20°C como “muito frio”. Este valor de temperatura do ar interno está relacionado principalmente ao sistema de aquecimento ou resfriamento do ambiente. Desse modo é necessário dar maior liberdade aos moradores em relação ao sistema de regulação da temperatura, para que eles possam regular a temperatura interna de acordo com a necessidade de cada um e se for o caso aumentar o valor de referência. Por outro lado um aumento na utilização do sistema de aquecimentos com altas temperaturas no inverno e baixas temperaturas no verão poderá elevar o consumo de energia de cada apartamento.
- Quando a umidade relativa atinge 50% em 20 a 30% do tempo, os moradores classificaram-na como “normal”, mas durante 65% do tempo ou mais, os moradores classificaram-na como “alta” ou “muito alta”.

O monitoramento serve para mostrar, entre outras coisas, a adequação dos sistemas de ventilação com recuperação de calor em edificações e avaliar a qualidade do ar interno nestes ambientes. Esses sistemas possuem potencial para economia de energia e podem proporcionar uma qualidade do ar ambiente interior adequada. Portanto, pode-se concluir que o conforto, saúde e economia de energia são temas de investigações recentes e podem direcionar para a melhoria de novos sistemas de condicionadores de ar.

A análise dos resultados das medições e questionários pode ser usada como parâmetros para diretrizes de utilização para ambientes com sistema de ventilação mecânica que garantem o nível mais vantajoso do conforto psicofísico e o menor consumo de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHLBORN. **Almemo manual, for all almemo measuring instruments**. V. 5. Ahlborn Meß- und Regelungstechnik GmbH, 4^a ed. Holzkirchen: Germany. 2003. Disponível em: <<http://ahlborn.de/getfile.php?1781.pdf>>. Acesso em: 27 mai. 2015

ALVES, C.A.; DUARTE, D.H.S.; GONÇALVES, F.L.T. Residential buildings' thermal performance and comfort for the elderly under climate changes context in the city of São Paulo, Brazil. *Energy and Buildings*. v.114, 2016, p. 62-71.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 62.1**: Ventilation for Acceptable indoor air quality. ASHRAE: Atlanta, 2013a.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 62.2**: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. ASHRAE: Atlanta, 2013b.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. ASHRAE: Atlanta, 2013c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401**: Instalações centrais de ar condicionado – Sistemas centrais e unitários: Parte 1 – Projeto das instalações, Parte 2 – Parâmetros de conforto térmico, Parte 3 – Qualidade do ar interior. NBR 16401: 2008. ABNT: Rio de Janeiro. 2008.

BORNEHAG C. G.; BLOMQUIST G.; GYNTELBERG F.; JARVHOLM B.; MALMBERG P. NORDVALL L.; NIELSEN A.; PERSHAGEN G.; SUNDELL J. **Dampness in Buildings and Health**: Nordic Interdisciplinary Review of the Scientific Evidence on Associations between Exposure to "Dampness" in Buildings and Health Effects (NORDDAMP). *Indoor Air* 11:72-86. 2001.

DIFF AIRFLOW. Catálogo. 2015. Disponível em: <<http://www.airflow.de/de/Produkte/Messgeraete-1/Mobile-Messgeraete-fuer-den-HLK-Bereich-1/Volumenstrom-und-Druck/detail/DIFF-Digitales-Volumenstrommessgeraet-mit-automatischer-Druckkompensation-und-Datenspeicherung-1.html>>. Acesso em: 26 jun. 2015.

DODOOA, A.; GUSTAVSSONA, L.; SATHREA, R.. Primary energy implications of ventilation heat recovery in residential buildings. *Energy and Buildings*. v. 43, n. 7, p. 1566–1572, jul. 2011.

DORER V.; BREER D.. Residential mechanical ventilation systems: performance criteria and evaluations. Swiss. Switzerland. *Energy and Buildings*, v. 27, p. 247-255, 1998.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 15251**: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics. CEN: Brussels, 2007.

FANG, L.; WYON, D. P.; CLAUSEN, G.; FANGER, P. O. **Impact of indoor air temperature and humidity in an office on perceived air quality, SBS symptoms and performance**. International Centre for Indoor Environment and Energy. Technical University of Denmark. Indoor Air 14 (Suppl 7) 74–81, 2004.

FREEMETEO. TEMPS ESCH-SUR-ALZETTE - Le temps maintenant. Disponível em: <<http://freemeteo.fr/>>. Acesso em: 30 fev. 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 7730**: Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Third edition 11-15. Switzerland, 2005.

LAI, A.C.K.; MUI, K.W.; WONG, L.T.; LAW, L.Y. An evaluation model for indoor environmental quality (IEQ) acceptance in residential buildings. Hong Kong, China . **Energy and Buildings**, v. 41, p. 930–936, 2009.

LEE, T.K.; KIM, J. T. Residents' responses on indoor environment quality and energy use in apartments. *Energy and Buildings*. v. 98, 2015, p. 34-38.

LTM Manual. Disponível em: <<http://www.ltm-ulm.de/de/Produktgruppen/Thermo-Luefter/Funktionsweise.php>>. Acesso em: 26 fev. 2015.

LTM ZENTRAL Manual. Disponível em: <http://www.ltm-ulm.de/de/Produktgruppen/LTM_zentral/Funktionsweise.php>. Acesso em: 26 fev. 2015.

LUNOS Catálogo, 2014. Disponível em: <<http://www.lunos.de/en/downloads/>>. Acesso em: 26 fev. 2015.

MAIER, T.; KRZACZEK, M.; TEJCHMAN, J. Comparison of physical performances of the ventilation systems in low-energy residential houses. Germany/Poland. **Energy and Buildings**, v. 41, p. 337–353, 2009.

MELTEM Manual, 2012. Disponível em: <<http://www.meltem.com/en/heat-recovery/download/>>. Acesso em: 26 fev. 2015.

MERZKIRCH, A.; MAAS, S.; SCHOLZEN, F.; WALDMANN, D.. Field tests of centralized and decentralized ventilation units in residential buildings – Specific fan power, heat recovery efficiency, shortcuts and volume flow unbalances. **Energy and Buildings**, v 116, p 376-383, dezembro, 2015.

OGUNDE, A. O.; AMUSAN, L.; MOSAKU, T.; TUNJI-OLAYENI, P.; OBEMBE, O.; ADEKEYE, B.. Sick Building Syndrome: Towards Safer and Healthier Living and Working Environments in Buildings (A Case Study of a Higher Institution in Nigeria). In:

INTERNATIONAL CONFERENCE ON AFRICAN DEVELOPMENT ISSUES (CU-ICADI). 2015: Social and Economic Models for Development Track, p. 274-279, 2015.

PEREIRA, M.L.; GRAUDENZ, G.; TRIBESS, A.; MORAWSKA, L. Determination of particle concentration in the breathing zone for four different types of office ventilation systems. **Building and Environment**. v. 44, n. 5, p. 904–911, maio 2009.

ROULET, Claude-Alain. **Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments**. 2 Ed.. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2008.

SANTOS, H.R.R.; LEAL, V.M.S. Energy vs. ventilation rate in buildings: A comprehensive scenario-based assessment in the European context. IDMEC- Institute of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering. University of Porto, Porto, Portugal. **Energy and Buildings**. v. 54, p.111–121, 2012.

SILVA, J. G.. **Introdução à tecnologia da refrigeração e da climatização**. São Paulo: Artliber Editora, 2003.

SILVA, A. F. S.. **Avaliação da qualidade ambiental interior de um edifício climatizado artificialmente, com ênfase na análise do conforto térmico**. 2010. 169 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

WÖHLER. Catálogo. Disponível em: <<http://www.woehler.de/shop/us/applications/measuring-instruments-iaq-and-building/iaq-indoor-air-quality/woehler-cdl-210-co2-datalogger.html>>. Acesso em: 20fev. 2015.

YUA, B.F.; HUA, Z.B.; LIUA, M.; YANGB, H.L.; KONGB, Q.X.; LIU, Y.H. Review of research on air-conditioning systems and indoor air quality control for human health. **International Journal of Refrigeration**. v. 32, n. 1, p. 3–20, jan. 2009.

APÊNDICE A- Questionário sobre a ventilação mecânica e a qualidade do ar interior.

QUESTIONÁRIO SOBRE A VENTILAÇÃO MECÂNICA (A Universidade de Luxemburgo garante o anonimato das informações)

Nome: Data:
Edifício: Nível: Apartamento:

1. Você é um Homem 1. () ou uma Mulher 2. ()
2. Qual a sua idade?
3. Há quanto tempo você mora neste apartamento?
4. Quantas pessoas moram neste apartamento com você?
5. Quais são os horários que cada morador permanece dentro de casa?
6. Como você sente a temperatura ambiente no seu apartamento?
(1)Muito Frio (2)Frio (3)Fresco (4)Normal (5)Um pouco quente
(6)Quente (7)Muito quente
7. Como você sente a umidade do ar?
(1)Muito baixa (2) Baixa (3) Normal (4) Alta (5) Muito Alta
8. Como você julga o barulho emitido pelos dispositivos de ventilação durante o seu funcionamento?
(1)Muito baixa (2) Baixa (3) Normal (4) Alta (5) Muito Alta
9. Você se sente incomodado pelo vento produzido pelo dispositivo de ventilação?
(1)Não (2) Um pouco (3) Muito
10. Os dispositivos são suficientes para eliminarem os cheiros desagradáveis?
(1)Muito insuficiente (2) Insuficiente (3) Normal (4) Suficiente (5) Muito insuficiente
11. Você sente algum destes sintomas:
(1)Olhos secos (2)Garganta seca (3)Pele seca
(4)Nariz congestionado (5)Dor de cabeça (6)Cansaço
12. Estes sintomas desaparecem assim que você sai do apartamento?
(1) Sim (2) Não (3) Às vezes

13. Vovê abre a janela depois de:

(1) Cozinhar (2) Utilizar o banheiro (3) Dormir (4) Nunca

14. Quantas vezes, e durante quanto tempo você abre as janelas no dia?

15. Quantas vezes por semana você limpa o seu apartamento?

16. Você sabe como funciona o sistema de ventilação? Você teve acesso às informações sobre o sistema de ventilação?

17. Quantas vezes você pensa em limpar o sistema de ventilação, e trocar os filtros?

18. Como você julga a qualidade do ar interno do seu apartamento? Quais são as razões da sua resposta?

(1) Muito ruim (2) Ruim (3) Normal (4) Boa (5) Muito boa

19. O que você acha do seu sistema de ventilação e por que?

(1) Muito ruim (2) Ruim (3) Normal (4) Bom (5) Muito bom

20. Você gostaria de ter mais influência e controle sobre o dispositivo de ventilação?

(1) Sim (2) Não (3) Um pouco (4) Não importa

21. Quanto você estima os custos de funcionamento do sistema ao longo de um período de um ano?

22. Você tem mais comentários a fazer sobre a qualidade do ar e a ventilação?

APÊNDICE B – Dados brutos dos questionários aplicados nas edificações.

Dados brutos do questionário						
Apto.	Questões					
	1	2	3	4	5	6
Edifício 629						
0.1	Não estavam					
0.2	Desocupado					
0.3	Mulher	40	4	2	8h-12h e 3x/semana 14h-16h (filho)	Neutro
0.4	Desocupado					
1.1	Homem	30	2	1	-	Neutro
1.2	Desocupado					
1.3	Mulher	28	5	1	16h-6h ou 13h-21h	Neutro
1.4	Desocupado					
2.1	Mulher	36	5	4	8h-17h30 Marido/ Crianças 8h-17h	Neutro (Frio nos quartos à noite)
2.2	Não estavam					
2.3	Homem	44	5	4	Crianças 8h-12h e 14h-16h/ Esposa 11h-13h	Neutro
2.4	Mulher	36 (34,3,8,4 , 14 meses)	3	5	Não saem para trabalhar ou estudar	Neutro
Edifício 630						
0.1	Mulher	71	mudou-se na semana	1	-	Neutro
0.2	Não estavam					
0.3	Mulher	38	10	1	8h no total fora	Um pouco fresco
0.4	Mulher	49	6	2	marido 7h-16h	Um pouco fresco
1.1	Mulher	30	10	2	criança 8h-17h	Neutro
1.2	Mulher	49	8	1	Não saem para trabalhar ou estudar	Neutro
1.3	Mulher	26	7	3	somente a criança 8h-17h	Um pouco fresco
1.4	Homem	65	10	2	Não saem para trabalhar ou estudar	Neutro
2.1	Não estavam					
2.2	Mulher	46	7	4	3 Crianças 7h-16h30	Frio
2.3	Homem	43	7	5	6h-17h30 / Crianças 7h45-16h/mulher o dia todo	Neutro
2.4	Mulher	37	9	3	todos 8h-16h	Frio

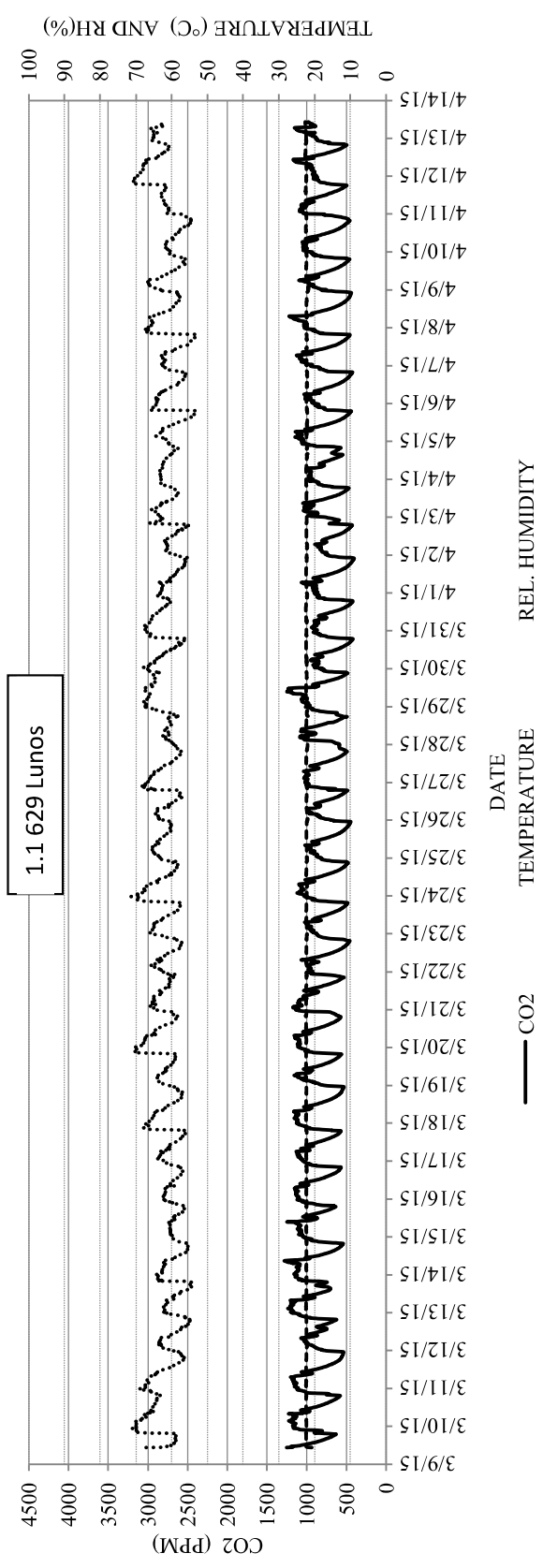
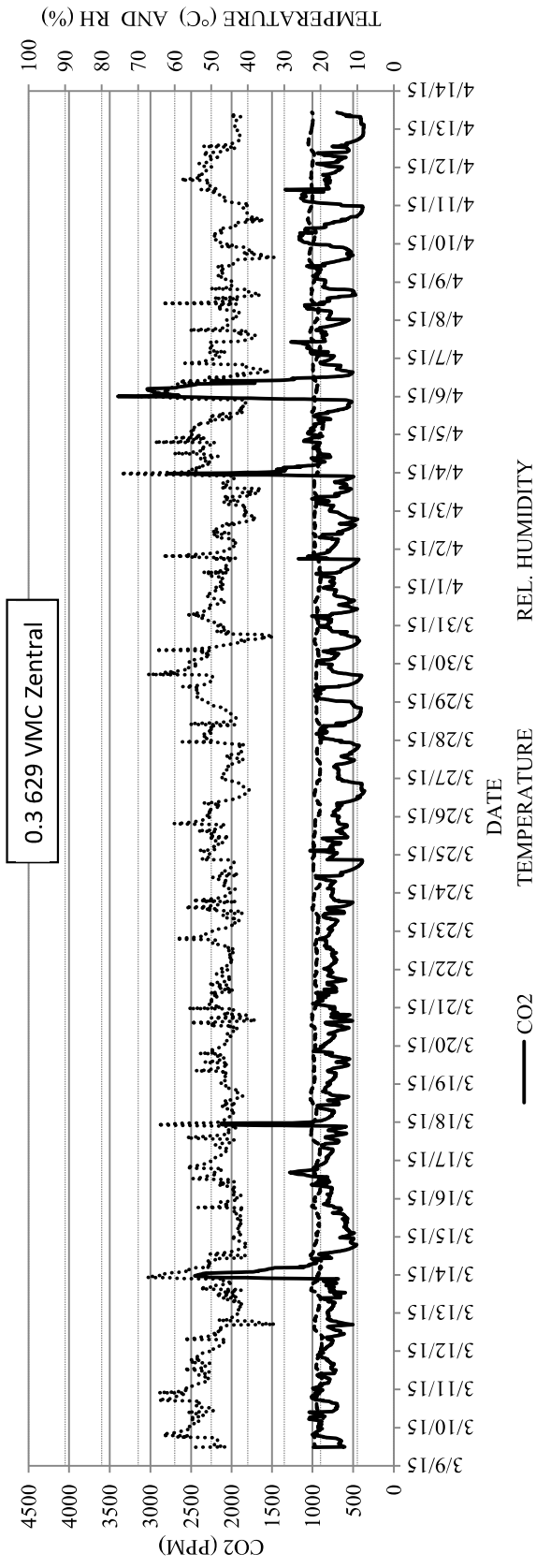
Dados brutos do questionário						
Apto.	Questões					
	7	8	9	10	11	12
Edifício 629						
0.1						
0.2						
0.3	Normal (Quarto e banheiro Alta)	Alto	Não	Insuficiente		Nunca
0.4						
1.1	Baixa	Muito baixo	Um pouco	Insuficiente	Pele seca/Não	Cozinhar
1.2						
1.3	Normal	Alto	Muito - à noite	Suficiente	Olhos secos, nariz congestionado, dor de cabeça/Sim	Nunca
1.4						
2.1	Alta	Alto	Um pouco	Insuficiente	Nariz congestionado, dor de cabeça/ Sim	Cozinhar e dormir
2.2						
2.3	Normal	Normal	Não	Suficiente	Nariz conestionado, dor de cabeça e cansaço/Sim	Cozinhar e dormir
2.4	Normal	Sala baixa, Banheiro Alta	Não	Insuficiente		Cozinhar
Edifício 630						
0.1	Normal	Muito baixo	Não	Muito Insuficiente	Pele seca/ às vezes	Cozinhar e dormir
0.2						
0.3	Baixa	Normal	Não	Suficiente	Não	Cozinhar
0.4	Baixa	Normal	Não	Normal	Garganta seca e cansaço/Sim	Cozinhar
1.1	Normal	Muito baixo	Não	Muito suficiente		Cozinhar e dormir
1.2	Normal	Normal	Não	Muito Insuficiente		Cozinhar
1.3	Normal	Normal	Não	Suficiente	As vezes	Cozinhar e dormir
1.4	Alta	Alto	Um pouco	Suficiente	Garganta seca e nariz congestionado /Sim	Cozinhar
2.1						
2.2	Muito alta	Muito alto	Muito	Insuficiente	Todos/ Sim	Cozinhar
2.3	Normal	Baixo	Não	Muito suficiente	Garganta seca / às vezes	Cozinhar
2.4	Muito alta	Baixo	Não	Suficiente	Nariz congestionado/Sim	Cozinhar e dormir

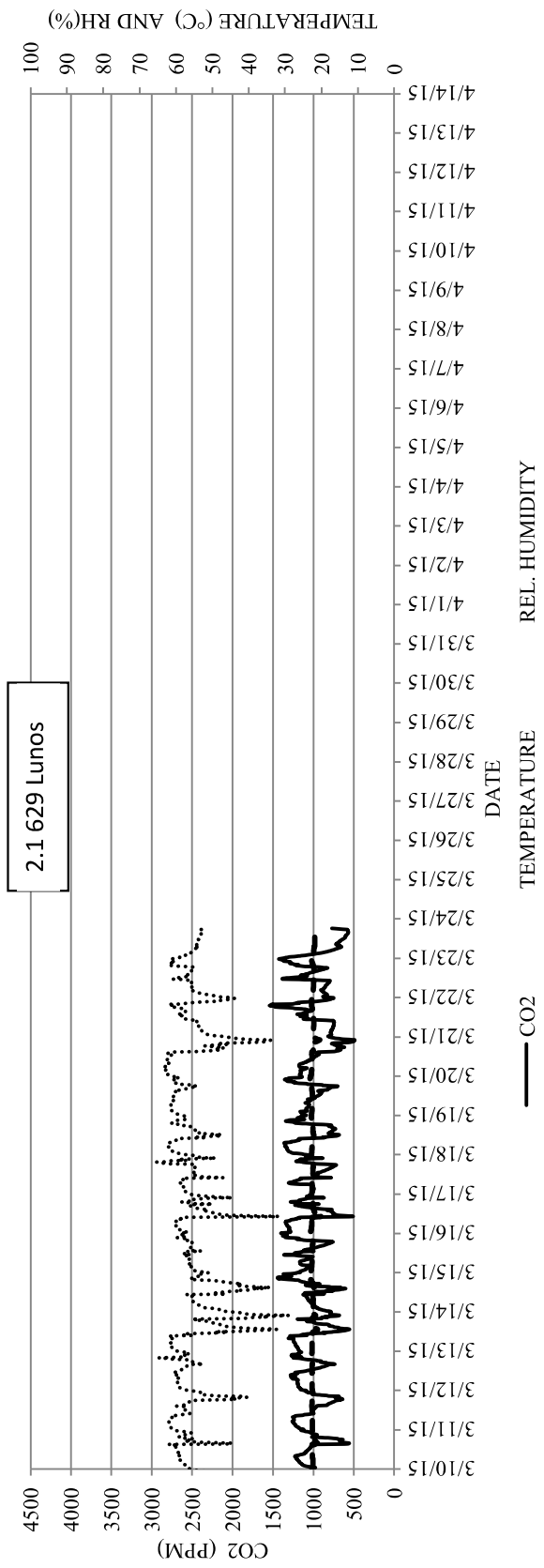
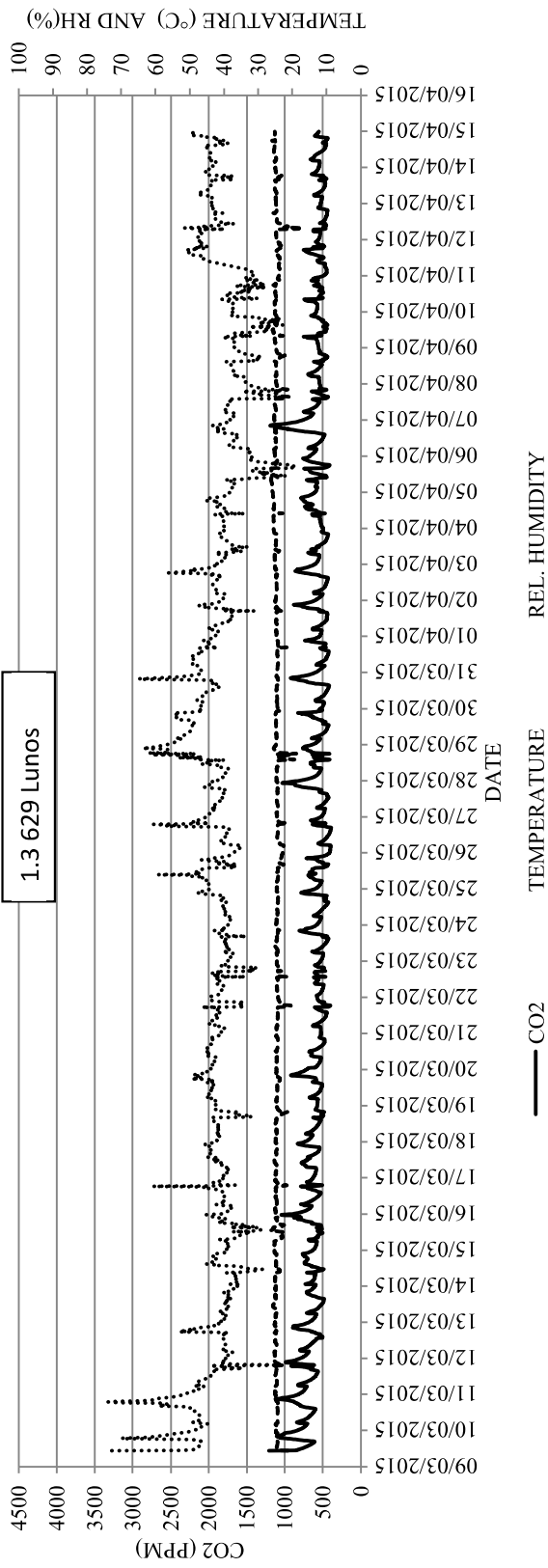
Dados brutos do questionário					
Apto.	Questões				
	13	14	15	16	17
Edifício 629					
0.1					
0.2					
0.3	Nunca	3-4x	Não/Não	Nunca	Normal
0.4					
1.1	2x	1x	-	2x/ano	Boa
1.2					
1.3	Quando tem dor de cabeça	2x	Sim/Sim	2x por ano	Normal/ as vezes é seco
1.4					
2.1	2x 15-5 min	2x	Não/Não	Não sabem que tem que limpar	Normal
2.2					
2.3	Um pouco	2x	Um pouco	Ainda não limpou, não sabe	Normal
2.4	Depois que cozinha	1-2x	Oui	Nunca mexeram	Normal
Edifício 630					
0.1	15 min	quando precisar	Sim/Sim	Não sabe ainda está aguardando informações	Boa, No momento em que a ventilação está funcionando.
0.2					
0.3	5 min quando necessário	2x	Sim/Sim	A empresa que trocar	Muito boa
0.4	O dia todo	Sempre	Sim mas não foram suficientes	Não sabe	Normal
1.1	2x	1x	Sim/Sim	Ainda não recebeu informação sobre isso	Muito boa
1.2	-	3x	Não/Sim	A empresa que trocar	Boa
1.3	3x	2-3x	Sim/Sim	A empresa que trocar	Boa
1.4	durante 1h	Todos os dias	Nenhuma informação	Não limpa	Normal
2.1					
2.2	1x depois de cozinhar	Todos os dias	Não/Não	Não	Muito ruim, pois as crianças estão sempre doentes.
2.3	1x depois de cozinhar	1 ou mais vezes	Sim/Sim	Nunca	Boa, pois não é sufocante
2.4	De manhã e a tarde	1-2x	Não sabe, as informações não foram suficientes	A empresa que trocar	Ruim, humidade nos quartos

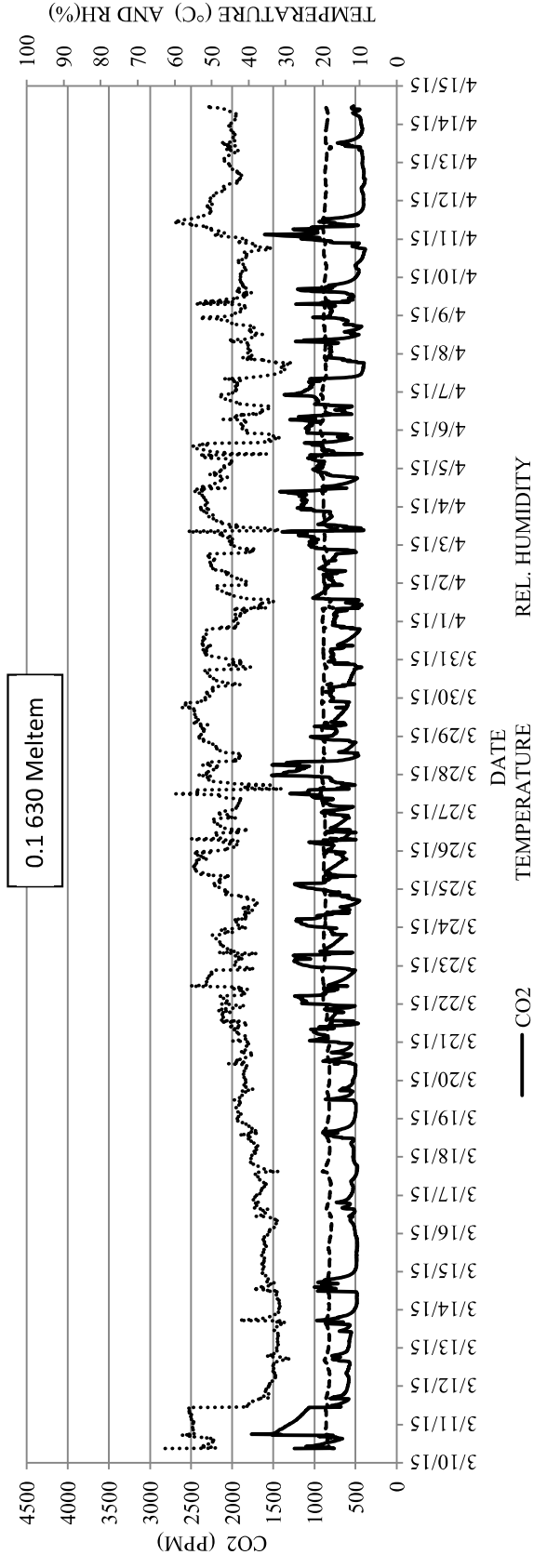
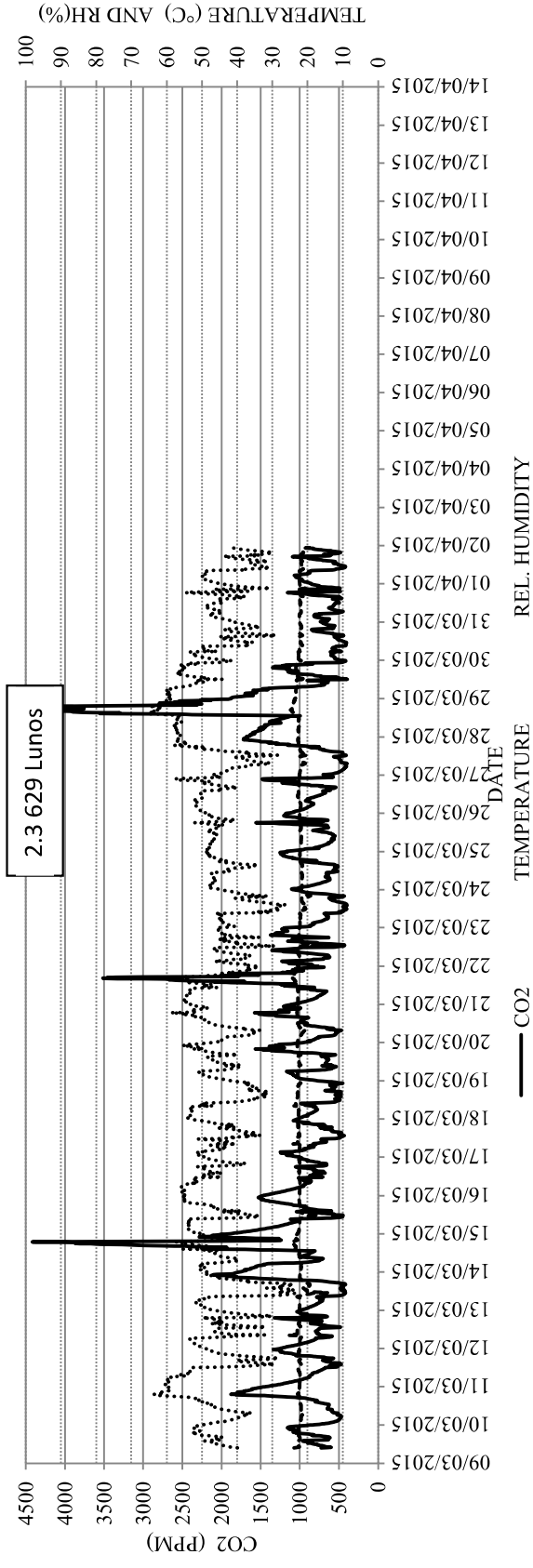
Dados brutos do questionário							
Apto	Questões					Local do sensor	Sistema de Ventilação
	18	19	20	21			
Edifício 629							
0.1							Central
0.2							Central
0.3	Normal	Sim	Não tem idéia	-		Quarto	Central
0.4							Central
1.1	Normal	Um pouco	3 vezes por ano	-		Quarto	Lunos
1.2							Meltem
1.3	Normal/ Pois gostaria de mais ventilação com menos barulho	Sim	Com charges 150 euros /mês	-		Sala	Lunos
1.4							LTM
2.1	Normal, pois não sabe se realmente funciona	Sim	Não sabe	1 vez que mora em um ap. com sistema de ventilação. O odores sempre permanecem, mesmo com as janelas abertas. As janelas não fecham muito bem. Não sabe si o dispositivo funciona no banheiro pois sempre tem vapor. A porta da cosinha não está locada bem, e para a brir a janela temque subir em uma cadeira. E só tem radiadores na sala e banheiro.		Sala	Lunos
2.2							Meltem
2.3	Normal, insuficiente	Sim, um pouco	100 euros/mês	Não sabem como controlar aberturas de janelas e funcionamento da ventilação. Tem dúvidas. A família gostaria de vascular as janelas as vezes por ar natural.		Sala	Lunos
2.4	Bom	Sim	Não sabe	-		Sala	LTM
Edifício 630							
0.1	Bom, porque quando sai e volta o ar interno é bom	Não	Não sabe	No quarto foi constatado humidade na parede.		Quarto	Meltem
0.2						-	LTM
0.3	Muito bom	Não	mais que 75 euros /mês			Quarto	LTM
0.4	Muito bom	Sim	Não sabe			Sala	Lunos
1.1	Muito boa	Um pouco				Sala	Meltem

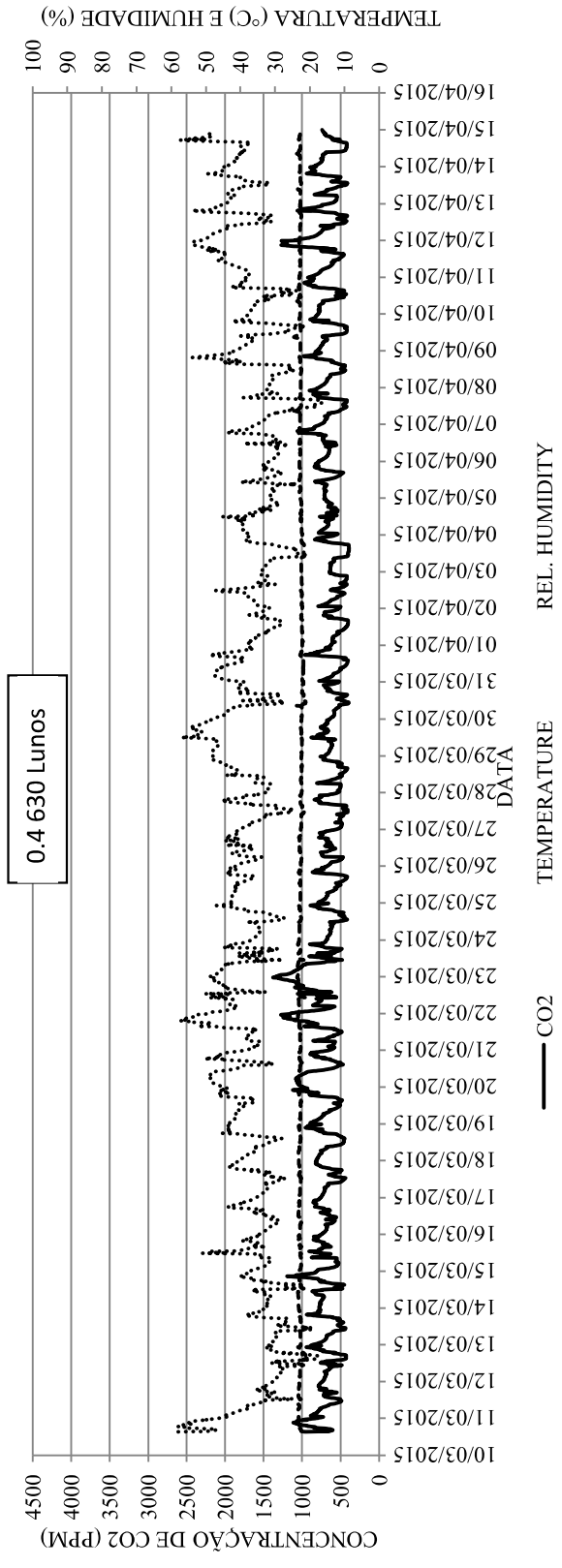
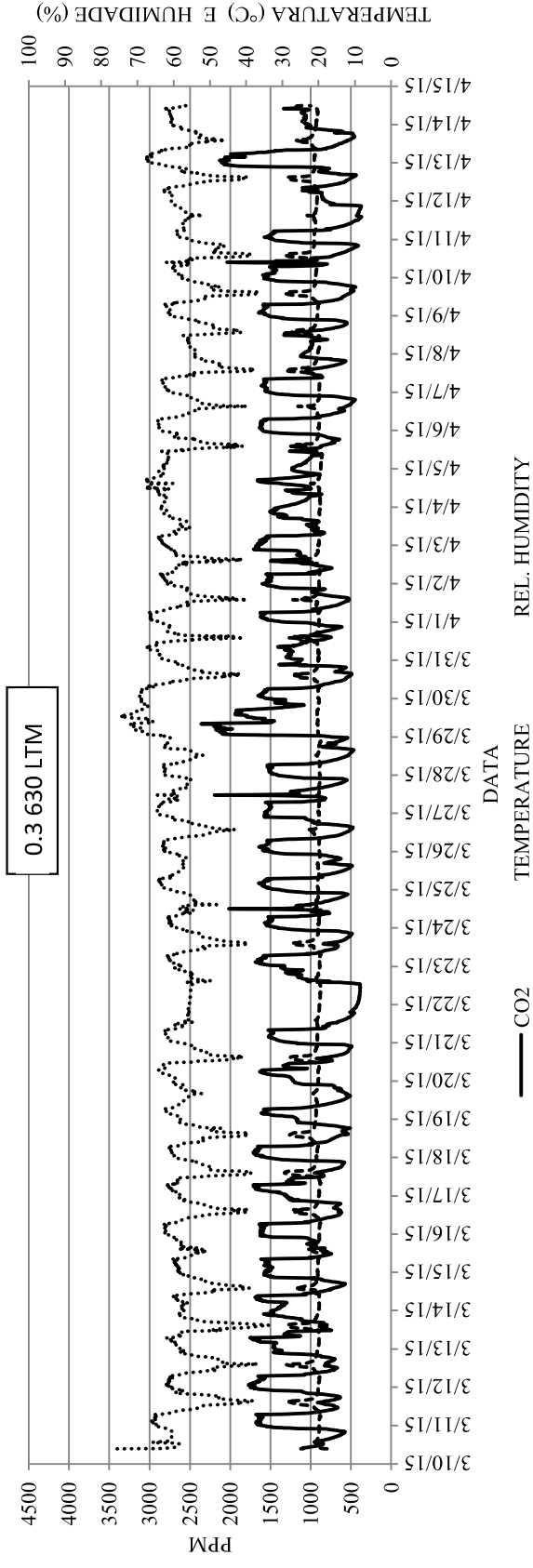
1.2	Ruim, sistema de ventilação não é suficiente para eliminar os odores quando cozinha.	Sim	50 euros / mês	Ventilação insuficiente quando cozinha mesmo com exaustor.	Sala	Lunos
1.3	Boa	Não	75euros /2 meses		Sala	LTM
1.4	Normal		75 euros a cada 2 meses	Janela do quarto não abre a persiana externa.	Sala	Lunos
2.1						Meltem
2.2	Muito ruim	Sim	mais de 140 euros/mês		Quarto e Sala	LTM
2.3	Muito bom, pois arejamento é constante	Não	Não sabe mas mais do que o previsto	Deveria haver mais dispositivos para os espaços maiores, como cozinha e sala.	Sala	LTM
2.4	Ruim, por causa do frio e umidade	Sim	-	Depois do banho muito vapor e a ventilação não é suficiente.	Quarto	Lunos

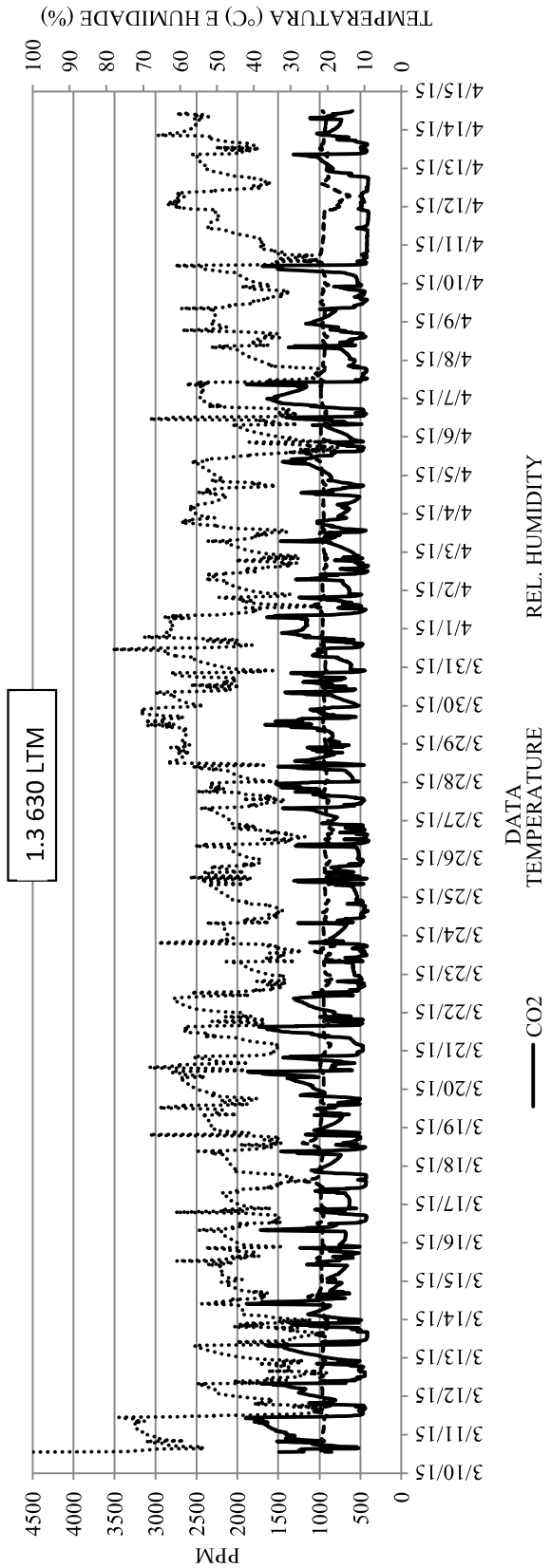
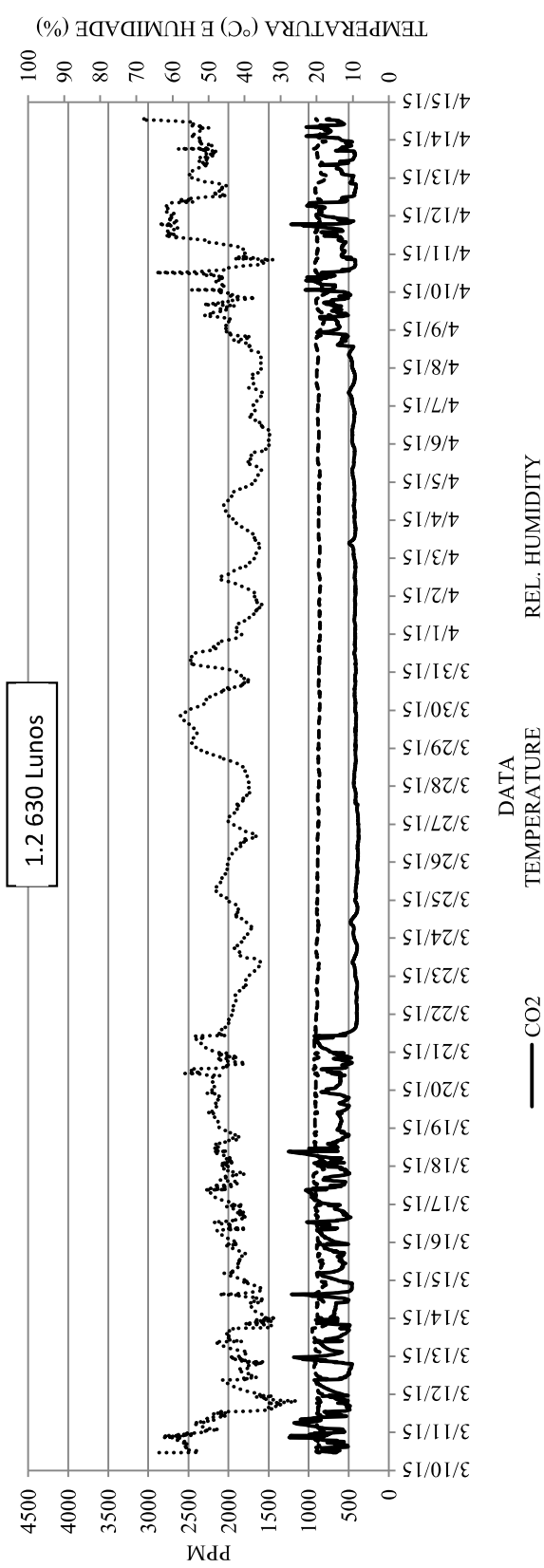
APÊNDICE C –Gráficos de Concentração de CO₂, Temperatura e Umidade Relativa interna, para cada apartamento, durante o período de medição de 09/03/2015 à 14/04/2015.

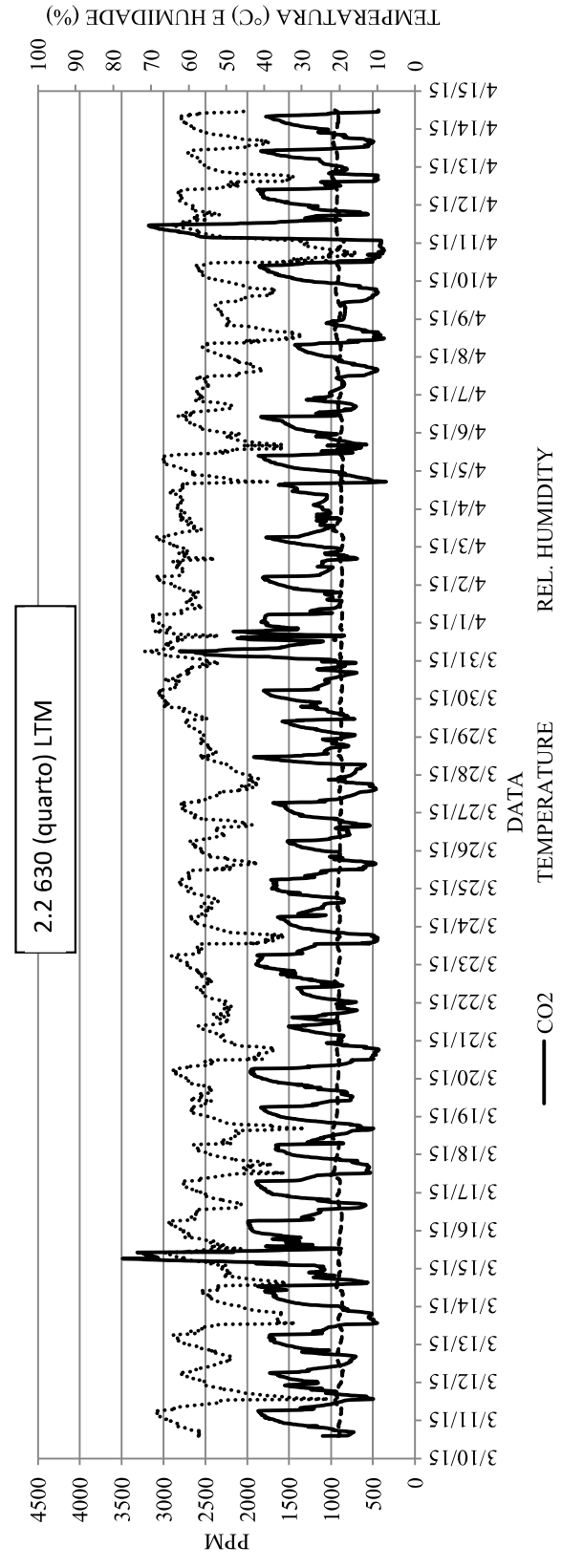
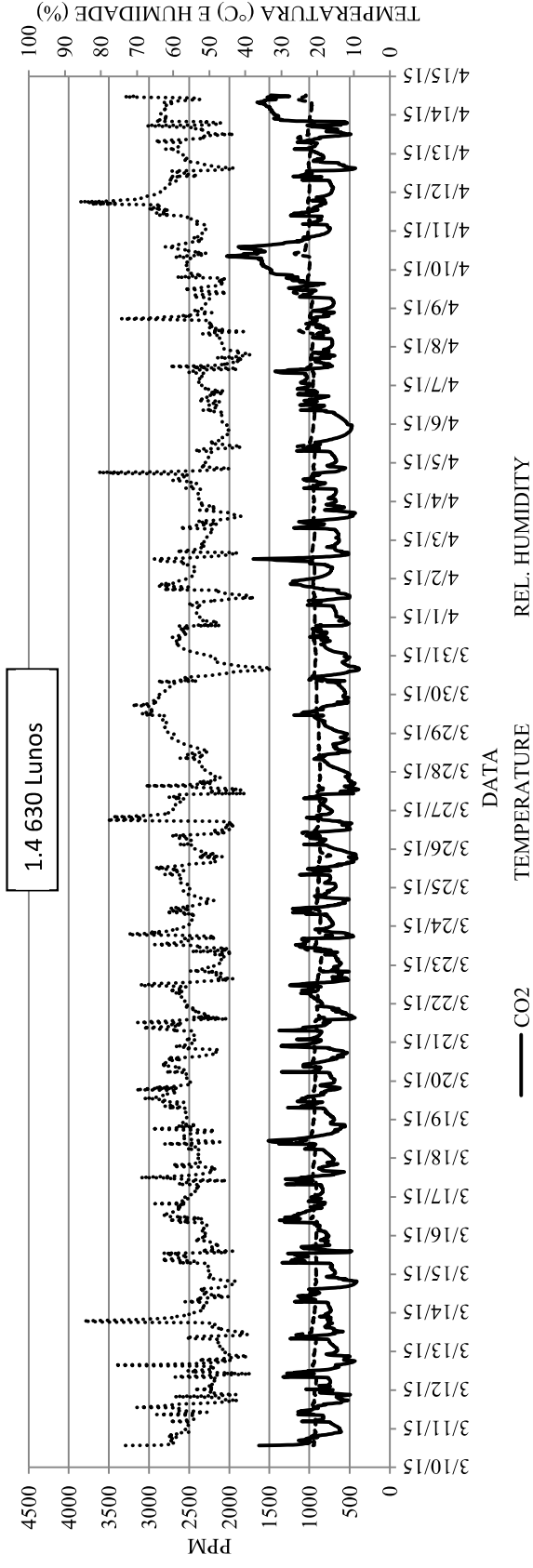


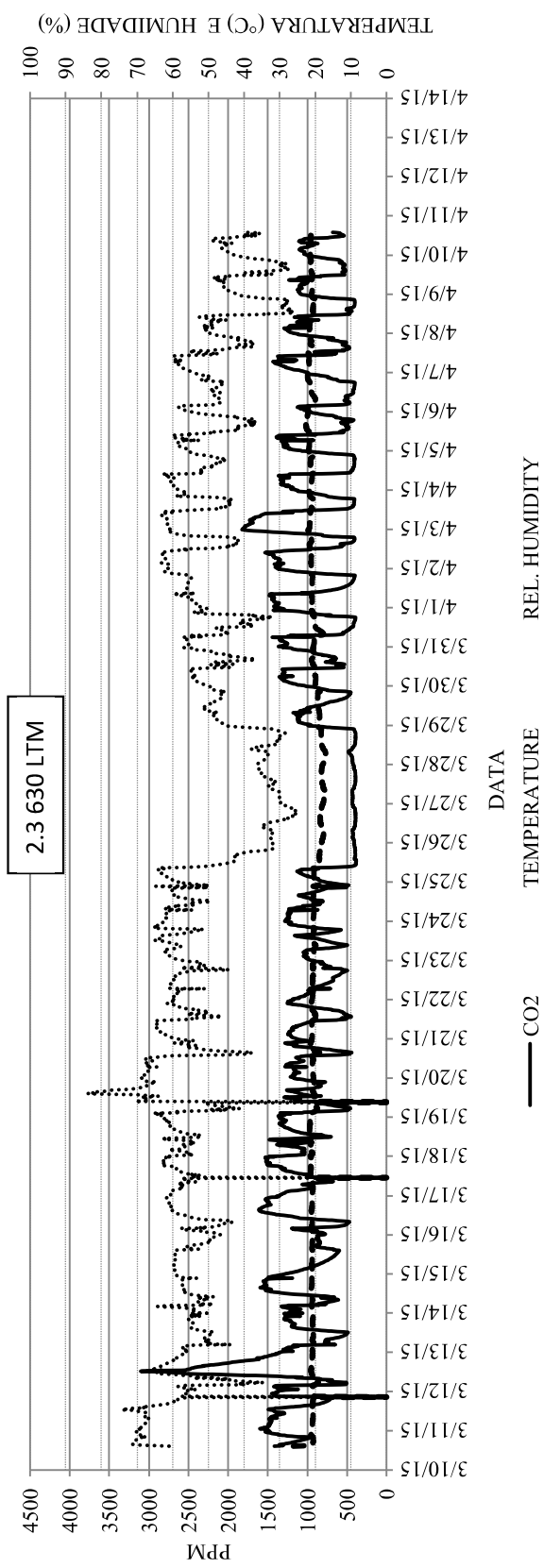
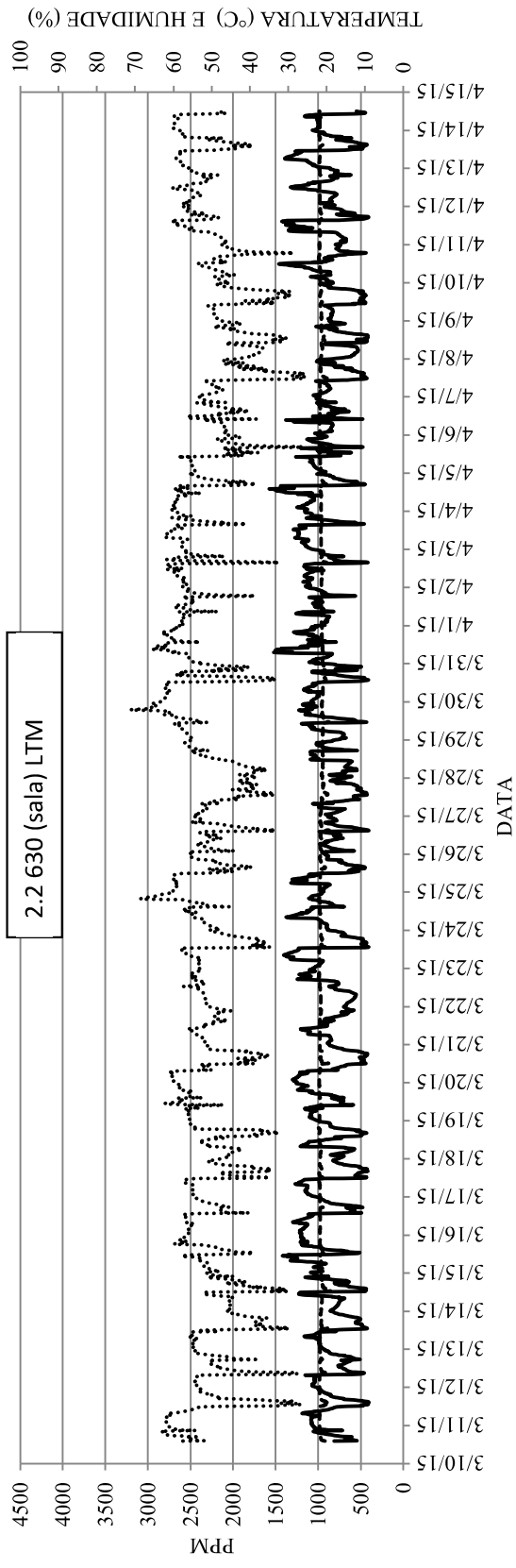


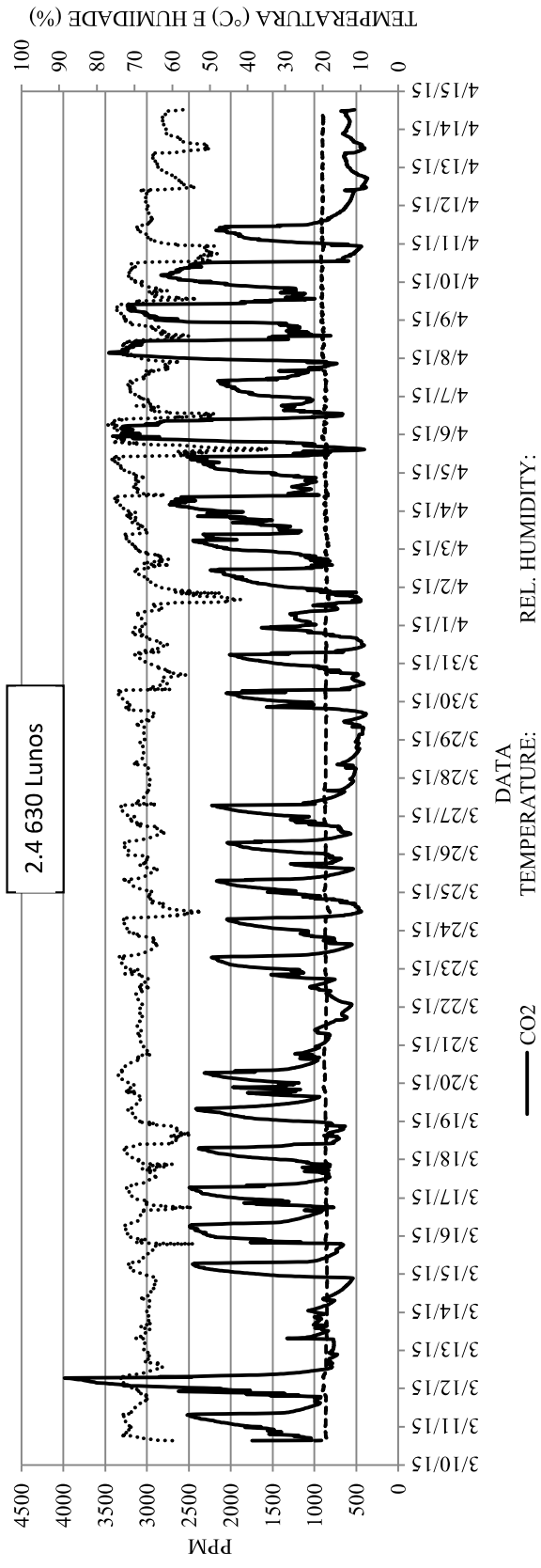




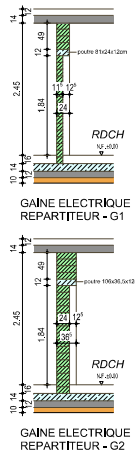
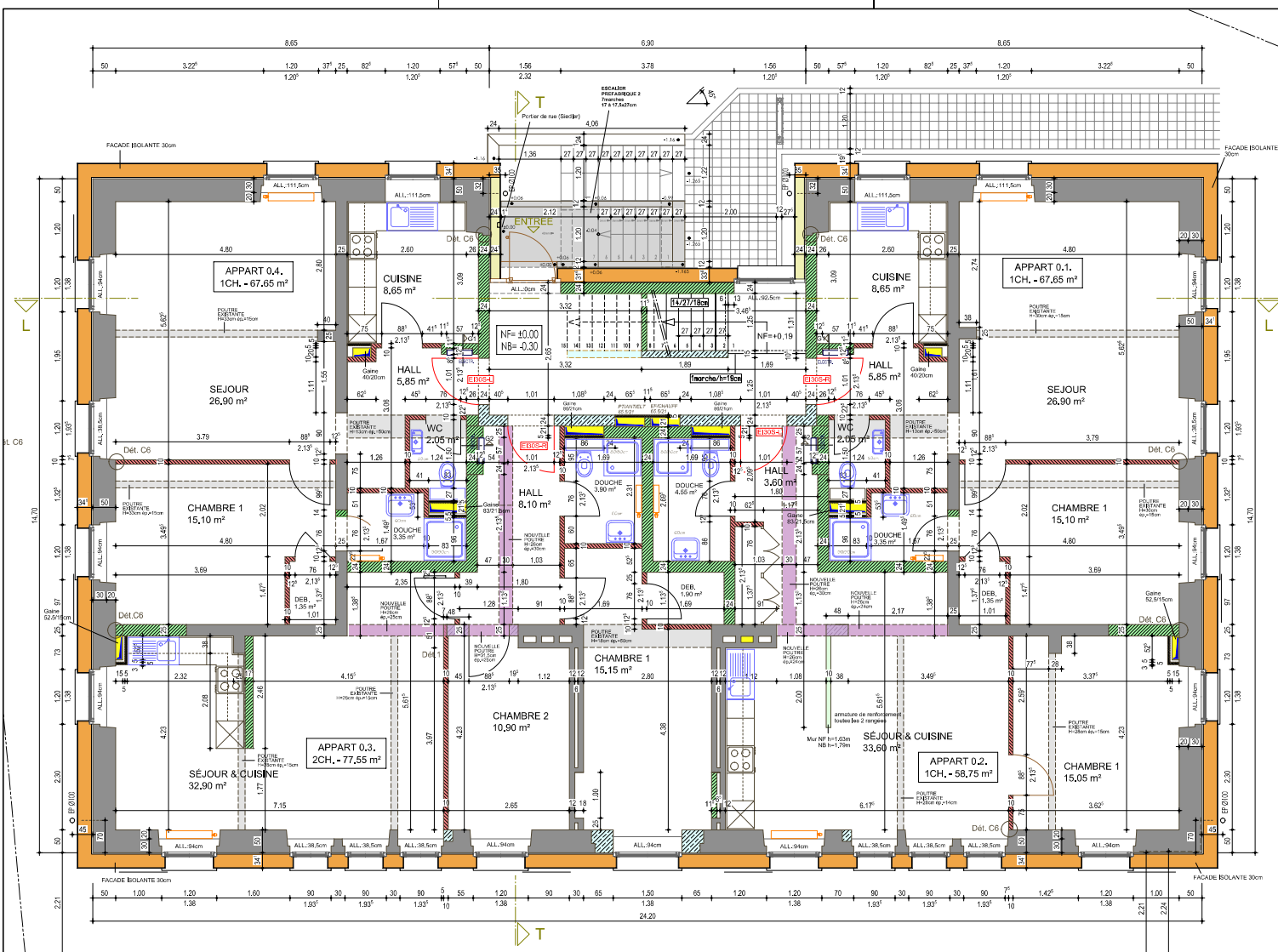








ANEXO A –Planta baixa de cada pavimento, fornecidas pela SNHBM.

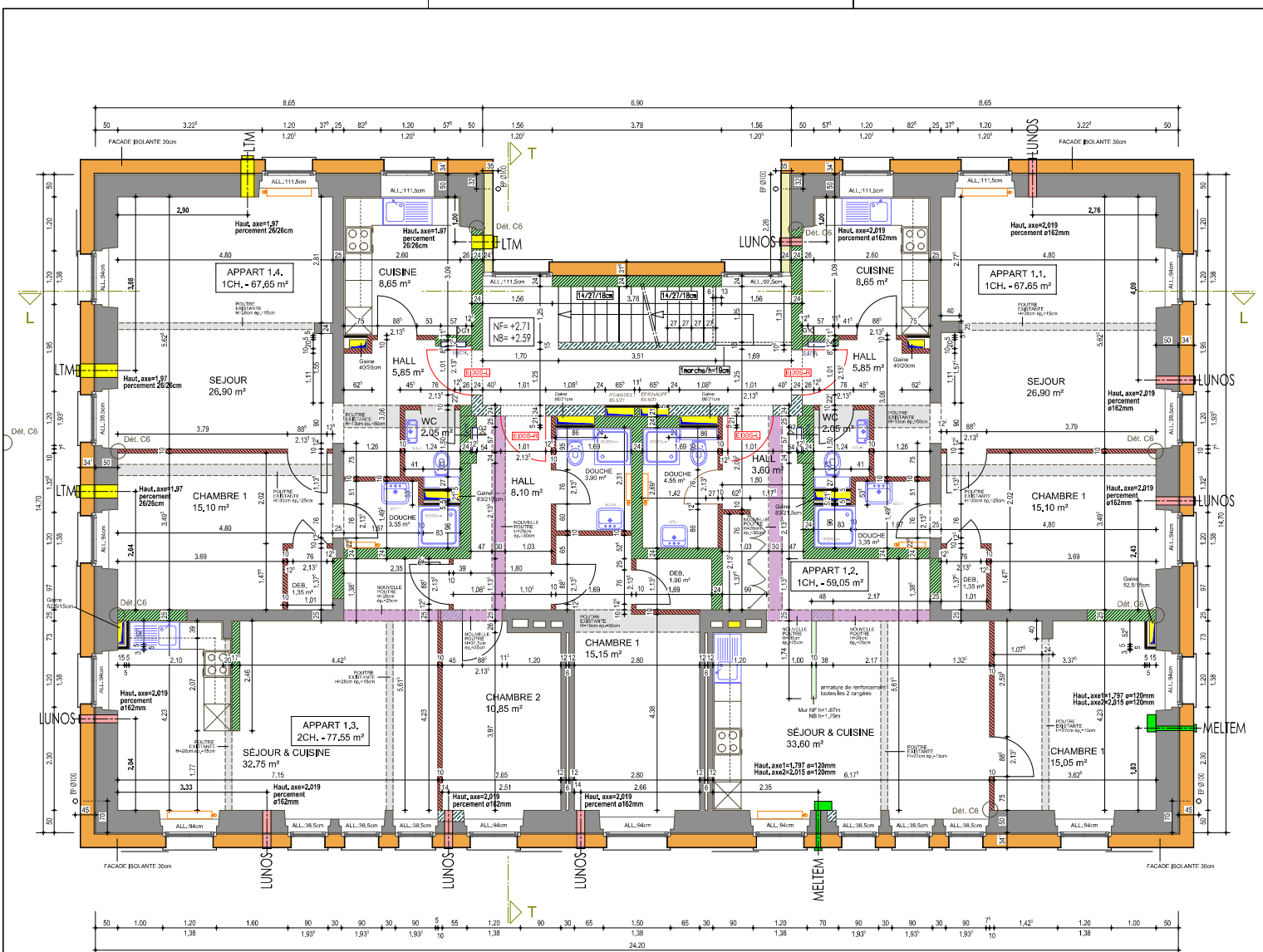


LEGENDE :

	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR CAVE		
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR R.D.C. (voir plan ou 1e ETAGE)		
	PERCEMENT DANS LES MURS		
TOUTES LES PORTES SONT COTEES EN GROS-OEUVRE			
	MURS EXISTANTS		ISOLATION NEOPOR 30cm A=0,032 W/(mK)
	BRIQUE DE LAITIER		ISOLATION NEOPOR 20cm A=0,032 W/(mK)
	BLOCS YTONG MUR DE: 10cm		PLACOPLATRE
	POUTRES EXISTANTES		MUR EN BETON
	POUTRES A SUPPRIMER	TOUTES LES MESURES SONT A VERIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR	
	NOUVELLES POUTRES		

18.03.2013	d	MISE A JOUR	Mic
03.07.2012	b	ISOL, SOCLE EP, ESCALIER EXT, DESCENTE EP	Mic
11.04.2012	a	MISE A JOUR	Mic
Date		Modifications	Dress.

	Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A. 108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecte@snhbm.lu	
	Objet	Résidence 629 Esch/Alzette 2, Place Pierre Krier L-1177 Esch/Alzette EXECUTION REZ-DE-CHAUSSEE
Chantier	B-10	Plan n° 27324c
H	629	Ech. 1/50
Date	19.03.12	Dessiné MIC
		L'architecte

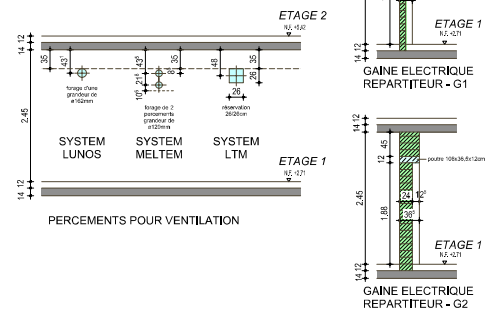


LEGENDE :

	PERÇEMENT DANS LA DALLE SUR ROCH		ISOLATION NEOPOR 30cm A=0,032 W/(mK)
	PERÇEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 1 (voir pbin du 2e ETAGE)		ISOLATION NEOPOR 20cm A=0,032 W/(mK)
	PERÇEMENT DANS LES MURS		PLACOPLÂTRE
	MURS EXISTANTS		MUR EN BÉTON
	BRICKS DE LAITIER MUR DE: 24cm		
	BLOCS YTONG MUR DE: 10cm		
	POUTRES EXISTANTES		
	POUTRES A SUPPRIMER		
	NOUVELLES POUTRES		

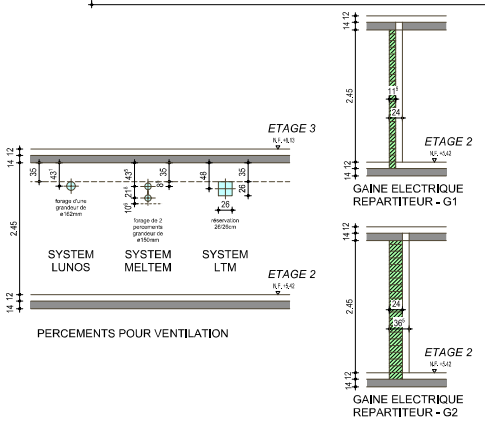
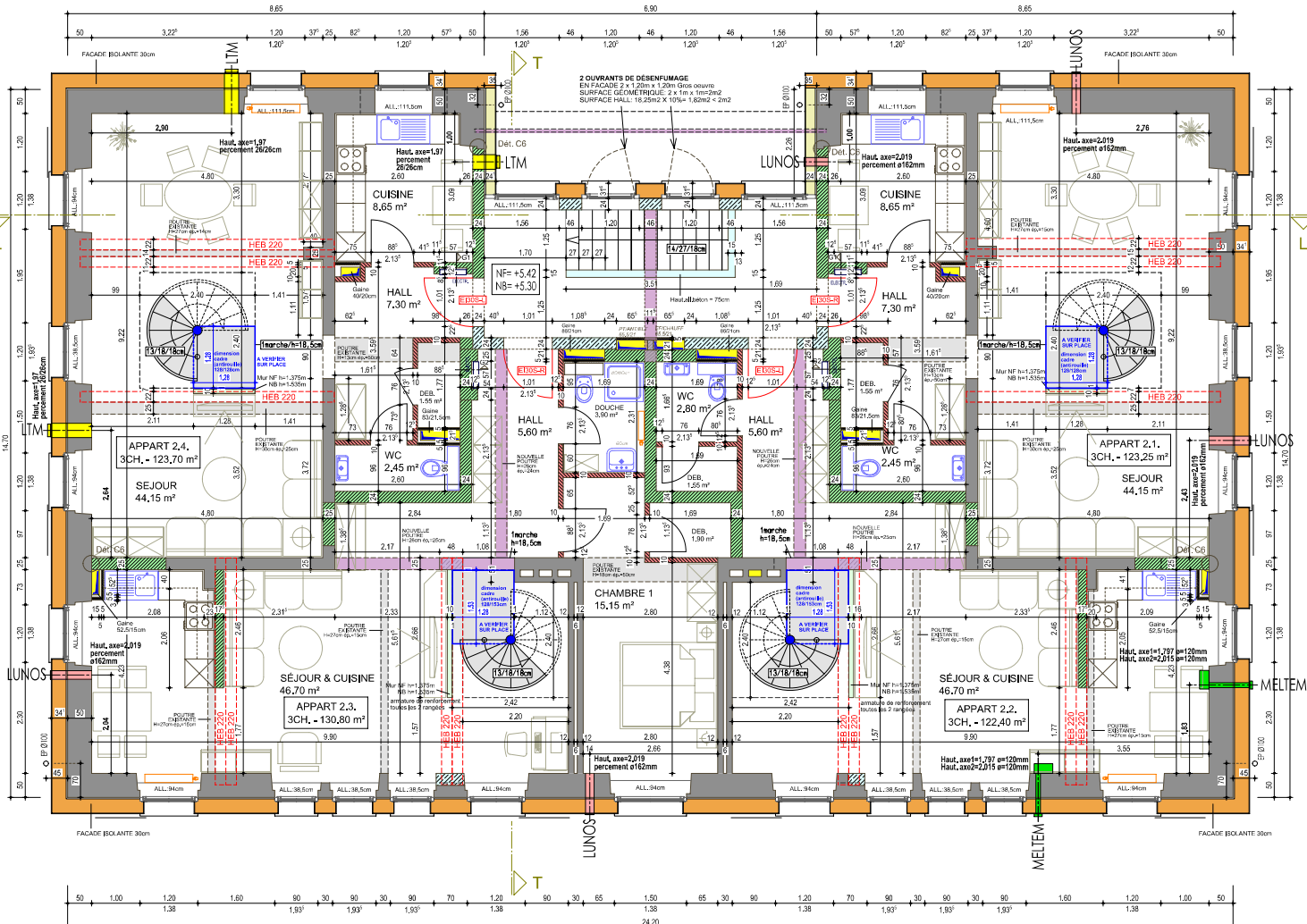
TOUTES LES PORTES SONT COTÉES EN GROS-OEUVRE

TOUTES LES MESURES SONT À VÉRIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR



18.03.2013	d	MISE A JOUR	Mic
14.09.2012	c	VENTILATIONS	Mic
03.07.2012	b	ISOL. SOCLE EP., ESCALIER EXT., DESCENTE EP	Mic
11.04.2012	a	MISE A JOUR	Mic
Date		Modifications	Dress.

	Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A. 108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecte@snhbm.lu		Plan n° 27325d Ech. 1/50 Dessiné MIC
	Objet Résidence 629 Esch/Alzette 2, Place Pierre Krier L-1177 Esch/Alzette EXECUTION ETAGE 1		
Chantier B-10 H° 629	Date 19.03.12		L'architecte

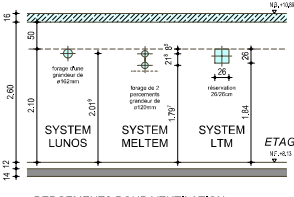
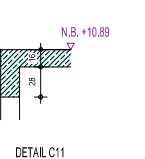
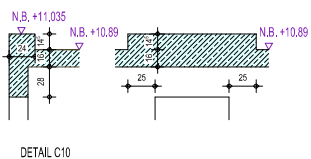
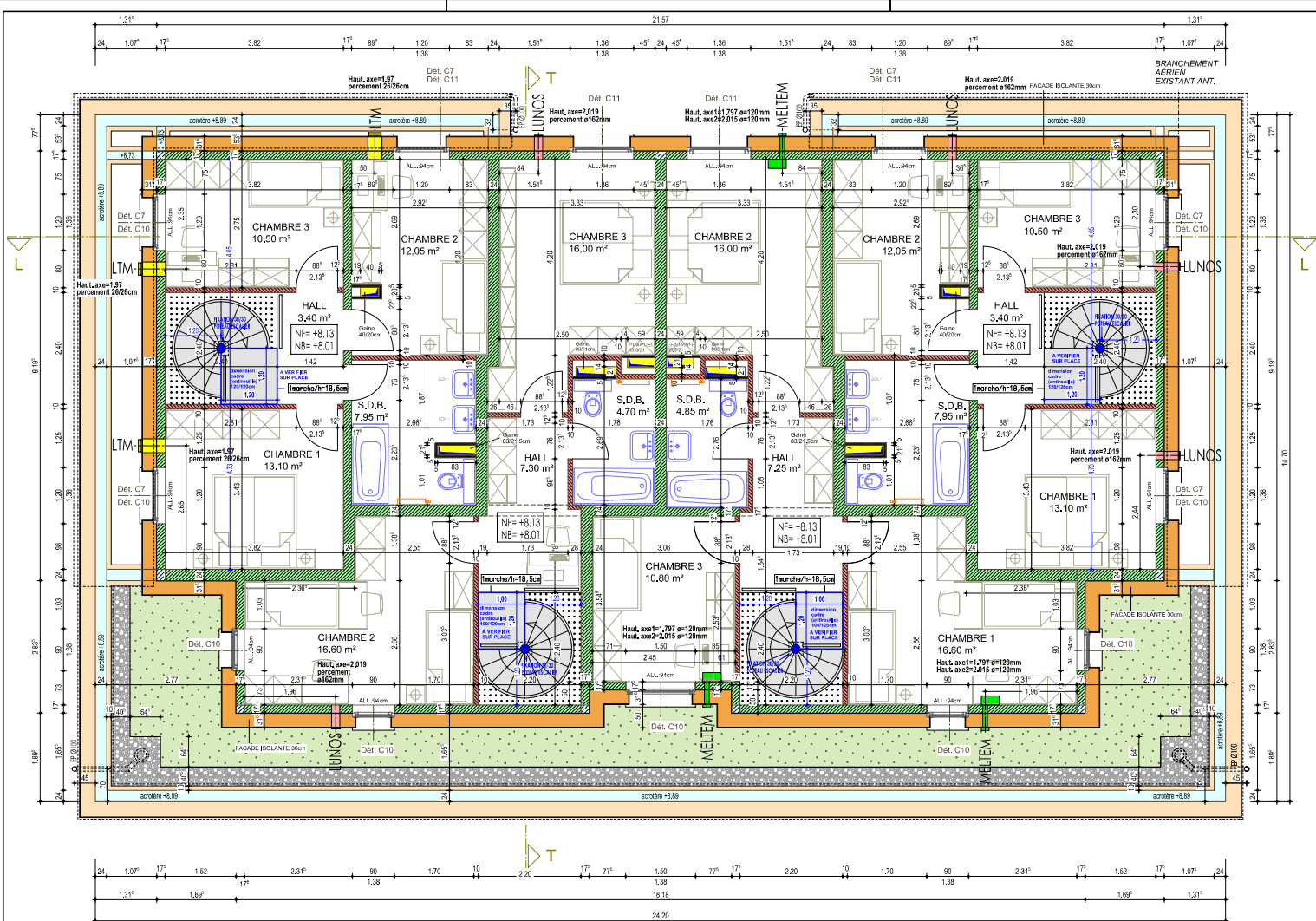


LEGENDE :

	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 1		
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 2 (voir plan du 3e ETAGE)		
	PERCEMENT DANS LES MURS		
TOUTES LES PORTES SONT COTEES EN GROS-ŒUVRE			
	MURS EXISTANTS		ISOLATION NEOPOR 30cm A=0,032 W/(mK)
	BRIQUEUX DE LAITIER MUR DE: 24cm		ISOLATION NEOPOR 20cm A=0,032 W/(mK)
	BLOCS YTONG MUR DE: 10cm		PLACOPLÂTRE
	POUTRES EXISTANTES		MUR EN BÉTON
	POUTRES A SUPPRIMER	TOUTES LES MESURES SONT A VERIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR	
	NOUVELLES POUTRES		

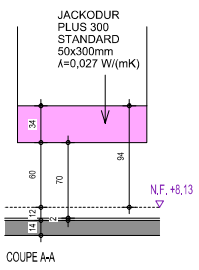
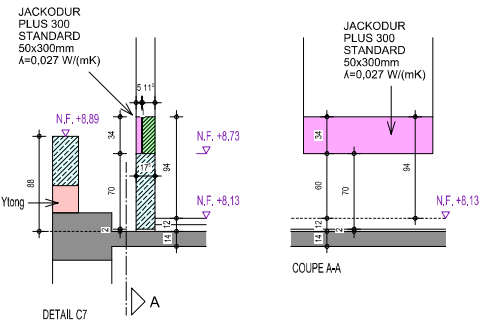
18.03.2013	d	MISE A JOUR	Mic
24.01.2013	c	DIMENSIONS DES CADRES ESCALIER EN COLIMAÇON	Mic
15.10.2012	a	MISE A JOUR	Mic
14.09.2012	b	ISOL. SOCLE EP., ESCALIER EXT., DESCENTE EP. VENTILATIONS	Mic
Date		Modifications	Dress.

	Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A.		Plan n° 27326d
	108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecte@snhbm.lu		
Objet Résidence 629 Esch/Alzette 2, Place Pierre Krier L-1177 Esch/Alzette			Ech. 1/50
EXECUTION ETAGE 2			Dessiné MIC
Chantier B-10	Date 19.03.12	L'architecte	
H° 629	M.P.R. ALLIPLAN 73 N° CALQUEUR D. DATE 06/03/2014 DATE MODIF. 04/10/2014 ROUTE TECHNIQUE/203 2155964		



ESCALIER EN COLIMACON
 POTEAU ø168,3mm - 6p=4,5mm
 STRUCTURE 650 kg
 POIDS TOTAL 1150 kg

TOUTES LES MESURES SONT À VERIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR



LEGENDE :

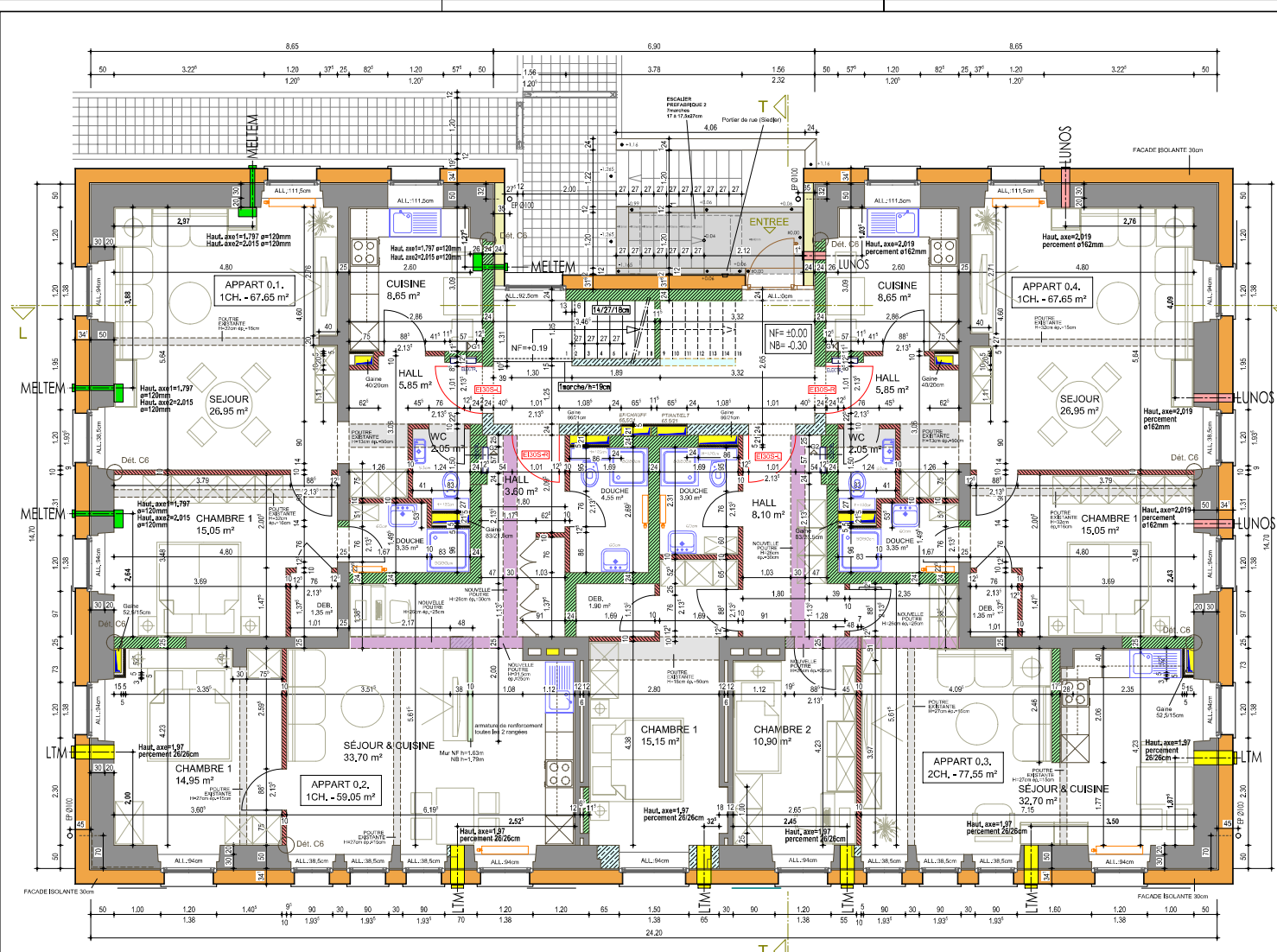
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 2		ISOLATION 30cm
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 3 (voir plan de la toiture)		PLACOPLÂTRE
	PERCEMENT DANS LES MURS		MUR EN BÉTON

TOUTES LES PORTES SONT COTÉES EN GROS-ŒUVRE

18.03.2013	d	MISE A JOUR, MUR 17,5cm ENTRE S.D.B./CHAMBRE3	Mic
24.01.2013	c	DIMENSIONS DES CADRES ESCALIER EN COLIMACON	Mic
12.12.2012	b	Mur extérieur en briques de bati 17,5cm, mise à jour gravier, verdure	Mic
14.09.2012	a	ARMOIRE ELECTR., DESCENTE EP, CHAPE EN PENTE TOITURE, VENTILATIONS	Mic
Date		Modifications	Dress.

Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A.
 108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg
 Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecte@snhbm.lu

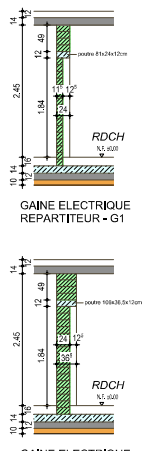
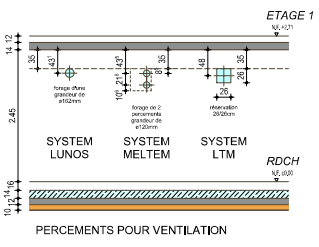
Objet: **Résidence 629 Esch/Alzette** Plan n° **27327d**
 2, Place Pierre Krier, L-1177 Esch/Alzette
EXECUTION ETAGE 3
 Ech. 1/50, 1/25
 Dessiné MIC
 Chantier B-10 Date 19.03.12 L'architecte *Jalex*
 H 629



LEGENDE :

	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR CAVE		ISOLATION NEOPOR 30cm A=0,032 W/(mK)
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR R.D.C (voir plan du 1 ^{er} ETAGE)		ISOLATION NEOPOR 20cm A=0,032 W/(mK)
	PERCEMENT DANS LES MURS		PLACOPLÂTRE
	MURS EXISTANTS		MUR EN BÉTON
	BRICKS DE LATIER MUR DE: 24cm	TOUTES LES MESURES SONT À VÉRIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR	
	BLOCS YTONG MUR DE: 10cm		
	POUTRES EXISTANTES		
	POUTRES À SUPPRIMER		
	NOUVELLES POUTRES		

TOUTES LES PORTES SONT COTEES EN GROS-ŒUVRE



18.03.2013	d	MISE A JOUR	Mic
14.09.2012	c	VENTILATIONS	Mic
28.06.2012	b	FACADE ISOL. EP., ESCALIER EXT., ARMOIRE ELECTR., DESCENTE EP	Mic
11.04.2012	a	MISE A JOUR	Mic
Date		Modifications	Dress.

Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A.
 108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg
 Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecte@snhbm.lu

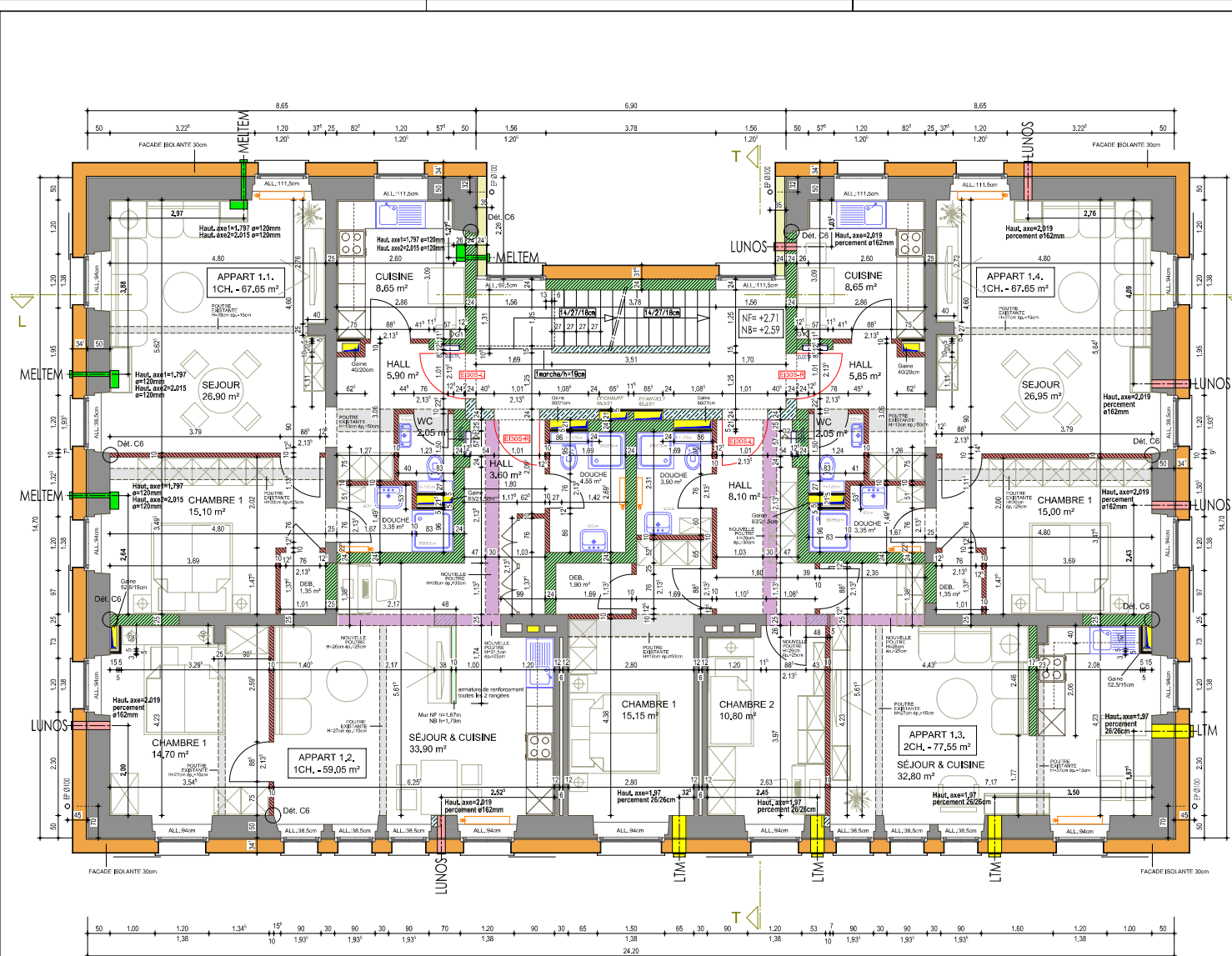
Objet: **Résidence 630 Esch/Alzette** Plan n° **27330d**
 1, Place Pierre Krier L-1177 Esch/Alzette

EXECUTION REZ-DE-CHAUSSÉE

Ech. 1/50
 Dessiné MIC
 l'architecte *Lopez*

Chantier **B-10** Date **19.03.12**
 H 630

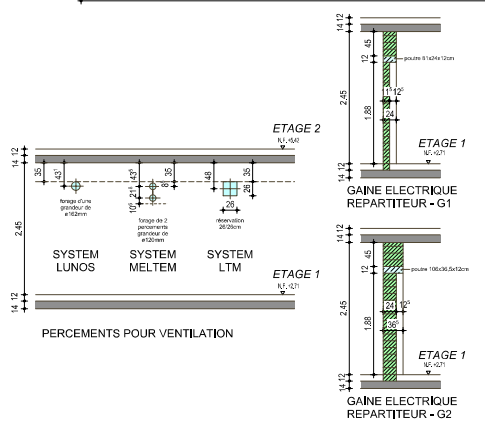
M.P.R. ALLIPLAN S.P. N° CALQUE D. DATE 06/03/2014 DATE MODIF. 05/03/2015
 ROUTE TECHNIQUE/ALZ 31559/00 Allplan 2011



LEGENDE :

	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR RDC		ISOLATION NEOPOR 30cm A=0,032 W/(mK)
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 1 (voir plan du 2e ETAGE)		ISOLATION NEOPOR 20cm A=0,032 W/(mK)
	PERCEMENT DANS LES MURS		PLACOPLÂTRE
	MURS EXISTANTS		MUR EN BÉTON
	BRICKS DE LATIER MUR DE: 24cm	TOUTES LES MESURES SONT À VÉRIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR	
	BLOCS YTONG MUR DE: 10cm		
	POUTRES EXISTANTES		
	POUTRES À SUPPRIMER		
	NOUVELLES POUTRES		

TOUTES LES PORTES SONT COTEES EN GROS-OUVRE



18.03.2013	d	MISE A JOUR	Mic
14.09.2012	c	VENTILATIONS	Mic
28.06.2012	b	FACADE ISOL. EP., ARMOIRE ELECTR., DESCENTE EP	Mic
11.04.2012	a	MISE A JOUR	Mic
Date		Modifications	Dress.

Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A.
 108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg
 Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecte@snhbm.lu

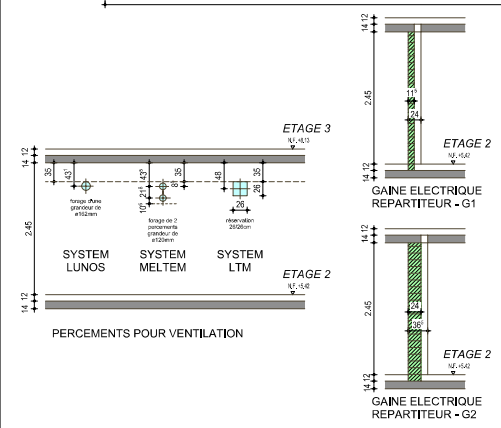
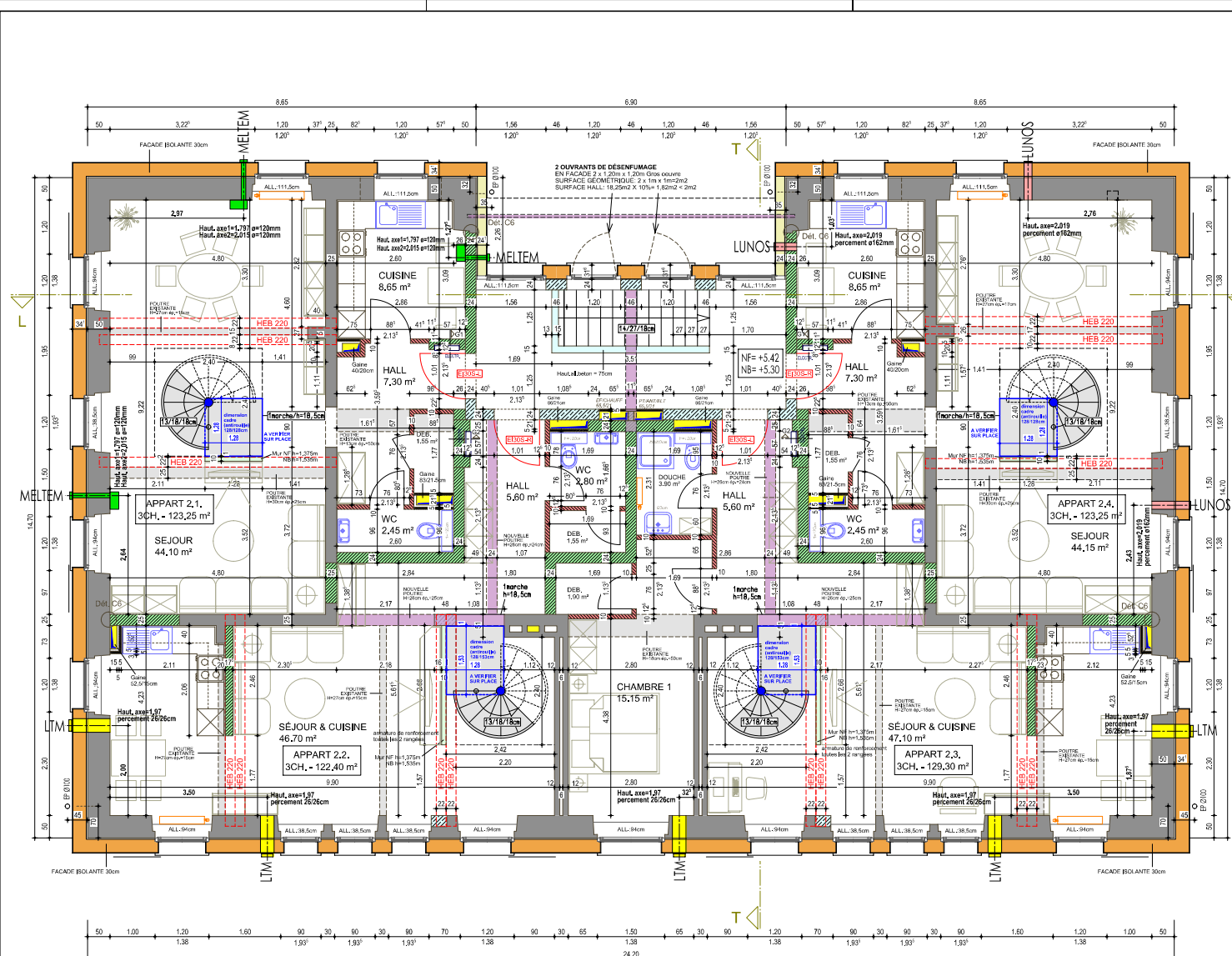
Objet: **Résidence 630 Esch/Alzette** Plan n° **27331d**
 1, Place Pierre Krier L-1777 Esch/Alzette

EXECUTION ETAGE 1

Ech. 1/50
 Dessiné MIC
 l'architecte *Lopez*

Chantier **B-10** Date **19.03.12**
 H° **630**

M.P. ALLIANT B.T. N° CALQUE D. DATE: 06/03/2014
 ROUTE TECHNIQUE SCS 315594E Allipjan 2011



LEGENDE :

	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 1		ISOLATION NEOPOR 30cm A=0,032 W/(mK)
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 2 (voir plan du 3e ETAGE)		ISOLATION NEOPOR 20cm A=0,032 W/(mK)
	PERCEMENT DANS LES MURS		PLACOPLATRE
	MURS EXISTANTS		MUR EN BETON
	BRICKES DE LATIER MUR DE 24cm		POUTRES EXISTANTES
	BLOCS YTONG MUR DE 10cm		POUTRES A SUPPRIMER
	POUTRES EXISTANTES		NOUVELLES POUTRES
	POUTRES A SUPPRIMER	TOUTES LES MESURES SONT A VERIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR	
	NOUVELLES POUTRES		

18.03.2013	a	MISE A JOUR	Mic
24.01.2013	d	DIMENSIONS DES CADRES ESCALIER EN COLIMAÇON	Mic
14.09.2012	c	VENTILATIONS	Mic
17.07.2012	b	FACADE ISOL. EP., ARMOIRE ELECTR., DESCENTE EP, POUTRES HEB220	Mic
11.04.2012	a	MISE A JOUR	Mic
Date		Modifications	Dress.

S.N.H.B.M.

Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A.

108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg

Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecte@snhbm.lu

Plan n° **27332e**

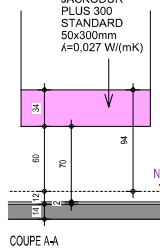
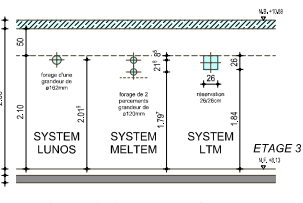
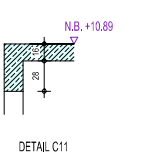
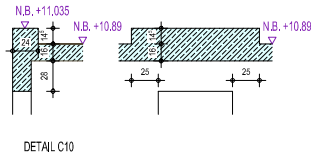
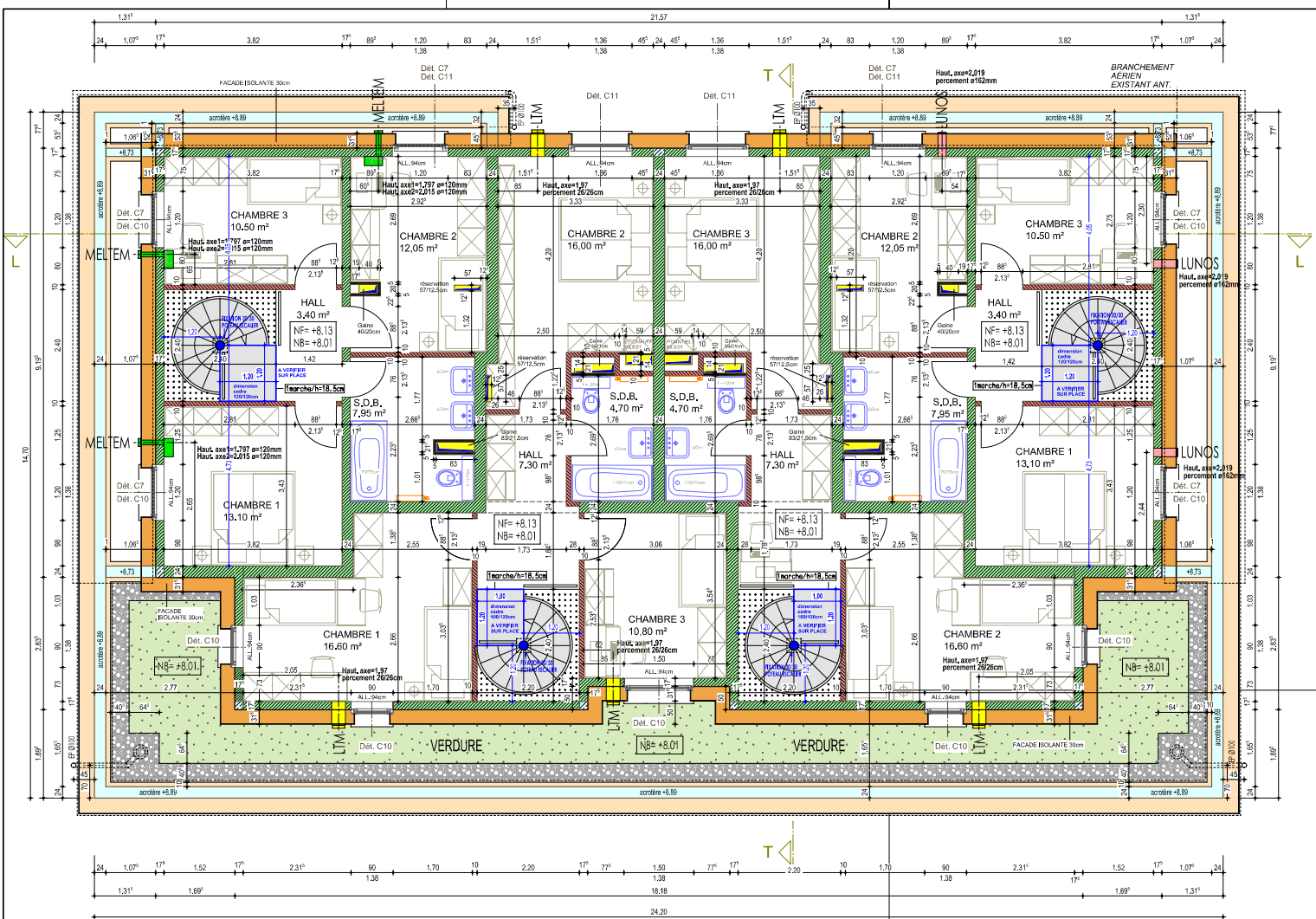
Ech. 1/50

Dessiné MIC

Objet **Résidence 630 Esch/Alzette** 1, Place Pierre Krier L-1177 Esch/Alzette

EXECUTION ETAGE 2

Chantier **B-10** H **630** Date **19.03.12** L'architecte *Lopez*



LEGENDE :

	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 2		ISOLATION 30cm
	PERCEMENT DANS LA DALLE SUR ETAGE 3 (voir plan de la toiture)		PLACOPLAÎTRE
	PERCEMENT DANS LES MURS		MUR EN BÉTON

TOUTES LES PORTES SONT COTÉES EN GROS-ŒUVRE

ESCALIER EN COLIMACON
 POTEAU ø168,3mm - ép.=4,5mm
 STRUCTURE 650 kg
 POIDS TOTAL 1150 kg

TOUTES LES MESURES SONT À VÉRIFIER SUR PLACE PAR L'ENTREPRENEUR

18.03.2013	a	MISE A JOUR	Mic
24.01.2013	d	DIMENSIONS DES CADRES ESCALIER EN COLIMACON	Mic
12.12.2012	c	Mur extérieur en briques de laitier 17,5cm, mise à jour gravier, verdure	Mic
14.09.2012	b	VENTILATIONS	Mic
19.07.2012	a	ARMOIRE ELECTR., DESCENTE EP, CHAPE EN PENTE TOITURE	Mic
Date		Modifications	Dress.

Société Nationale des Habitations à Bon Marché S.A.
 108 Avenue du 10 Septembre, L-2550 Luxembourg
 Tel. 44 82 92-1 Fax. 45 52 83 E-mail. architecture@snhbm.lu

Objet: **Résidence 630 Esch/Alzette** Plan n° **27333e**
 1, Place Pierre Krier L-1177 Esch/Alzette
EXECUTION ETAGE 3
 Ech. 1/50, 1/25
 Dessiné MIC

Chantier **B-10** Date **19.03.12** L'architecte *Lopez*
 H 630

M.P.R. ALLIANCE N° CALQUEUR DATE 06/02/2014 DATE MODIF 04/10/2014
 ROUTE TECHNIQUE/ACS 215596 Aliplan 2011