

Milton Marcelino Zandamela

**Análise do Comportamento da Alvenaria Estrutural em Situações de Incêndio**

Licenciatura em Engenharia de Construção Civil com Habilitação em Construção e  
Manutenção de Edifícios.

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

Milton Marcelino Zandamela

**Análise do Comportamento da Alvenaria Estrutural em Situações de Incêndio**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia, da Faculdade de Engenharias e Tecnologias da Universidade Pedagógica de Maputo, para obtenção do grau académico de Licenciatura em Engenharia de Construção Civil

Supervisora:

Eng<sup>a</sup> Teodósia Checane

Universidade Pedagógica de Maputo

Maputo

2023

**Índice**

DECLARAÇÃO .....	IV
DEDICATÓRIA .....	V
AGRADECIMENTOS .....	VI
RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS .....	IX
LISTA DE TABELAS E QUADROS .....	XI
LISTA DE FIGURAS .....	XII
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização .....	1
1.2. Problematização .....	2
1.3. Problema.....	3
1.4. Justificativa.....	3
1.5. Hipóteses .....	4
1.6. Objectivos.....	4
1.6.1. Objectivo Geral.....	4
1.6.2. Objectivos Específicos .....	4
CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	5
2.1.Tecnologia do incêndio .....	5
2.1.1. Factores que influenciam o incêndio .....	6
2.2. Alvenaria Estrutural .....	7
2.2.1. Nomenclatura.....	7
2.2.2. Classificação .....	8
2.2.3. Vantagens e Desvantagens .....	9
2.2.4. Resistência ao fogo.....	9
2.2.4.Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF).....	12
CAPÍTULO III – METODOLOGIA .....	13
3.1. Método Científico .....	13
3.2. Natureza da Pesquisa.....	14
3.3. Níveis de Pesquisa.....	14
3.4. Delineamento da Pesquisa.....	15

3.5. Abordagem da Pesquisa .....	15
3.6. Recolha de Dados.....	15
3.7. Análise dos Dados.....	16
CAPÍTULO IV: ANÁLISE DE DADOS, INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	18
4.1 Análise do comportamento térmico e mecânico dos materiais das alvenarias a altas temperaturas .....	18
4.2. Análise do comportamento térmico e mecânico de paredes de alvenaria estrutural a altas temperaturas.....	21
4.3. Análise do comportamento Global da Estrutura (Simulação Computacional) .....	31
CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	38
5.1. Conclusões .....	38
5.2. Recomendações.....	39
5.3. Limitações do Estudo .....	39
5.4. Trabalhos futuros.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXOS .....	43

**DECLARAÇÃO**

Declaro que esta Monografia é resultado da minha investigação pessoal e das orientações da minha supervisora, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final.

Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para a obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

(Milton Marcelino Zandamela)

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais Marcelino Zandamela e Mara Sigáúque. Esta monografia é a prova de que todo seu investimento e dedicação valeram a pena. Também dedico aos meus irmãos, Yuran Zandamela, Nilza Zandamela e Shirley Zandamela, aos meus avôs, Amélia Cau e Luís Zandamela (em memória) que não pôde vivenciar este momento, mas estará sempre no meu coração.

A toda família Zandamela, Chiziane, Nhantumbo e aos meus padrinhos Rogério Mabongo e Cénia Nhantumbo por todo apoio e ajuda que muito contribuíram para o meu percurso académico.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradecer a Deus por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar e por me permitir ultrapassar todos obstáculos encontrados ao longo da realização desta monografia.

Aos meus pais, Marcelino Zandamela e Mara Sigáúque, aos meus irmãos, Yuran Zandamela, Nilza Zandamela, Shirley Zandamela e Samo Sebastião, aos meus tios, Roberto Zandamela e Violeta Zandamela, ao meu primo Alcino Chiziane e minha cunhada Hanifa Macele, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto me dedicava à realização deste trabalho.

À Engenheira Teodósia Checane por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com tanta dedicação e amizade.

Aos meus amigos Obadias Matavele, Joaquim Mapengo e Zito Unido que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo período em que me dediquei a este trabalho.

À minha esposa Amélia Zandamela por toda paciência, motivação e amor demonstrados durante esta longa caminhada.

Aos meus colegas de curso, Adérito Macicame, Danilo Chithlango, Pascoal Nhabinde e Valdo Alice com quem convivi intensamente durante os últimos anos, pelo companheirismo e pela troca de experiências que me permitiram crescer não só como pessoa, mas também como formando.

## RESUMO

Os sistemas em alvenaria estrutural estão cada vez mais em uso no país, sobretudo nos últimos anos com a aplicação de vantagens técnicas e económicas associadas ao sistema. Apesar da ampla utilização da alvenaria estrutural, o comportamento destes sistemas quando submetidos à situação do incêndio ainda é pouco abordado em Moçambique, que actualmente não conta com normas e métodos para o dimensionamento de edifícios de alvenaria estrutural em situação de incêndio. Diante disso, este trabalho tem como objectivo principal analisar o comportamento térmico e mecânico da alvenaria estrutural quando sujeita à situação de incêndio. Infelizmente, os custos dos ensaios são muito elevados e faltam também laboratórios para realizá-los no país. Existem poucos registos de testes em escala real, com o elemento estrutural nas condições de serviço, ou seja interagindo com o resto da estrutura. Entretanto, realizou-se um extenso programa de análise qualitativa e quantitativa de ensaios experimentais feitos por diferentes autores, nos quais argamassas, blocos e pequenas paredes de alvenaria estrutural foram caracterizados em temperatura ambiente e foram posteriormente submetidos a ensaios de simulação de incêndio-padrão seguindo a curva proposta pela ISO 834-1:1999. Em função dos recursos disponíveis, foram feitas simulações computacionais com recurso a vários programas, já que os programas podem apresentar graus de dificuldades de uso diferentes para a obtenção dos mesmos resultados. Os *softwares* utilizados para realizar as simulações computacionais foram o Mecway FEA, FDS/PYROSIM, ABAQUS e o DIANA. Analisou-se o comportamento frente a um incêndio de um pórtico de dois pavimentos com ligação rígida entre lajes e paredes e com elementos de interface entre lajes e paredes. Os elementos estruturais foram analisados quanto ao comportamento térmico e mecânico com o objectivo de avaliar a evolução das temperaturas em diferentes pontos da parede, assim como avaliar as deformações que surgiram com o incremento da temperatura. A partir das simulações de incêndio-padrão, observou-se que os elementos estruturais apresentaram elevada danificação após a acção do fogo. Além disso, elementos constituídos por blocos de paredes maciças apresentaram maior grau de compartimentação e isolamento térmico 27% superior em relação aos elementos com blocos de paredes vazadas. No mesmo contexto, a adição dos revestimentos em argamassas de cimento e gesso elevou em 103% e 54%, respectivamente, o tempo necessário para perda do critério de isolamento térmico. Quanto ao comportamento mecânico residual, notou-se que as pequenas paredes maciças manifestaram resistência residual quatro vezes superior em relação aos mesmos elementos com blocos de paredes vazadas.

**Palavras-Chave:** Alvenaria Estrutural, comportamento térmico, comportamento mecânico, incêndio.

## ABSTRACT

Structural masonry systems are increasingly being used in the country, especially in recent years with the application of technical and economic advantages associated with the system. Despite the wide use of structural masonry, the behavior of these systems when subjected to a fire situation is still little discussed in Mozambique, which currently does not have standards and methods for the design of structural masonry buildings in a fire situation. Therefore, the main objective of this work is to evaluate the thermal and mechanical behavior of structural masonry when subjected to a fire situation. Unfortunately, the costs of the tests are very high and there is also a lack of laboratories to carry them out in the country. There are few records of full-scale tests, with the structural element in service conditions that is, interacting with the rest of the structure. However, an extensive program of qualitative and quantitative analysis of experimental tests carried out by different authors was carried out, in which mortars, blocks and small walls of structural masonry were characterized at room temperature and were subsequently subjected to standard fire simulation tests following the curve proposed by ISO 834-1:1999. Depending on the available resources, computer simulations were carried out using several programs, since the programs may present different degrees of difficulty in use to obtain the same results. The software used to perform the computer simulations were Mecway FEA, FDS/PYROSIM, ABAQUS and DIANA. The behavior in front of a fire of a portico of two floors with rigid connection between slabs and walls and with elements of interface between slabs and walls was analyzed. The structural elements were evaluated in terms of thermal and mechanical behavior in order to analyze the evolution of temperatures at different points on the wall, as well as to evaluate the deformations that appeared with the increase in temperature. From the standard fire simulations, it was observed that the structural elements showed high damage after the fire. In addition, elements made of blocks of solid walls showed a higher degree of compartmentalization and 27% higher thermal insulation compared to elements with blocks of hollow walls. In the same context, the addition of coatings to cement and gypsum mortars increased by 103% and 54%, respectively, the time required for loss of the thermal insulation criterion. As for the residual mechanical behavior, it was noted that the small solid walls showed residual resistance four times higher compared to the same elements with hollow wall blocks.

**Keywords:** Structural Masonry, thermal behavior, mechanical behavior, fire.

**LISTA DE SIMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS**

$\theta$  - Amplitude

% - Percentagem

°C – Graus Celsius

dh – Deslocamento horizontal da parede

e - Espessura da parede

E - Módulo de elasticidade

E – Estanqueidade

$\epsilon c^T$  - Extensão de pico à temperatura

$\epsilon cu^T$  - Extensão última à temperatura

$f c^T$  - Resistência à compressão à temperatura

$f t^T$  - Resistência à tracção à temperatura

FDS - *Fire Dynamics Simulator*

FEA – *Finite Elements Analysis*

FET – Faculdade de Engenharias e Tecnologias

h – Altura total da parede

I – Isolamento térmico

ISO – *Internacional Organization for Standardization*

m - Metros

min - Minutos

mm - Milímetros

NBR – Norma Brasileira

p. - Página

R – Critério de resistência

rev - Revestimento

t - Tempo

T2 – Tipo 2

T3 – Tipo 3

TR – Termopar

TRRF – Tempo Requerido de Resistência ao Fogo

UPM – Universidade Pedagógica de Maputo

**LISTA DE TABELAS E QUADROS**

Tabela 1: Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) em minutos.....	12
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva de evolução do incêndio .....	6
Figura 2: Residências de alvenaria estrutural sendo construídas em Chiango .....	7
Figura 3: Esquema Metodológico.....	17
Figura 4: Relação da resistência à tração e à compressão com a temperatura do material betão, em função dos resultados obtidos para a temperatura ambiente. ....	19
Figura 5: Relação da extensão de pico e da extensão última com a temperatura do material betão, em função dos resultados obtidos para a temperatura ambiente. ....	19
Figura 6: Relação extensão térmica - temperatura das unidades cerâmicas ( <i>clay</i> ) e argamassa ( <i>mortar</i> ), de acordo com Gnanakhrisnan, 1989. ....	20
Figura 7: Variação do módulo de elasticidade da argamassa, de acordo com CÜLFİK e ÖZTURAN., 2002. ....	21
Figura 8: Relação entre o tempo de colapso e o nível de carga aplicado .....	22
Figura 9: Comparação dos valores obtidos análise experimental e os resultados obtidos por Gnanakrishnan .....	25
Figura 10: Comparação dos valores obtidos por LAVERTY <i>et. al.</i> (2001) no ensaio com a análise numérica de NADJAI <i>et. al.</i> , 2003 .....	27
Figura 11: a) Dispositivo de aplicação de carga; b) Pontos de medição de deslocamentos laterais e verticais.....	28
Figura 12: Posicionamento dos termopares em cada bloco na parede.....	28
Figura 13: Deslocamentos laterais obtidos durante o ensaio nos pontos definidos na figura 10b.....	29
Figura 14: Evolução das temperaturas ao longo do ensaio nos pontos definidos na figura 11 ....	29
Figura 15: Definição das partições e sub-partições da parede no modelo.....	30
Figura 16: Comparação dos valores obtidos experimentalmente com os valores obtidos no modelo numérico .....	31
Figura 17: Configuração do pórtico analisado.....	32
Figura 18: Curva de aquecimento numérica (ABAQUS) .....	33
Figura 19: Modelagem de um bloco vazado e criação de um incêndio-padrão numa das faces (ABAQUS) .....	34
Figura 20: Isotermas de um bloco vazado submetido ao Incêndio-Padrão numa das faces (ABAQUS) .....	34

Figura 21: Isotermas de um bloco maçicado submetido ao Incêndio-Padrão numa das faces (ABAQUS) .....	35
Figura 22: Variação de temperatura na face não exposta ao fogo .....	35
Figura 23: Deslocamentos totais na configuração deformada .....	37
Figura 24: Deslocamentos na direcção X na configuração deformada.....	37

## **CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO**

### **1.1. Contextualização**

A alvenaria estrutural é considerada um dos sistemas de construção mais antigos da história da humanidade e continua sendo muito utilizado. Consiste basicamente em blocos unidos entre si por argamassa, desempenhando nas edificações as funções básicas de vedação e estrutural. A possibilidade de uso de um projecto com coordenação modular, apresenta enorme vantagem no quesito racionalização, proporcionando uma maior produtividade e, conseqüentemente, economia. Estima-se que bons projectos em alvenaria estrutural podem se tornar de 35 a 60% mais baratos que os convencionais em betão armado. Por essa e outras vantagens, o processo alcançou participação expressiva no mercado mundial. (CAVALHEIRO citado por SPOHR, 2016)

Ao se projectar uma edificação, o profissional necessita verificar inúmeros aspectos relativos ao desempenho da mesma, entre eles funcionalidade, conforto, resistência estrutural, revestimentos e materiais de vedação empregados. Em relação ao tipo de material escolhido para o fechamento e que pode também ter função resistente, o projectista ao especificar, deve levar em consideração qual o desempenho que este possui no caso de um incêndio (RIGÃO, 2012).

O mesmo autor realça que é importante que o projectista, ao definir o tipo de estrutura que será utilizado na edificação, conheça a resistência frente a altas temperaturas deste material, como forma de avaliar o nível de segurança à construção. Após especificado o tipo de material usado para vedação, é preciso obter conhecimento sobre qual o tempo necessário para o aquecimento do lado oposto, e caso ocorra um grande aquecimento num dos lados da parede é necessário responder várias questões. Não haverá o aparecimento de fissuras devido ao aquecimento? O material não irá sofrer ruína? O tempo de resistência ao fogo da parede é superior ao requerido em normas?

Conforme PURKISS (2007) citado por RIGÃO (2012), tem havido pouco desenvolvimento na avaliação do desempenho das alvenarias frente ao fogo. O mesmo autor lembra ainda que muitos ensaios de resistência ao fogo de alvenarias estruturais são feitos com paredes descarregadas moldadas no laboratório, não expressando resultados para capacidade portante destas, pois não

simulam adequadamente o comportamento real, quando estas estão sob carregamento axial no momento do incêndio.

Em Moçambique não existem ainda normas nacionais sobre segurança contra incêndio, contudo as normas internacionais definem que as paredes e elementos de vedação devem possuir um determinado tempo de resistência ao fogo, o qual varia com o tipo de ocupação da edificação e com a altura total. Contudo as sugestões de desempenho de materiais oferecidas pela grande parte desses códigos normalmente são baseadas em conhecimentos empíricos, sendo que os mesmos denotam uma resistência ao fogo bem superior, quando ensaiados em laboratório.

Pelo facto de na construção civil existirem diferentes tipos de materiais de vedação e dentro destes, haver ainda diversas variações, é de grande importância que a resistência ao fogo desses elementos seja definida experimentalmente. O ensaio em escala real é bastante dispendioso e no país não existem laboratórios que possuam equipamentos compatíveis para a execução desse tipo de ensaio, razão pela qual não existem muitos dados na literatura.

Sendo assim, o presente trabalho tem como objectivo avaliar as consequências de um incêndio concentrado em um ou dois apartamentos de uma construção em alvenaria estrutural, levando em conta os carregamentos axiais transmitidos pelas paredes. O estudo será feito através da utilização de softwares para simular diferentes cenários e ensaios feitos por diferentes autores em laboratórios certificados, obtendo resultados sobre as deformações nas paredes através da distribuição da temperatura, resultando em uma análise final do comportamento global da edificação. Não são analisadas características das argamassas de assentamento, do aço e do betão de uma forma isolada. Sendo que sempre que forem necessários os dados destes, são usados os seus valores médios conhecidos.

## **1.2. Problematização**

Edifícios residenciais compostos por apartamentos pequenos, destinados a população de baixa renda, constituem um tipo bastante comum de construção em alvenaria estrutural. O risco de vida em um prédio de alvenaria estrutural, em caso de incêndio, é relativamente alto, pois a desocupação pode apresentar dificuldades dependendo do local do incêndio e onde as vítimas estão situadas.

A segurança das pessoas é prioridade quando tratamos de incêndio. Em segundo plano, no entanto, encontra-se a preservação da estrutura. Após avaliar-se o grau de intensidade do incêndio e os danos provocados na edificação, deve-se optar por demolir ou recuperar a estrutura. Mas afinal, como decidir?

Na maioria das vezes, o serviço de recuperação é mais complicado do que uma nova construção. O material de recuperação deve ser compatível com o material deteriorado existente. Em algumas ocasiões, a edificação em recuperação pode estar até mesmo funcionando, retardando e dificultando o andamento da obra. A preocupação principal após o incêndio é se a sua estabilidade está preservada, ou seja, o nível de resistência residual.

### **1.3. Problema**

O sistema construtivo de alvenaria estrutural garante a estabilidade do edifício após um incêndio?

### **1.4. Justificativa**

Os sistemas de alvenaria estrutural têm sido pouco utilizados em Moçambique, apesar das diversas vantagens técnicas e económicas associadas ao seu emprego na construção civil.

Diversos estudos foram realizados pelo mundo para avaliar-se o comportamento térmico e mecânico dos elementos estruturais utilizados no sistema, e que contribuíram com informações técnicas para elaboração de métodos e procedimentos normativos.

Entretanto, o comportamento de tais elementos de alvenaria estrutural quando submetidos à situação de incêndio ainda é pouco abordado nas pesquisas nacionais, o que torna ainda mais difícil obter informações técnicas para elaboração de métodos e procedimentos normativos locais de dimensionamento e segurança contra incêndio.

Tendo em vista diversos acidentes marcantes com estruturas mediante a acção do fogo que ocorreram nos últimos anos, e a inexistência de um código normativo local que regulamente procedimentos para verificação dos elementos de alvenaria estrutural em situação de incêndio, é importante discutir e estabelecer directrizes para a elaboração de texto base visando a normatização nacional sobre alvenaria estrutural em situação de incêndio.

Assim, o trabalho irá inserir-se nesse contexto, visando analisar o comportamento térmico e mecânico da alvenaria estrutural, pois o nosso país vem adotando aos poucos o sistema construtivo de alvenaria estrutural e ainda é pouco conhecido o seu comportamento frente ao fogo.

### **1.5. Hipóteses**

Hipótese 1. Após o incêndio a alvenaria estrutural permanece totalmente estável.

Hipótese 2. Após o incêndio a alvenaria estrutural fica totalmente instável.

Hipótese 3. Após o incêndio a alvenaria estrutural fica parcialmente instável.

### **1.6. Objectivos**

#### **1.6.1. Objectivo Geral**

- Analisar o comportamento térmico e mecânico da alvenaria estrutural quando submetida à situação de incêndio.

#### **1.6.2. Objectivos Específicos**

- Analisar as distribuições de temperaturas na alvenaria estrutural após o incêndio;
- Avaliar as deformações geradas na alvenaria estrutural após o incêndio;
- Analisar o comportamento global da edificação após o incêndio.

## CAPÍTULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

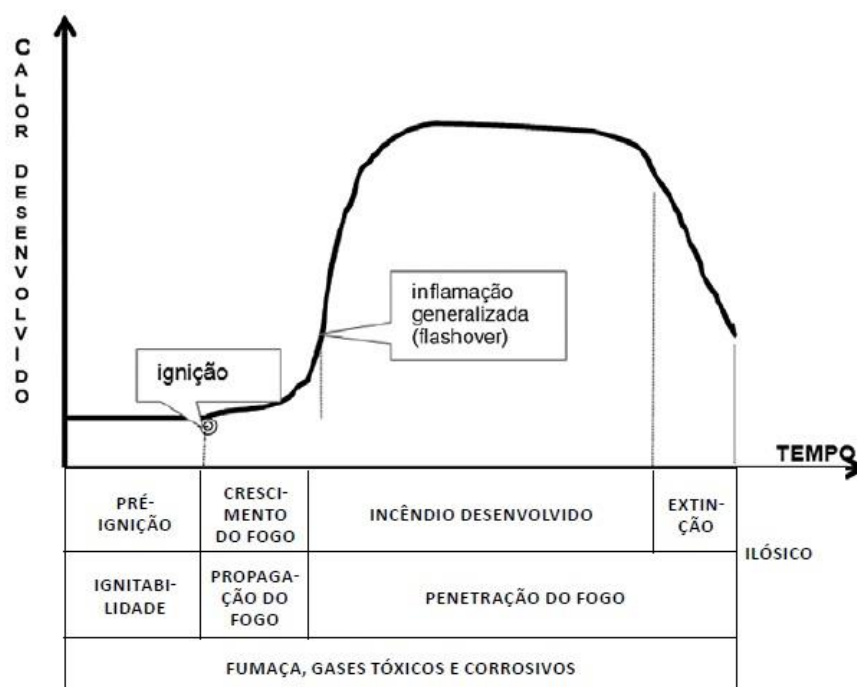
### 2.1. Tecnologia do incêndio

Incêndio é o fogo fora de controlo. Ele ocorre a partir de uma fonte de calor que aquece os materiais que estão em contacto e próximos a ela. O calor propaga-se principalmente por radiação e convecção, aumentando a temperatura do ambiente e iniciando o processo de alastramento das chamas (RIGÃO, 2012, p. 48).

O primeiro estágio é a pré-ignição, que pode ser caracterizada como um “*chamejamento*” ou abrasamento. No “*chamejamento*” as chamas são visíveis e há desenvolvimento de chamas. Já no abrasamento, a combustão é lenta, sem aparecimento de chamas e pouca produção de calor. No entanto, há potencial para preencher o compartimento com gases combustíveis e fumaça (SEITO, et al., 2008, p. 45).

No segundo estágio encontra-se o crescimento do incêndio, ocorrendo a propagação do fogo para outros objectos adjacentes, podendo estender-se para o material da cobertura ou teto. Nesse estágio observamos o “*flashover*”, ocasionando uma inflamação generalizada e atingindo as temperaturas mais altas junto ao tecto com valores que podem chegar a 6.000°C (SEITO et al., 2008, p. 46).

O incêndio desenvolvido representa o terceiro estágio, em que todos os materiais combustíveis do ambiente entrarão em combustão, atingindo temperaturas acima dos 1000°C. A duração desse estágio está relacionada com a carga de incêndio que passa dos 80% para 30% do valor inicial. Ao final do gráfico é possível observar a quarta fase, representando a diminuição da intensidade do incêndio até sua extinção (SEITO et al., 2008, p. 46-47).



**Figura 1:** Curva de evolução do incêndio

(Fonte: SEITO et al., 2008, p. 44)

### 2.1.1. Factores que influenciam o incêndio

Não existem dois incêndios iguais, pois são vários os factores que concorrem para seu início e desenvolvimento, podendo-se citar:

- a) Forma geométrica e dimensões da sala ou local;
- b) Superfície específica dos materiais combustíveis envolvidos;
- c) Distribuição dos materiais combustíveis no local;
- d) Quantidade de material combustível incorporado ou temporário;
- e) Características de queima dos materiais envolvidos;
- f) Local do início do incêndio no ambiente;
- g) Condições climáticas (temperatura e humidade relativa);
- h) Aberturas de ventilação do ambiente;
- i) Aberturas entre ambientes para a propagação do incêndio;
- j) Projecto arquitectónico do ambiente e ou edifício;
- k) Medidas de prevenção de incêndio existentes;
- l) Medidas de protecção contra incêndio instaladas.

## 2.2. Alvenaria Estrutural

Conceitua-se de Alvenaria Estrutural o processo construtivo no qual os elementos que desempenham a função estrutural são de alvenaria, sendo os mesmos projectados, dimensionados e executados de forma racional (CAMACHO, 2006).



**Figura 2:** Residências T2 e T3 de alvenaria estrutural sendo construídas em Chiango

Fonte : Autor (2022)

### 2.2.1. Nomenclatura

Serão definidos alguns conceitos básicos de forma a permitir melhor compreensão de termos que deverão ser empregados ao longo do texto e que são frequentemente encontrados na literatura afim:

- ✓ **Técnicas construtivas:** um conjunto de operações empregadas por um particular ofício para produzir parte de uma construção, ou seja, a realização de actividades elementares da construção, tais como a elevação de uma parede ou a colocação de uma janela.
- ✓ **Método construtivo:** um conjunto de técnicas construtivas independentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte de uma edificação, como por exemplo, a execução de uma laje ou da alvenaria de um pavimento.
- ✓ **Processo construtivo:** um organizado e bem definido modo de se construir um edifício. Um específico processo construtivo caracteriza-se por um particular conjunto de métodos utilizados na construção da estrutura e das vedações, assim como o processo construtivo em alvenaria estrutural.

- ✓ **Sistema construtivo:** um processo construtivo de elevado nível de industrialização e de organização, constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente integrado pelo processo.
- ✓ **Material:** constituinte dos componentes da obra.
- ✓ **Componente:** ente que compõe os elementos da obra: blocos, argamassa, graute, armaduras.
- ✓ **Elemento:** é a parte da obra suficientemente elaborada, constituída da reunião de dois ou mais componentes (Ex.: parede, coluna e laje).
- ✓ **Parede resistente:** parede que tem por função resistir às acções actuantes na estrutura, além de seu peso próprio, desempenhando também as funções de vedação.
- ✓ **Parede de Fechamento:** parede para resistir somente ao seu peso próprio e desempenhar as funções de vedação.
- ✓ **Pilar ou coluna:** elemento para absorver acções verticais em que a relação de seus lados seja inferior a cinco.

### 2.2.2. Classificação

A alvenaria estrutural pode ser classificada quanto ao processo construtivo empregado, quanto ao tipo de unidades ou ao material utilizado, como segue:

- **Alvenaria Estrutural Armada:** é o processo construtivo em que, por necessidade estrutural, os elementos resistentes (estruturais) possuem uma armadura passiva de aço. Essas armaduras são dispostas nas cavidades dos blocos que são posteriormente preenchidas com micro-betão (Graute).
- **Alvenaria Estrutural Não Armada:** é o processo construtivo em que nos elementos estruturais existem somente armaduras com finalidades construtivas, de modo a prevenir problemas patológicos (fissuras, concentração de tensões, etc.).
- **Alvenaria Estrutural Parcialmente Armada:** é o processo construtivo em que alguns elementos resistentes são projectados como armados e outros como não armados.
- **Alvenaria Estrutural Protendida:** é o processo construtivo em que existe uma armadura activa de aço contida no elemento resistente.
- **Alvenaria Estrutural de Tijolos ou de Blocos:** em função do tipo das unidades.

- **Alvenaria Estrutural Cerâmica ou de Betão:** conforme as unidades (tijolos ou blocos) sejam de material cerâmico ou de betão (anexo 1).

### 2.2.3. Vantagens e Desvantagens

i. Redução de custos: a redução de custos que se obtém está intimamente relacionada à adequada aplicação das técnicas de projecto e execução, podendo chegar, segundo a literatura, até a 60%, sendo proveniente basicamente da:

- a. Simplificação das técnicas de execução;
- b. Economia de formas e escoramentos.

ii. Menor diversidade de materiais empregados: reduz o número de subempreiteiras na obra, a complexidade da etapa executiva e o risco de atraso no cronograma de execução em função de eventuais faltas de materiais, equipamentos ou mão-de-obra.

iii. Redução da diversidade de mão-de-obra especializada: necessita-se de mão-de-obra especializada somente para a execução da alvenaria, diferentemente do que ocorre nas estruturas de betão armado e aço.

iv. Maior rapidez de execução: essa vantagem é notória nesse tipo de construção, decorrente principalmente da simplificação das técnicas construtivas, que permite maior rapidez no retorno do capital empregado.

v. Robustez estrutural: decorrente da própria característica estrutural, resultando em maior resistência à danos patológicos decorrentes de movimentações, além de apresentar maior reserva de segurança frente a ruínas parciais.

Tem-se como principal inconveniente, a limitação do projecto arquitectónico pela concepção estrutural, que não permite a construção de obras arrojadas. Outra desvantagem é a impossibilidade de adaptação da arquitectura para um novo uso.

### 2.2.4. Resistência ao fogo

Segundo LOPES (2017) a resistência ao fogo é um indicador que caracteriza o comportamento face ao fogo de um elemento construtivo, com ou sem função estrutural e também com ou sem função de compartimentação. Esta caracterização faz-se recorrendo a um processo térmico

normalizado (como a curva normalizada da norma ISO 834 (ISO, 1999)), avaliando o tempo necessário para que determinado elemento sujeito a essa curva deixe de satisfazer as exigências para as funções que lhe foram estabelecidas. Para evitar as perdas materiais e humanas em caso de incêndio em estruturas, é necessário medidas passivas de segurança ao incêndio nos edifícios que contribuam para a diminuição da exposição dos elementos estruturais ao fogo, que necessitarão de ser recuperados após exposição ao fogo e que criem passagens seguras para que os ocupantes saiam do edifício sem que haja danos humanos de maior. Estas medidas de segurança passiva ao incêndio precisam de ser alvo de investigação para verificação do desempenho das alvenarias ao fogo, pois muito do trabalho desenvolvido na área de estudo de alvenarias estruturais tem sido feito para a situação de temperatura ambiente, havendo ainda pouco trabalho desenvolvido na área de comportamento ao fogo de alvenarias estruturais.

Para BUCHANAN e ABU (2017) citados por NETO (2020), a probabilidade de um incêndio grave em qualquer edifício é baixa, mas as possíveis consequências de tal incêndio são enormes. Além disso, os autores afirmam que uma maneira de ganhar experiência na elaboração de projectos e na avaliação quantitativa de riscos em segurança contra incêndios, se dá a partir de análises catastróficas passadas, e visitas a incêndios reais e edificações danificadas pela acção do fogo.

LEITE (2018) afirma na sua dissertação de mestrado que o comportamento resistente ao fogo da alvenaria estrutural, depende do comportamento resistente a elevadas temperaturas de cada um dos seus componentes, isoladamente e em conjunto, considerando-se, ainda, a influência da resistência de um eventual revestimento.

BAILEY (2004) citado por LEITE (2018) afirma que o colapso de uma parede de alvenaria em situação de incêndio, quando ocorre, é geralmente devido aos carregamentos impostos pelas deformações das estruturas ou elementos estruturais adjacentes a ela. O autor ainda lembra que não se deve extrapolar os resultados de ensaios em paredes com menos de três metros de altura para paredes maiores, pois, neste último caso, seu deslocamento lateral a meia-altura (flecha ou deflexão) cresceria devido ao efeito da curvatura térmica e, portanto, elas colapsariam antes de paredes com alturas menores ou iguais a três metros.

Para NADJAI *et al.* (2006), em elementos de compartimentação, como paredes de alvenaria, o fogo está geralmente em apenas um lado. A parede irá, portanto, curvar-se, devido à expansão

térmica diferencial. Esse fato, juntamente com a degradação das propriedades dos materiais, que se inicia em seu lado exposto ao fogo, pode resultar no colapso estrutural da parede, que depende das condições de vinculação de seus apoios, da magnitude de carga nela aplicada e de sua geometria.

Para INGHAM (2009) citado por LEITE (2018), estruturas de alvenaria de betão ou cerâmica podem ser seriamente afectadas por incêndios. O dano tende a ficar concentrado ao redor de aberturas de portas e janelas, porém nada impede que o mesmo ocorra em outras regiões da parede ou mesmo que seja causado pela expansão ou colapso de outros elementos estruturais de edificação, próximos ou conectados à parede de alvenaria.

Em sua tese de doutorado, AYALA (2010) revisou os principais parâmetros envolvidos na resistência ao fogo de paredes de alvenaria compostas por blocos de betão de agregados leves.

O autor lembra que as propriedades mecânicas e térmicas dos vários elementos que constituem a alvenaria têm uma influência crucial no comportamento de paredes de alvenaria em situação de incêndio.

Sobre a resistência à compressão, AYALA (2010) reforça na sua tese, que há uma evidente redução nessa propriedade quando o material é submetido a altas temperaturas, e que os níveis dessa variação em função da temperatura devem ser obtidos para que se possa prever o comportamento de paredes de alvenaria nessas condições.

O *Eurocode 6* (2005) diz que, nos betões de agregado leve, a redução da resistência à compressão é geralmente menor que nos betões de agregado normal, por conta, principalmente, de uma combinação das excelentes propriedades térmicas de seus agregados e da pasta de cimento.

Em dois trabalhos, um de AL NAHHAS (2010) e outro de MEYER (2010) citados por LEITE (2018), é dito que tanto o formato quanto o material utilizado nos blocos de alvenaria influenciam o comportamento de paredes em um incêndio. Blocos maciços são mais estáveis que blocos vazados, pois são mais homogêneos. Os buracos dos blocos vazados dificultam a passagem de calor do lado quente para o lado frio, essa propriedade reduz o dano causado pelo fogo. Porém há um limite para a quantidade de furos, uma vez que muitos furos podem afectar a capacidade isolante da parede pela falta de material contido nele.

### 2.2.4. Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF)

O Tempo Requerido de Resistência ao Fogo (TRRF) é o tempo mínimo, descrito em minutos, que um elemento estrutural ou de compartimentação deve resistir a uma acção térmica padronizada, ou seja, um incêndio padrão. Ele é avaliado em função do risco de incêndio e das consequências que o mesmo pode vir a causar devido a uma falha estrutural. Através de uma simples tabela, pode-se facilmente definir o TRRF, levando em conta o tipo de uso predominante da edificação e sua altura (SPOHR, 2016).

**Tabela 1:** Tempo requerido de resistência ao fogo (TRRF) em minutos.

Ocupação/ Uso	Divisão (NBR 9077)	Altura da edificação (m)				
		Classe P <sub>1</sub> h≤6	Classe P <sub>2</sub> 6<h≤ 12	Classe P <sub>3</sub> 12<h≤ 23	Classe P <sub>4</sub> 23<h≤ 30	Classe P <sub>5</sub> h≥ 30
Residencial	A1 a A-3	30	30	60	90	120
Serviços de hospedagem	B-1 e B-2	30	60 (30)	60	90	120
Comercial varejista	C-1 a C-3	60 (30)	60 (30)	60	90	120
Serviços profissionais, pessoais e técnicos	D-1 a D-3	30	60 (30)	60	90	120
Educacional e cultura física	E-1 a E-6	30	30	60	90	120
Locais de reunião de público	F-1, F-2, F-5, F-6 a F-8	60(30)	60	60	90	120
Serviços automotivos	G-1 e G-2 não abertos lateralmente e G-3 a G-5	30	60 (30)	60	90	120
	G-1 e G-2 abertos lateralmente	30	30	30	30	60
Serviços de saúde e institucionais	H-1 a H-5	30	60	60	90	120
Industrial	I-1	30	30	60	90	120
	I-2	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
Depósitos	J-1	30	30	30	30	60
	J-2	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Obs: valores entre parênteses se referem a edificações com área de pavimento menor que 750 m<sup>2</sup>.

(Fonte: NBR 14432:2000)

## **CAPÍTULO III – METODOLOGIA**

Segundo PRODANOV e FREITAS (2013) a metodologia é uma disciplina que consiste em estudar, compreender e avaliar os vários métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa acadêmica. Os autores afirmam ainda que a metodologia, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa que possibilitam a colecta e o processamento de informações, visando ao encaminhamento e à resolução de problemas e/ou questões de investigação.

Para BRUYNE (1991) a metodologia deve ajudar a explicar não apenas os produtos da investigação científica, mas principalmente seu próprio processo, pois suas exigências não são de submissão estrita a procedimentos rígidos, mas antes da fecundidade na produção dos resultados.

Por tanto a metodologia consiste num conjunto de caminhos que se seguem para alcançar um fim, neste caso concreto alcançar os objectivos da pesquisa, no intuito de resolver os problemas, aplicando o método científico.

### **3.1. Método Científico**

Segundo PRODANOV E FREITAS (2013), o método científico é o conjunto de processos ou operações mentais que devemos empregar na investigação. É a linha de raciocínio adoptada no processo de pesquisa.

MARCONI E LAKATOS (2003) citados por FÉ (2021) definem o método científico como sendo o conjunto de actividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar conhecimentos válidos e verdadeiros.

Os métodos científicos podem ser classificados segundo a base lógica de investigação e estes englobam os seguintes métodos: dedutivo, indutivo, hipotético-dedutivo, dialéctico e fenomenológico. (GIL, 2008).

A abordagem sobre cada um dos métodos acima citados acima não é relevante, sendo que se atribuiu enfoque apenas ao método escolhido para esta pesquisa. Assim sendo, tomando como base a lógica da investigação sistemática, neste estudo foi empregue o método indutivo.

Para MARCONI E LAKATOS (2003) indução “é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, interfere-se uma verdade geral ou

universal. Portanto, o objectivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam.

Nesta mesma linha de pensamento, GIL (2008) afirma que com o raciocínio indutivo, a generalização não deve ser buscada aprioristicamente, mas constatada a partir da observação de casos concretos suficientemente confirmadores dessa realidade.

Deste modo, a presente pesquisa adoptou este método como o caminho para se alcançar o conhecimento pretendido sobre a alvenaria estrutural em situações de incêndio.

### **3.2. Natureza da Pesquisa**

GIL (2008) define pesquisa como o processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico, sendo o objectivo fundamental desta, descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos.

Assim sendo, é igualmente importante conhecer o tipo de pesquisa a aplicar.

A pesquisa foi de natureza aplicada, objectiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.

### **3.3. Níveis de Pesquisa**

A pesquisa científica pode ser classificada de acordo com o critério de objectivos gerais, segundo o qual o autor GIL (2008) destaca a pesquisa exploratória, descritiva e explicativa.

Para este trabalho, no que diz respeito aos níveis de pesquisa o projecto subsidiou-se de:

- Pesquisa exploratória: para se inteirar com o tema, porque a temática sobre a alvenaria estrutural em situações de incêndio foi pouco explorada em Moçambique;
- Pesquisa descritiva: quando o pesquisador apenas registra e descreve os factos observados sem interferir neles (PRODANOV e FREITAS, 2013)
- Pesquisa explicativa: De acordo com Gil (2008) esta pesquisa objectiva saber os causas que contribuem para a ocorrência dos fenómenos.

### **3.4. Delineamento da Pesquisa**

A metodologia de investigação científica pressupõe o seguimento de um delineamento. Neste âmbito, GIL (2008) refere que delineamento da pesquisa consiste no planeamento da pesquisa em sua dimensão mais ampla.

O delineamento desta monografia científica foi dado por:

- Pesquisa Bibliográfica: para obter informações sobre a temática a partir dos materiais publicados como livros, teses, dissertações, monografias;
- Pesquisa documental: que possibilitará obter dados de documentos oficiais vigentes, bases de dados e revistas científicas.

### **3.5. Abordagem da Pesquisa**

Quanto ao método e à forma de abordar o problema RICHARDSON (2007) classifica as pesquisas em qualitativa e quantitativa.

A abordagem desta pesquisa foi mista, ou seja, qualitativa e quantitativa, pois consistiu em compreender e descrever os fenómenos da temática em estudo com maior profundidade qualitativamente, através de narrativas, ideias e experiências dos participantes, bem como através da representatividade numérica, isto é, quantificação dos resultados.

### **3.6. Recolha de Dados**

As Técnicas para colecta de dados a ser empregue neste projecto foram a documentação indirecta.

A documentação indirecta consistiu no levantamento de informações possíveis sobre o assunto em estudo, através de fontes documentais como revistas científicas, documentos oficiais vigentes e fontes bibliográficas, de entre estas, livros, dissertações e monografias. Nesta fase, recolheu-se informações de vários autores que debruçaram sobre o tema em questão, bem como dados numéricos que pudessem suportar a fase da análise e interpretação.

### 3.7. Análise dos Dados

O processo de análise de dados é definido por KERLINGER (1980) citado por FÉ (2021) como “a categorização, ordenação, manipulação e sumarização de dados”. Tem por objectivo reduzir grandes quantidades de dados brutos a uma forma interpretável.

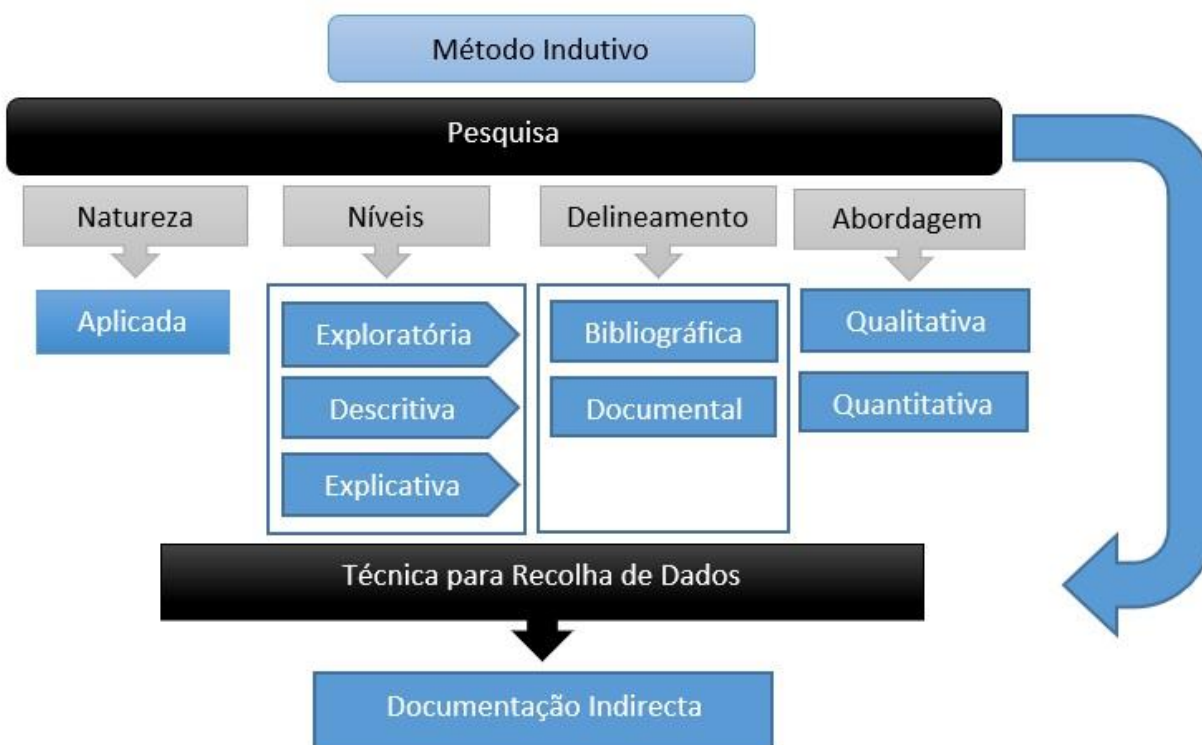
A análise de dados nesta pesquisa foi feita com base em análises de conteúdo permitindo fazer uma descrição objectiva e sistemática do conteúdo, tendo por objectivo a sua interpretação.

De acordo com CHIZZOTTI (2001) citado por FÉ (2021), a análise de conteúdo é um método de tratamento e análise de informações colhidas por meio de técnicas de colecta de dados, consubstanciadas em um documento. A técnica se aplica à análise de textos escritos ou de qualquer comunicação (oral, visual, gestual) reduzida a um texto ou documento.

A organização da análise de conteúdo envolveu três fases: pré-análise; exploração do material, também chamada de descrição analítica; e análise e interpretação dos resultados.

- **Pré-análise:** nesta fase organizou-se o material a ser analisado com o objectivo de torná-lo operacional, sistematizando as ideias iniciais. Foi importante garantir dados representativos e homogéneos (referentes ao mesmo tema). Nesta fase, com o resultado da colecta de dados, iniciou-se o processo de análise com uma leitura geral.
- **Exploração do material ou descrição analítica do conteúdo:** A exploração do material consiste na construção das operações de codificação, considerando-se os recortes dos textos em unidades de registos e a classificação e agregação das informações em categorias simbólicas ou temáticas.
- **Interpretação dos resultados:** em que se correlaciona o conteúdo do material analisado com a base teórica referencial. Nesta fase, procurou-se relacionar o material analisado a partir dos dados recolhidos, com o conteúdo exposto na revisão bibliográfica, e assim chegou-se a ideias conclusivas que deram respostas às indagações da pesquisa.

A seguir apresenta-se o esquema da estrutura metodológica do presente estudo:



**Figura 3:** Esquema Metodológico

(Fonte: Autor 2022)

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISE DE DADOS, INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

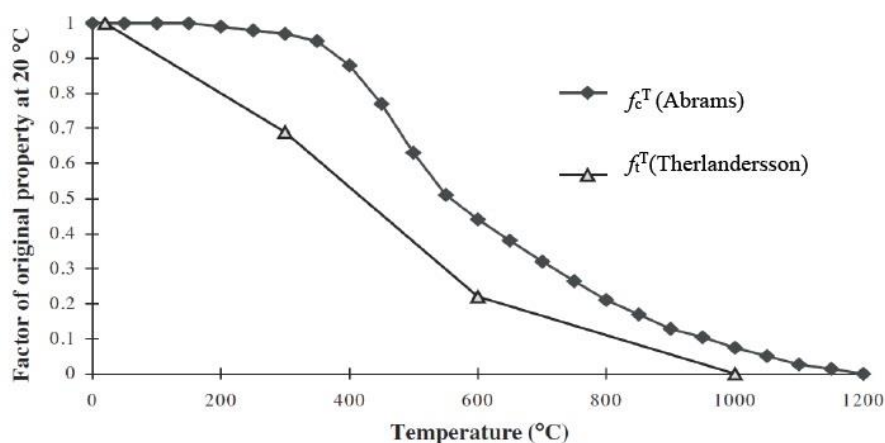
*O ensaio em escala real de paredes de alvenaria estrutural é bastante dispendioso e em Moçambique não existem laboratórios que possuam equipamentos compatíveis para a execução desse tipo de ensaio, por este motivo serão usados neste capítulo, dados de ensaios de diferentes autores, feitos em laboratórios certificados do Brasil, França, Portugal, Reino Unido e Austrália e irá recorrer-se também a simulações computacionais seguidos da sua descrição qualitativa.*

### **4.1 Análise do comportamento térmico e mecânico dos materiais das alvenarias a altas temperaturas**

Moçambique nunca teve um regulamento nacional para o dimensionamento de estruturas de alvenaria, nem para situação de temperatura ambiente nem para a situação de altas temperaturas até ao surgimento dos Eurocódigos estruturais, propostos pela Comissão da Comunidade Europeia em 1975. Com o aparecimento da parte 1-2 do Eurocódigo 6 referente ao comportamento ao fogo das alvenarias em 2005, alguns dos parâmetros a observar no comportamento das alvenarias vêm referidos nesta parte do Eurocódigo 6 como parâmetros a ser definidos nacionalmente por cada país que adopte como regulamento nacional o Eurocódigo 6, conforme referido por MEYER (2013). Alguns destes parâmetros a definir nacionalmente são a extensão térmica, a condutividade térmica e o calor específico, parâmetros muito importantes na caracterização de materiais expostos à acção accidental fogo. Outras propriedades dos materiais que vêm definidas na parte 1-2 do Eurocódigo 6, como a relação tensão-extensão dos materiais a altas temperaturas é apenas dada para alguns materiais, baseados num número de ensaios limitado, realizados por HAHN (2001) citado por LOPES (2017). O betão normal e as argamassas M5 e M10 são alguns dos materiais não contemplados neste Eurocódigo. Para se obter valores de relação tensão-extensão de betão normal a altas temperaturas tem de se recorrer à parte 1-2 do Eurocódigo 2 (Estruturas em betão armado) ou do Eurocódigo 4 (Estruturas mistas de aço-betão), conforme NADJAI *et al.* (2003 e 2006) citados por LOPES (2017) fizeram na sua investigação de modelação numérica do comportamento a altas temperaturas de alvenarias.

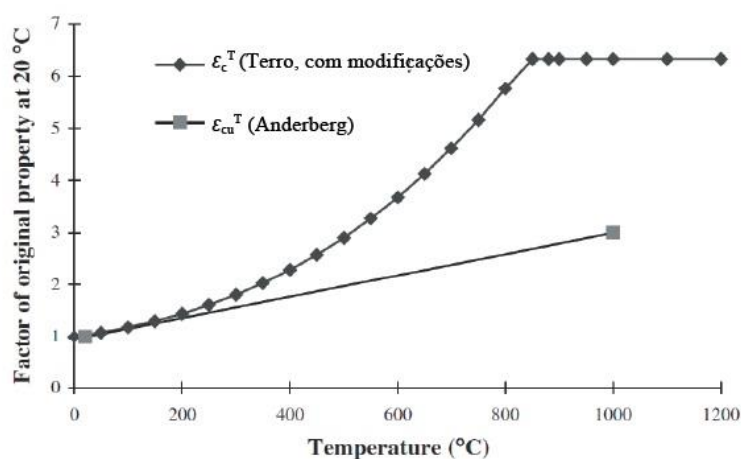
NADJAI *et al.* (2003) citados por LOPES (2017) usaram também para a degradação das propriedades mecânicas a altas temperaturas do betão as curvas propostas por:

- Abrams (1971) para a resistência à compressão  $f_c^T$  (Figura 4);
- Thelandersson (1972) para a resistência à tracção  $f_t^T$  (Figura 4);
- Terro (1998) para a extensão de pico  $\epsilon_c^T$ , com modificações (Figura 5);
- Anderberg e Thelandersson (1976) para a extensão última  $\epsilon_{cu}^T$  (Figura 5).



**Figura 4:** Relação da resistência à tracção e à compressão com a temperatura do material betão, em função dos resultados obtidos para a temperatura ambiente.

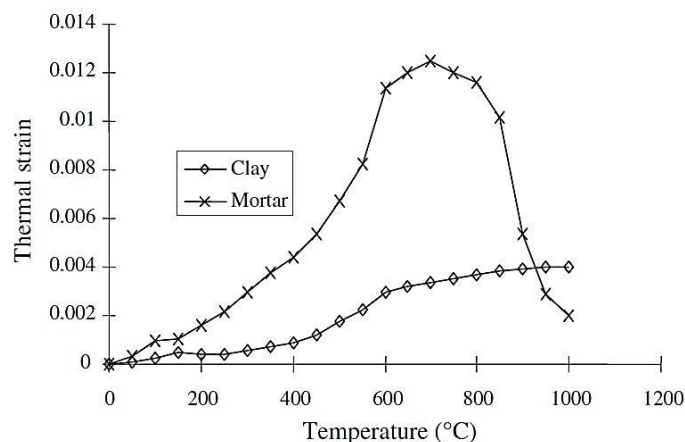
(Fonte: NADJAI *et al.*, 2003)



**Figura 5:** Relação da extensão de pico e da extensão última com a temperatura do material betão, em função dos resultados obtidos para a temperatura ambiente.

( Fonte: NADJAI *et al.*, 2003)

Para a argamassa, NADJAI *et al.* (2003) usaram os valores que Gnanakrishnan (1989) obteve no ensaio de paredes de alvenaria com unidades cerâmicas com 3000 mm × 3000 mm × 90 mm. O coeficiente de expansão térmica secante das unidades cerâmicas e da argamassa foi medido de forma associada e foram traduzidas para a relação extensão térmica-temperatura apresentada na Figura 5.



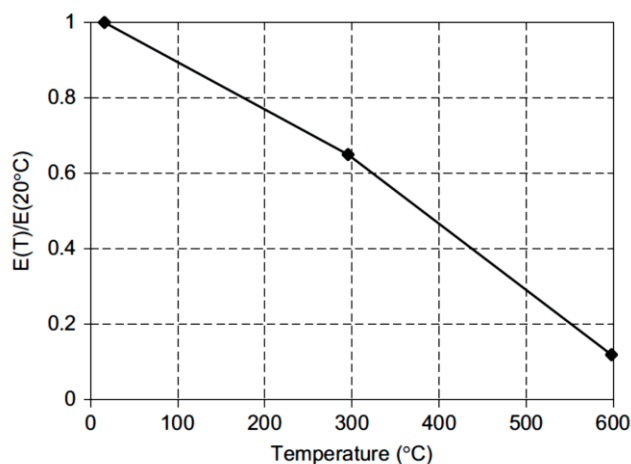
**Figura 6:** Relação extensão térmica - temperatura das unidades cerâmicas (*clay*) e argamassa (*mortar*), de acordo com Gnanakhrisnan, 1989.

(Fonte: NADJAI *et. al.*, 2003)

LOPES (2017) afirma na sua dissertação que segundo o Eurocódigo 6 (2005), a condutividade térmica e o calor específico de materiais cimentícios, como a argamassa ou betão, mostram uma variação significativa devido à evaporação da água livre perto da temperatura de 100°C. NGUYEN (2005) observou este fenómeno em ensaios de alvenarias de unidades cerâmicas, em que a junta de argamassa de cimento mantinha uma temperatura constante durante um determinado tempo, quando esta chegava aos 100°C, observando também a formação de vapor. BULL (2001) e GABOR (2002) citados por LOPES (2017) referem que a argamassa à temperatura ambiente tem um comportamento frágil em tracção e ligeiramente dúctil em compressão.

CÜLFIK e ÖZTURAN (2002) citados por LOPES (2017) referem também que com elevação da temperatura do material, a capacidade resistente tanto em compressão como em tracção e o

módulo de elasticidade diminuem quase linearmente (Figura 7), enquanto que o comportamento à rotura do material tem ganhos em termos de ductilidade.



**Figura 7:** Variação do módulo de elasticidade da argamassa, de acordo com CÜLFIK e ÖZTURAN, 2002.

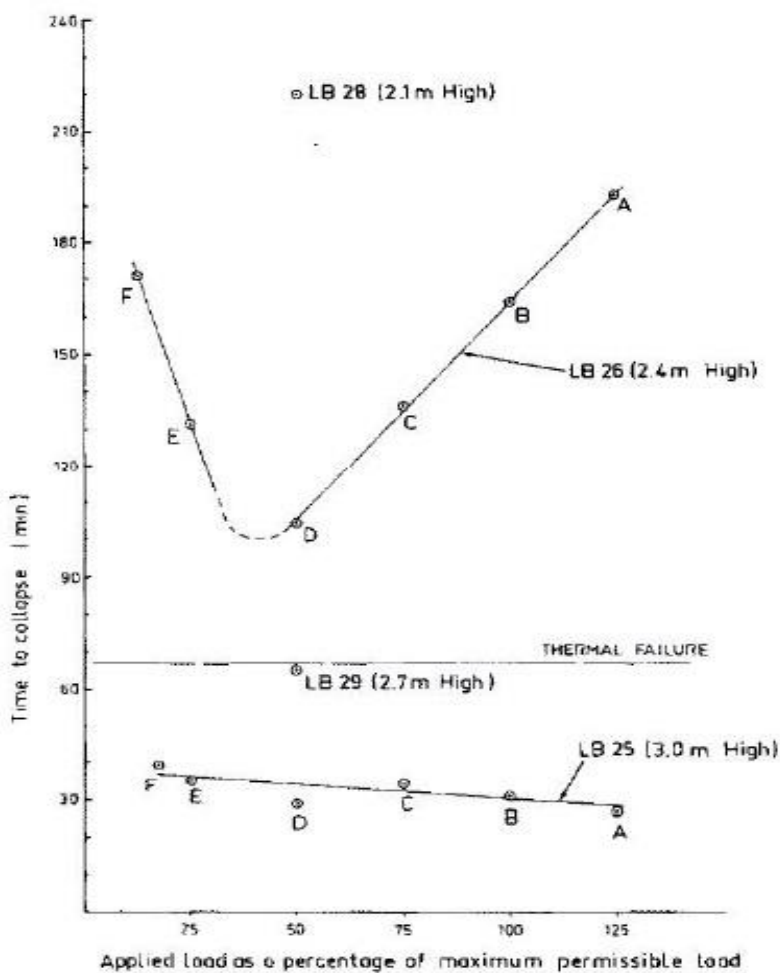
(Fonte: NGUYEN *et. al*, 2009)

#### 4.2. Análise do comportamento térmico e mecânico de paredes de alvenaria estrutural a altas temperaturas

Segundo LOPES (2017), nos últimos 50 anos, houve diversas investigações para avaliar a capacidade resistente de carga das paredes de alvenaria estrutural quando expostas ao fogo. Na década de 70, BYRNE (1979) realizou 14 ensaios de paredes de alvenaria estrutural expostas ao fogo numa das faces, usando unidades de alvenaria de tijolo cerâmico. Nestes ensaios, BYRNE (1979) fez variar a altura dos provetes (1 provete com 2100 mm, 6 provetes com 2400 mm, 1 provete com 2700 mm e 6 provetes com 3000 mm) e cargas aplicadas nestes (6 níveis de carga, variando de 12,5 % a 125% da carga limite de dimensionamento, dimensionada de acordo com a norma australiana 1640-1974), mantendo constante a espessura (90 mm) e o comprimento da parede (3000 mm). As paredes foram carregadas verticalmente no seu topo, estando apenas o topo e a base das paredes restringidos. Estes ensaios foram realizados de acordo com a Parte 4 da norma australiana 1530-1975. BYRNE (1979) citado por LOPES (2017) nos seus ensaios chegou às seguintes conclusões:

- O nível de carga aplicado e o valor de esbelteza têm ambos um efeito significativo no desempenho estrutural da parede;

- Para uma parede com um valor de esbelteza elevado, o tempo até ao colapso estrutural tende a ser maior para um nível de carga inferior;
- Para uma parede com um valor de esbelteza baixo, o tempo até ao colapso estrutural regista um valor menor de tempo, quando a carga aplicada era aproximadamente 50% do nível de carga limite de dimensionamento. O tempo até ao colapso estrutural aumenta rapidamente conforme a carga aplicada aumentasse ou diminuísse em relação ao nível de carga limite de dimensionamento de 50 % (Figura 8);
- Um aumento pequeno do valor de esbelteza resulta numa redução pronunciada do tempo de colapso;
- As paredes com valor de esbelteza inferior ou igual a 20 registam um nível de resistência ao fogo de 1 hora para qualquer nível de carga.



**Figura 8:** Relação entre o tempo de colapso e o nível de carga aplicado

(Fonte: BYRNE 1979)

LAWRANCE e GNANAKRISHNAN (1987) realizaram nas décadas de 70 e 80, uma campanha com 146 ensaios em paredes de alvenaria estrutural à escala real com dimensões de 3000 mm × 3000 mm, usando diferentes unidades de alvenaria, espessuras das paredes e níveis de carga actuante. Com estes ensaios, confirmam quase todas as conclusões de BYRNE (1979), à excepção de que os tempos de colapso das paredes expostas ao fogo não mostram uma relação com o nível de carga actuante e que os dados obtidos para todos os materiais das unidades de alvenaria não comprovam a hipótese de que um nível de carga actuante de 50% dá o tempo de colapso estrutural mais baixo.

A curvatura térmica das paredes é também um fenómeno identificado BYRNE (1979), devido ao aquecimento diferencial das paredes e uma das principais causas para o colapso das paredes. Antes de o fogo ser aplicado, a carga vertical actua na linha central da parede.

Assim que a parede começa a encurvar em direcção ao fogo devido aos efeitos térmicos, o ponto de aplicação da carga também se desloca nessa direcção. No início, o carregamento vertical tende a contrariar a curvatura provocada pelos efeitos térmicos, inibindo o deslocamento lateral da parede.

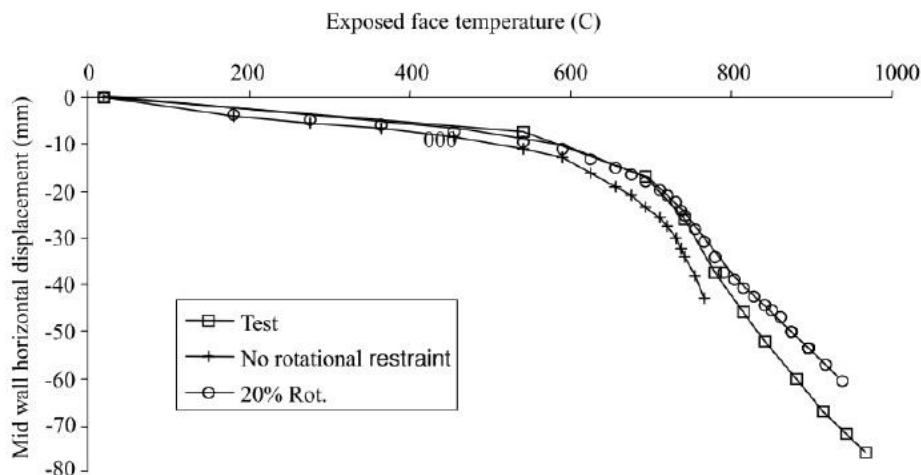
Mas assim que a parede começa a deslocar mais em direcção ao fogo, atinge-se um ponto em que a carga vertical começa a contribuir para o aumento dos deslocamentos laterais. LAWRENCE e GNANAKRISHNAN (1987) referem que em alguns casos, as paredes de alvenaria com funções estruturais ainda tinham resistência à compressão suficiente para prevenir a rotura por esmagamento, rotura pela qual a maioria das paredes colapsa à temperatura ambiente, mesmo após a exposição ao fogo, mas que a curvatura em direcção ao fogo, provocada pela expansão diferencial das faces quente e fria da parede podem causar instabilidade desta. Além disso, referem ainda que em qualquer problema de flexão, o valor de esbelteza é um factor significativo e que neste caso, espera-se que este influencie o tempo de colapso directamente.

SHIELDS *et. al.* (1988) citados por LOPES (2017) fizeram um estudo acerca da curvatura térmica de paredes de alvenaria e a influência do aquecimento diferencial na capacidade resistente a cargas de paredes. Na realização deste estudo foram usados blocos silico-calcários à escala 1:2 (105 mm × 50 mm × 30 mm) assentes com uma argamassa de cimento, realizando uma parede com um metro de comprimento por um metro de altura.

Concluiu-se neste estudo que há dois aspectos fundamentais de curvatura, restringida e não-restringida, que atuam independente uma da outra, tendo esta conclusão sido provada tanto experimentalmente como por análise numérica, pelos autores. Além disso, os autores afirmam que a curvatura térmica restringida promove deformações permanentes e que a curvatura térmica não-restringida promove deformações reversíveis.

É com base nos estudos de BYRNE (1979), LAWRENCE e GNANAKRISHNAN (1987) e SHIELDS *et. al.* (1987) citados por LOPES (2017) que a maioria dos modelos numéricos foram realizados nos anos seguintes, tornando mais expeditos os métodos de dimensionamento de paredes de alvenarias expostas ao fogo e a sua incorporação nos códigos de dimensionamento. Um exemplo de modelo numérico para a análise estrutural de alvenaria exposta ao fogo é o modelo apresentado por NADJAI *et. al.* (2003). NADJAI *et. al.* (2003) usa, para validação do seu modelo numérico, os valores obtidos por GNANAKRISHNAN (1989) em ensaios sobre o efeito da restrição final na estabilidade de paredes de alvenaria expostas ao fogo com unidades de alvenaria cerâmicas à escala real e por LAVERTY *et. al.* (2001) no ensaio ao fogo de uma parede à escala reduzida com unidades de alvenaria de betão as dimensões de 430 mm de comprimento, 1330 mm de altura e uma espessura de 50 mm. Nos ensaios efetuados por GNANAKRISHNAN (1989), as paredes ensaiadas tinham a base e o topo restringidos ao deslocamento e à rotação, enquanto as arestas verticais da parede não tinham qualquer restrição, tendo espaço suficiente para que pudessem deformar devido à expansão térmica dos materiais. Já no ensaio de LAVERTY *et. al.* (2001), o topo da parede estava apenas restringido à rotação, sendo o resto das condições de restrição na base e nas arestas verticais idênticas às dos ensaios de GNANAKRISHNAN (1989).

Na comparação dos valores obtidos experimentalmente por GNANAKRISHNAN (Figura 9) com os valores obtidos pelo modelo numérico, mostram que o incremento da restrição rotacional produz uma diminuição da quantidade da curvatura térmica. Sem restrição rotacional, o colapso devido à flexão da parede foi visível e ocorre prematuramente em comparação com os resultados experimentais. A melhor correspondência entre os resultados experimentais e os resultados da análise numérica foi obtida com uso de 20 % de restrição rotacional na base e no topo, mesmo assim os deslocamentos na análise numérica foram menores do que os deslocamentos no ensaio experimental após os 800 °C.



**Figura 9:** Comparação dos valores obtidos análise experimental e os resultados obtidos por GNANAKRISHNAN

(Fonte: NADJAI *et. al.*, 2003)

LOPES (2017) realizou um ensaio no qual o esquema experimental era composto por um pórtico de reacção feito com perfis de aço HEB 300, com dois pilares e duas vigas sobrepostas por forma a aumentar a rigidez do pórtico, ao qual se ligou um macaco hidráulico de 933 kN (Anexo 2).

Nestes ensaios de resistência ao fogo, os provetes construídos são compostos por 7 unidades em comprimento, perfazendo o comprimento de 1,40 m e 10 fiadas em altura com juntas de assentamento de 7 mm, perfazendo a altura de 1,00 m, conforme ilustrado no anexo 3.

Foi aplicada uma carga de 70% do valor de resistência a cargas verticais ( $N_{Rd, Parede}$ ) até os 108%. Esta carga foi aplicada com uma taxa de 0,5 kN/s e depois expôs-se a parede a uma carga de incêndio de acordo com a curva da ISO 834, mantendo se constante a carga no plano.

Numa avaliação visual durante e após o ensaio, foi possível notar o surgimento de fissuras 30 minutos após o início do ensaio (anexo 4). Houve também sinais claros de destacamento de material (*spalling*) na face exposta à carga de incêndio, mas que não atravessa o septo do bloco, sendo que a camada destacada foi de aproximadamente <4 mm, conforme pode ser visto no anexo 5 e 6.

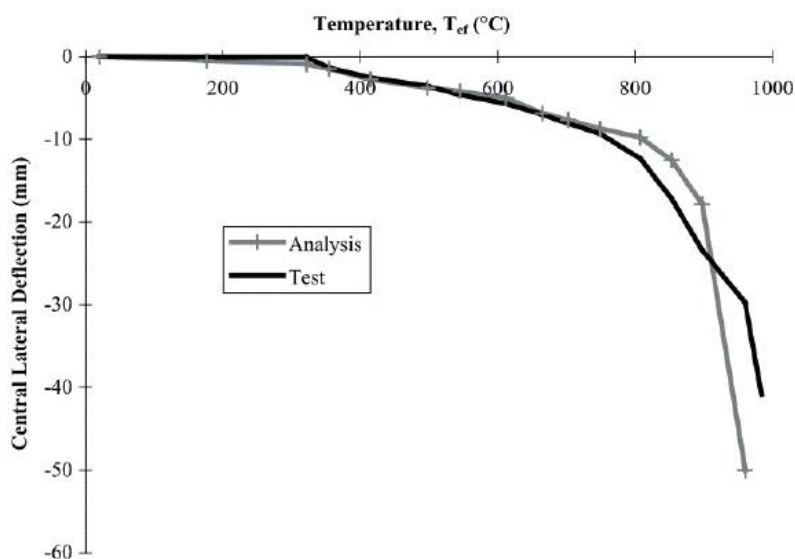
O colapso dos provetes 3, 4, 5 e 6 foi abrupto (anexos 7, 8 e 9), sem grandes sinais de aviso, como grandes deslocamentos verificados num curto espaço de tempo ou perda súbita de carga no plano. O colapso destes provetes deu-se para o interior do forno, apesar de haver material

projectado para o seu exterior. Este colapso deveu-se à curvatura que os provetes sofreram por causa da expansão térmica diferencial, à perda da capacidade resistente do material na face exposta e à fissuração vertical do bloco na direcção paralela à face da parede. Os sinais que os provetes produziram em que se prevê que o provete está para colapsar foram pequenos ruídos de fissuração antes do colapso.

No anexo 10 apresenta-se um resumo dos resultados obtidos ao longo do ensaio ao nível dos tempos até à falha de um dos critérios de resistência ao fogo, o nível último de carga aquando do colapso estrutural e o deslocamento máximo central fora do plano da parede.

NADJAI et al. (2006) realizaram uma série de estudos analíticos de elementos finitos para investigar o comportamento de paredes de alvenaria estrutural suportando uma laje em betão, mediante uma série de cenários de incêndio. Consideraram-se paredes de alvenaria estrutural com 3 metros de altura, sujeitas à elevação de temperatura em apenas uma das faces longitudinais (anexo 11). Para ambos cenários de posicionamento do incêndio, os deslocamentos das paredes superiores mostraram-se mais elevados em relação aos das paredes inferiores (anexo 12).

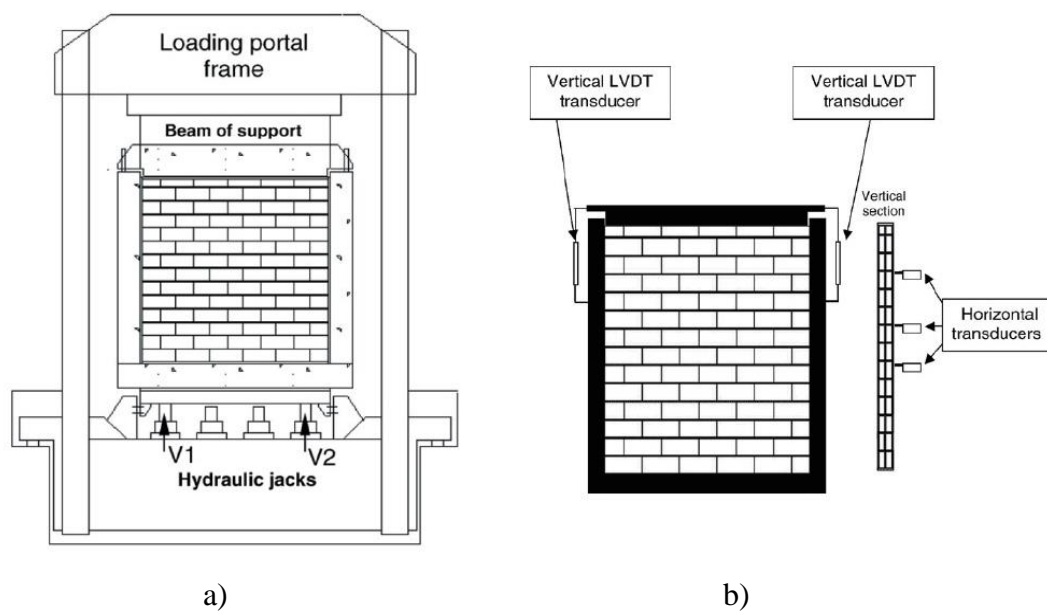
Na comparação do ensaio realizado por LAVERTY *et. al.* com os valores obtidos na análise numérica (Figura 10), há alguma correspondência na relação temperatura-deslocamento tanto no ensaio experimental como na análise numérica, até aos 812 °C. Depois disso, na análise numérica, o aumento dos deslocamentos laterais é mais abrupto e o colapso dá-se mais cedo do que no ensaio.



**Figura 10:** Comparação dos valores obtidos por LAVERTY *et. al.* (2001) no ensaio com a análise numérica de NADJAI *et. al.*, 2003  
(Fonte: LOPES 2017)

AL NAHHAS *et. al.* (2007) estudaram então o efeito da exposição do fogo em paredes de alvenaria composta por blocos de betão e cerâmicos com alvéolos verticais à escala real, unidos com argamassa de cimento.

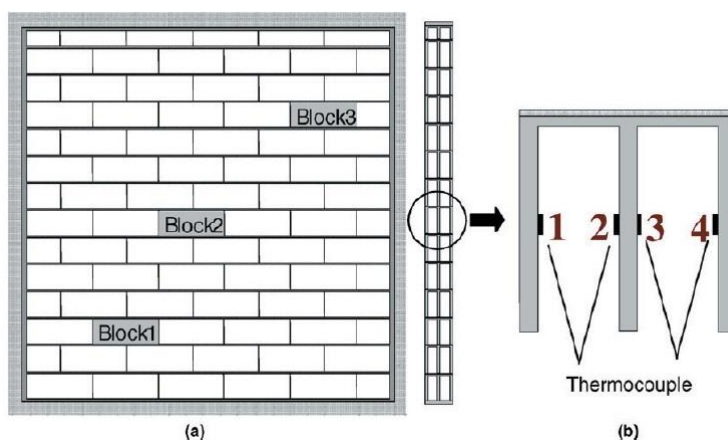
Estes ensaios foram realizados em fornos verticais a gás, capazes de seguir a curva ISO 834, tendo cada um dos ensaios durado 6 horas. A carga vertical uniforme foi aplicada através de uma viga metálica associada a uma estrutura porticada colocada na parede, por macacos hidráulicos que atuam na viga metálica (Figura 11). As arestas verticais da parede não tinham qualquer restrição e o espaço entre a estrutura e a parede foi preenchida com lã de rocha.



**Figura 11:** a)Dispositivo de aplicação de carga; b) Pontos de medição de deslocamentos laterais e verticais

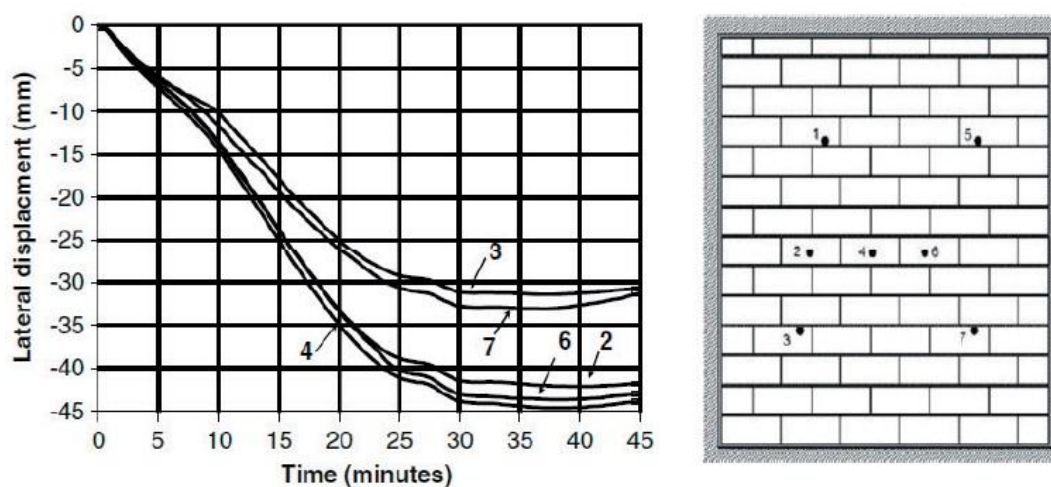
(Fonte: AL NAHHAS *et. al.*, 2007)

Os autores dos ensaios mediram a evolução das temperaturas na parede, fixando termopares no interior de três blocos (Figura 12) e registraram os deslocamentos verticais (2 pontos) e laterais (7 pontos) durante todo o ensaio. O posicionamento dos pontos de medição de temperatura e deslocamento foi feito de acordo com o Eurocode 6 relativo à resistência ao fogo de produtos e elementos de construção.



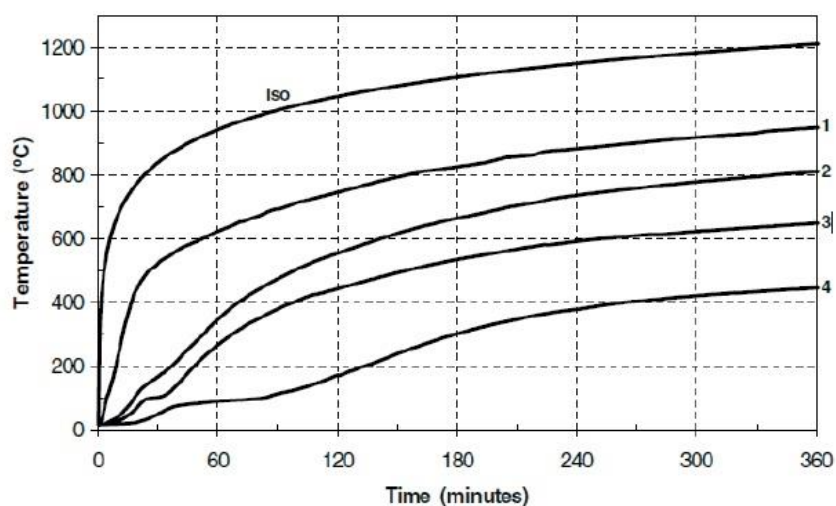
**Figura 12:** Posicionamento dos termopares em cada bloco na parede

(Fonte: AL NAHHAS *et. al.*, 2007)



**Figura 13:** Deslocamentos laterais obtidos durante o ensaio nos pontos definidos na figura 11b.

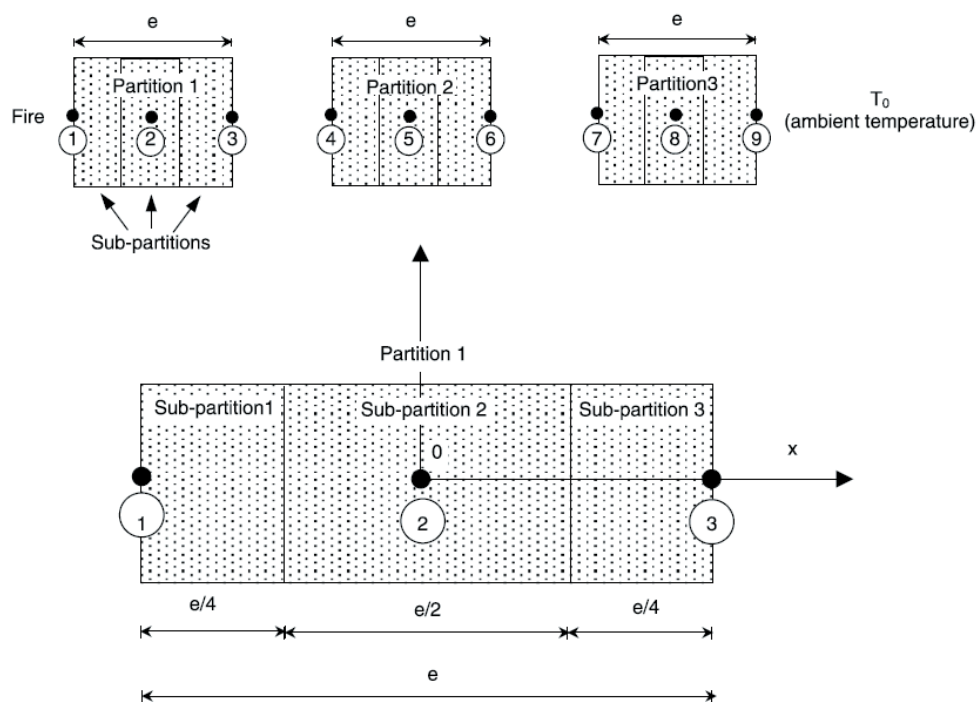
(Fonte: AL NAHHAS *et. al.*, 2007)



**Figura 14:** Evolução das temperaturas ao longo do ensaio nos pontos definidos na figura 12

(Fonte: AL NAHHAS *et. al.*, 2007)

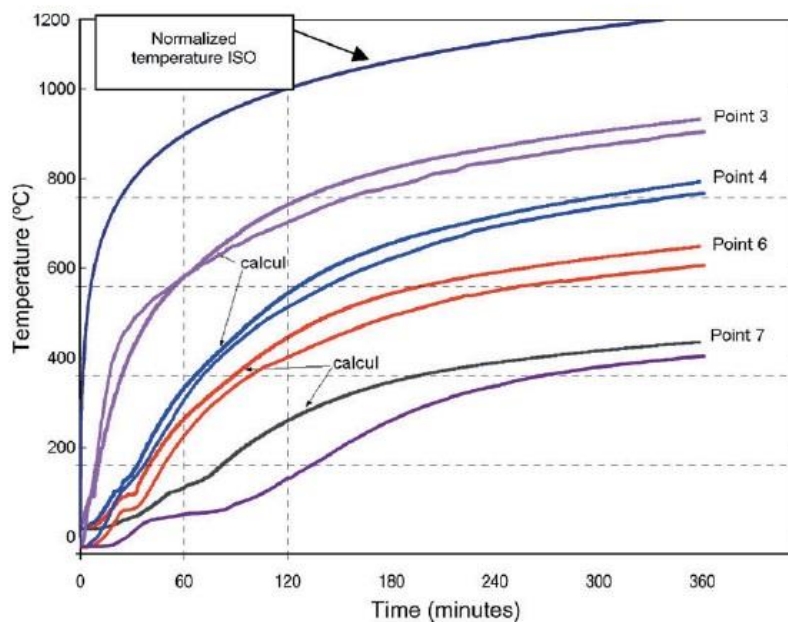
Depois de obtidos os valores dos ensaios (Figuras 13 e 14), AL NAHHAS *et. al.* (2007) estudou a transferência de calor através das diferentes partes da parede utilizando um modelo simplificado unidimensional que tem em conta a convecção, a radiação e a condução. Foi tida também em conta neste modelo a energia necessária para evaporar a água intersticial. O modelo utilizado foi baseado no esquema das diferenças finitas (Figura 15), em que cada partição da parede foi dividida em três sub-partes, sendo que as equações utilizadas por AL NAHHAS *et. al.* (2007) podem ser consultadas na sua investigação.



**Figura 15:** Definição das partições e sub-partições da parede no modelo

(Fonte: AL NAHHAS *et. al.*, 2007)

Na Figura 16, AL NAHHAS *et. al.* (2007) fez a comparação dos resultados experimentais com as curvas teóricas simuladas. Pode ver-se nestas curvas que os modelos teóricos estimam correctamente a temperatura nos nós 4 e 6, como definidos na Figura 15, correspondem aos pontos de medição definidos na Figura 12 b). Podem ver-se também os patamares do fenómeno de mudança de estado da água livre correctamente reproduzidos pelo modelo numérico, havendo correspondência com os valores obtidos no ensaio experimental. Com respeito ao nó 7, que corresponde ao ponto 4 na figura 12 b), o modelo sobestimou a temperatura em 35%, quando comparado com valores obtidos experimentalmente entre os 60 e os 240 minutos. AL NAHHAS *et. al.* (2007) afirmou que isto poderá ter acontecido devido à recondensação do vapor na terceira partição que não foi tida em conta no modelo, mas por outro lado, o modelo subestimou a temperatura no nó 3 em 4,5% nos primeiros 100 min. AL NAHHAS *et. al.* (2007) diz que esta diferença se deve provavelmente ao facto de o coeficiente de convecção ser mantido constante no modelo.



**Figura 16:** Comparação dos valores obtidos experimentalmente com os valores obtidos no modelo numérico

(Fonte: AL NAHHAS *et. al.*, 2007)

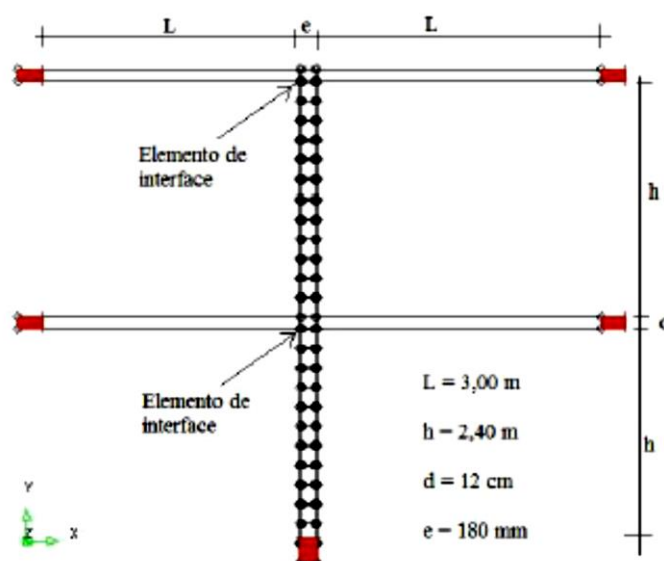
### 4.3. Análise do comportamento Global da Estrutura (Simulação Computacional)

Segundo SPOHR (2016) a análise do comportamento global da estrutura visa entender e relacionar os resultados de análise do comportamento de elementos isolados com o comportamento global quando trabalham na edificação como parede de compartimentação. Para tanto, considera-se que uma parede trabalha em serviço na configuração de um pórtico onde se encontra vinculada as lajes em suas extremidades. Na edificação do tipo residencial, as paredes estão submetidas a um carregamento composto pelas cargas dos pavimentos superiores (peso próprio, sobrecargas de utilização e revestimentos) e a carga térmica. Assim como observado nos modelos analisados anteriormente, um dos problemas que se evidencia é o tipo de ligação entre lajes e paredes. A maneira que a parede está vinculada com a laje afecta directamente nos resultados. Uma ligação rígida com restrição dos momentos flectores, por exemplo, afecta muito o comportamento global.

Uma análise completa envolveria várias configurações tanto em relação ao pórtico que podemos considerar, quanto a situação de exposição ao fogo. Por se tratar de uma parede de compartimentação, as paredes são consideradas sempre com uma face aquecida e a outra com

temperatura ambiente. A figura 17 ilustra o pórtico analisado, que simula o modelo adaptado dos edifícios que possivelmente serão erguidos na próxima fase da Vila Chiango. Diferentes das residências actualmente em construção (Figura 2), os edifícios irão conter dois pavimentos de pelo menos 2,40m de altura e lajes de 3m de vão, consideradas contínuas sobre a parede.

Nesta simulação supõe-se que as lajes descarregam toda a carga sobre a parede, caracterizando a pior situação. Esta análise é mais qualitativa do que quantitativa porque procura observar as tendências de comportamento. São muitas as características geométricas e materiais a definir em termos de valores, para garantir a precisão dos resultados.



**Figura 17:** Configuração do pórtico analisado

(Fonte: DÉ SIR, 2016, p. 10)

Na simulação computacional são apresentados os resultados de três cenários distintos, considerando combinações de carga térmica e condições de apoio. No primeiro cenário é simulado um incêndio no primeiro piso com ligação rígida entre lajes e paredes. Para o segundo cenário é acrescentado fogo também no segundo piso para o mesmo tipo de ligação. Já no terceiro cenário é considerado fogo nos dois pisos e elementos de interface entre lajes e paredes.

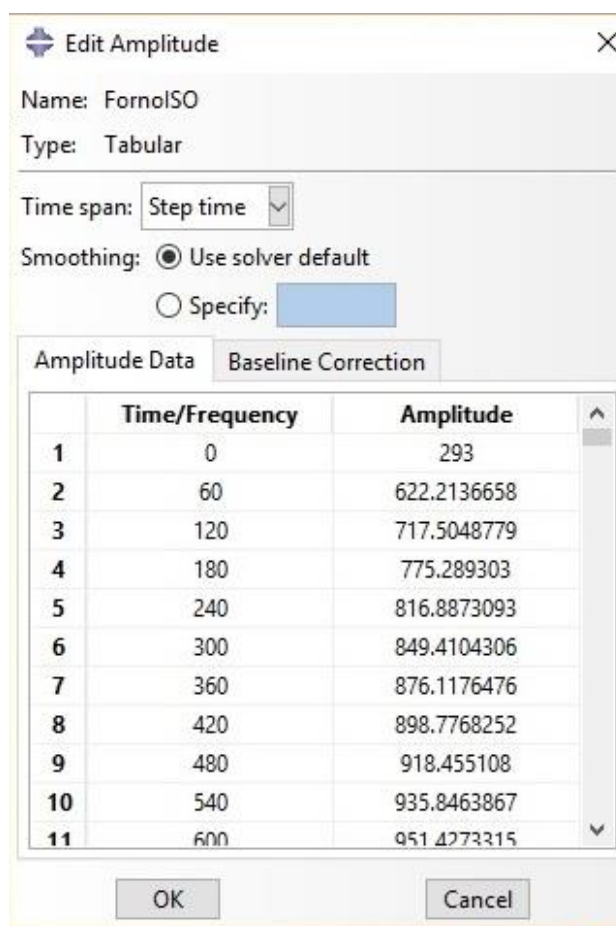
As simulações são realizadas no *software* ABAQUS. As variáveis de controlo consideradas no estudo incluem a evolução da temperatura na face não aquecida da parede, os deslocamentos horizontais na face aquecida e a deformação global que sugerem de forma qualitativa o modo de ruptura da estrutura. Para a análise do pórtico a curva de aquecimento foi definida

numericamente com o programa ABAQUS. Na modelagem foi considerada a curva de incêndio-padrão que pode ser obtida pela equação seguinte:  $\theta = 345 \log^{10}(8t + 1) + 20^{\circ}\text{C}$  (equação 1)

Onde:

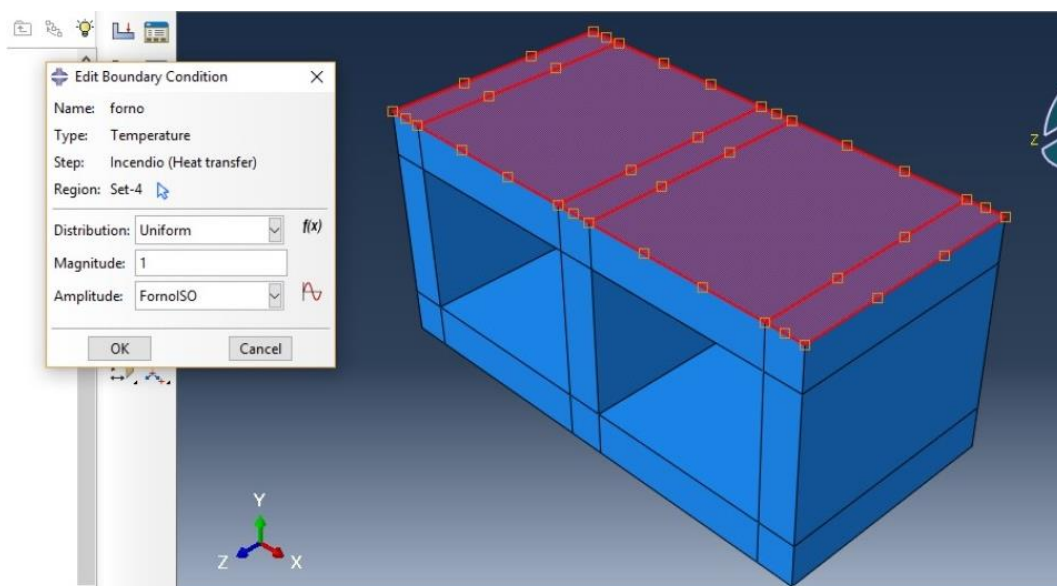
$\theta$  = Amplitude (temperatura)

t = tempo (minutos)

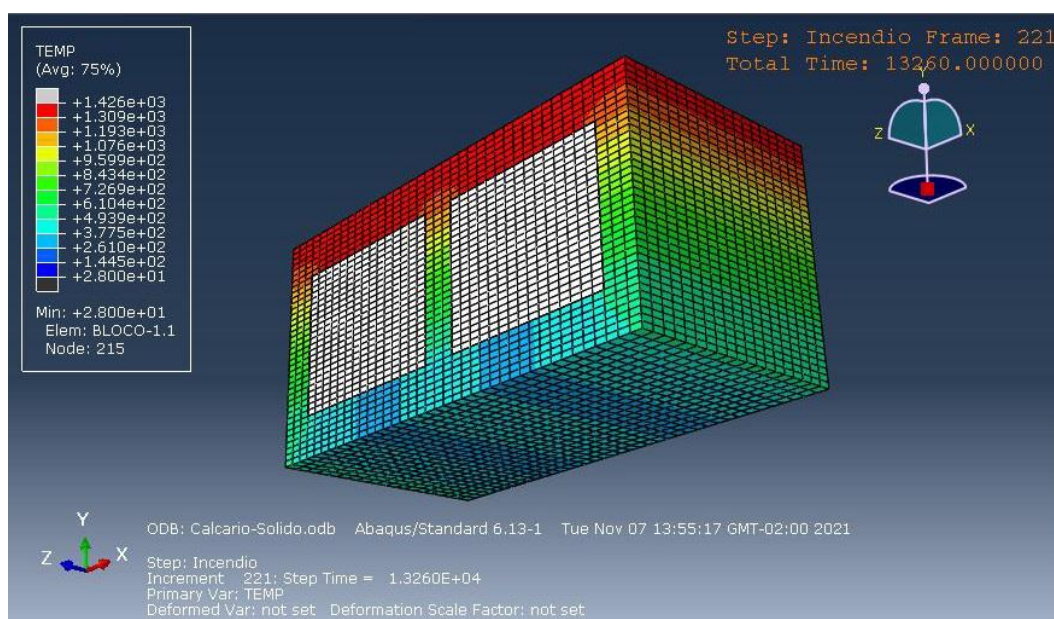


**Figura 18:** Curva de aquecimento numérica (ABAQUS)

A norma NBR 5628:2001 prevê que, se a temperatura média da face não aquecida superar  $140^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura ambiente ou  $180^{\circ}\text{C}$  em um ponto específico, o ensaio deve ser finalizado, por perda de isolamento térmico da parede. Nessa perspectiva, avaliou-se o critério de isolamento térmico conforme recomendação do Eurocode 6 Parte 1-2:2005, considerando o seu atendimento quando a variação da temperatura interna dos trios permanecesse abaixo de  $180^{\circ}\text{C}$ . A avaliação foi feita considerando unidades de alvenaria com preenchimento dos alvéolos, sem preenchimento dos alvéolos, com revestimento e sem revestimento das paredes.

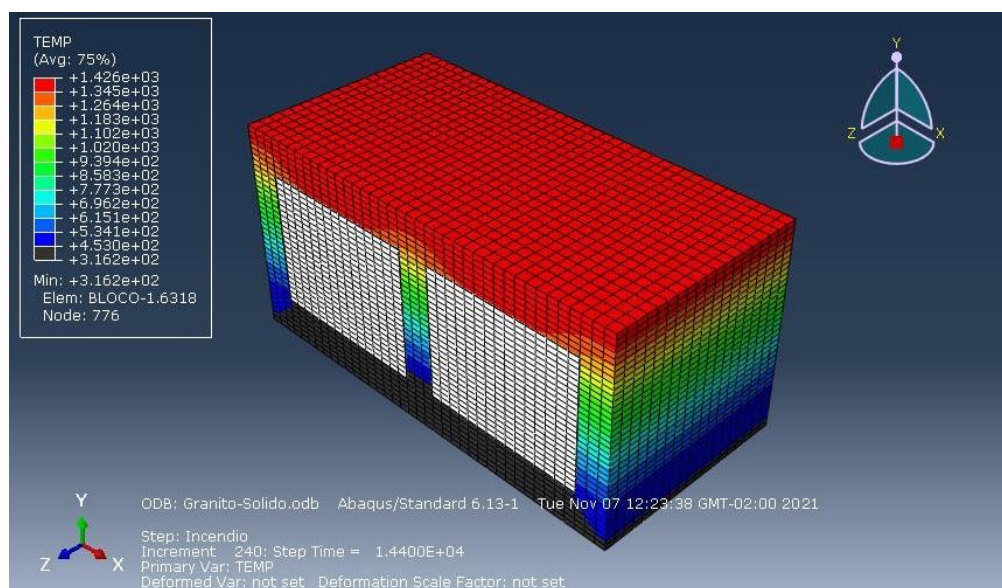


**Figura 19:** Modelagem de um bloco vazado e criação de um incêndio-padrão numa das faces (ABAQUS)

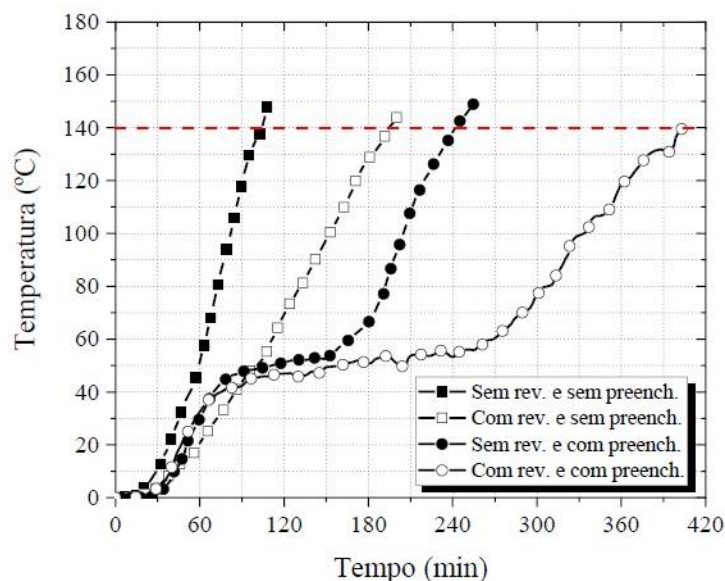


**Figura 20:** Isotermas de um bloco vazado submetido ao Incêndio-Padrão numa das faces (ABAQUS)

Para o bloco vazado (Figura 20), após quase quatro horas de incêndio (o que pode ser observado no texto em branco na parte de baixo da imagem, onde está escrito “Step time = 1.32600E+04”, ou seja, após 13260 segundos, ou 4 horas), o critério de isolamento térmico falhou, pois os 453 K (180 °C) atingiram a face não exposta ao fogo, enquanto que o bloco com preenchimento (Figura 21) cumpriu satisfatoriamente o critério de isolamento térmico após 14400 segundos de ensaio.



**Figura 21:** Isotermas de um bloco maçoado submetido ao Incêndio-Padrão numa das faces (ABAQUS)



**Figura 22:** Variação de temperatura na face não exposta ao fogo  
(Fonte: NETO 2020)

O esquema estrutural da figura 17 exibe um comportamento simétrico onde as paredes são submetidas a compressão centrada. A ação das altas temperaturas provoca alongamento no lado aquecido, aumentando a compressão no outro lado. Esse processo provoca alterações na configuração deformada da estrutura, conforme observado na figura 23.

Já na figura 24(b), onde as paredes são aquecidas nos dois pavimentos, temos quase uma reversão na curvatura provocada pelas temperaturas, devido a acção das cargas aplicadas que provocam uma rotação no sentido contrário. Na figura 23(c) os elementos de interface liberam a rotação entre lajes e o topo das paredes. É possível observar que as duas paredes apresentam uma curvatura no lado aquecido, no entanto, as cargas externas do segundo pavimento reduzem o efeito das cargas térmicas. Isso acontece sempre que houver uma resultante de cargas externas aplicadas na parede aquecida. A redução dependerá tanto da intensidade da resultante quanto de sua excentricidade em relação ao centroide da parede.

A figura 24 fornece valores de deslocamentos horizontais, variável utilizada para verificação do critério de resistência mecânica, de acordo com a equação 1.

O deslocamento horizontal observado na parede deve ser inferior ao valor calculado através do critério de resistência. No caso analisado, o deslocamento horizontal não ultrapassa o resultado de 80 mm obtido através da equação 2.

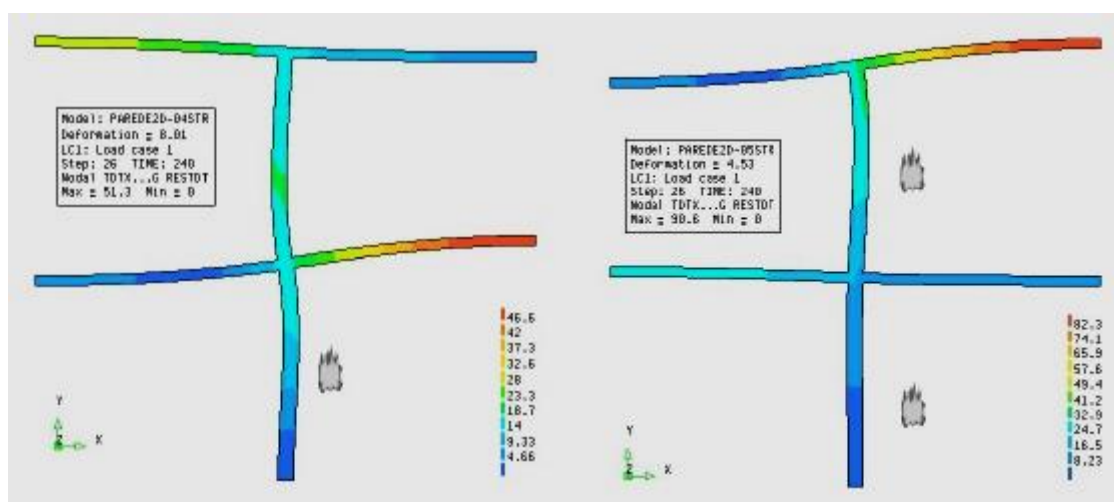
$$dh = h^2/400e \text{ (equação 2)}$$

Sendo:

dh = deslocamento horizontal da parede

h = altura total da parede;

e = espessura da parede



a) Situação 1

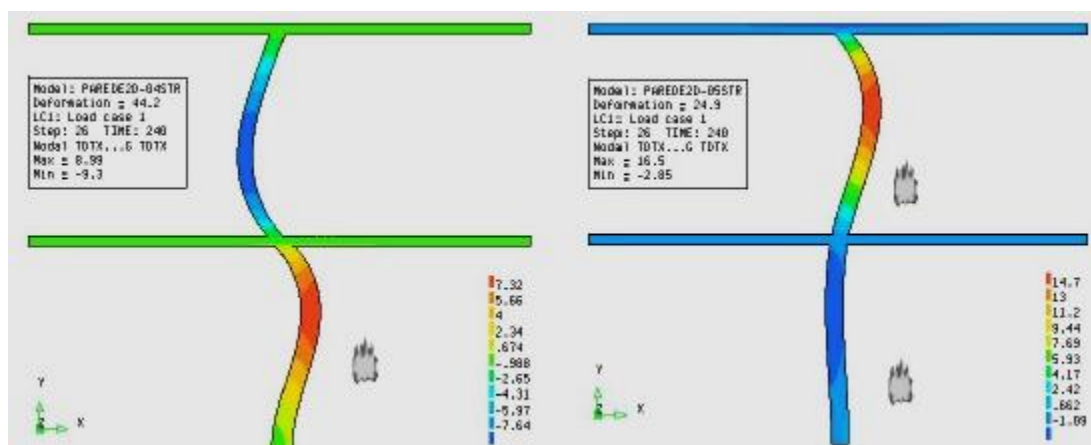
(b) Situação 2



(c) Situação 3

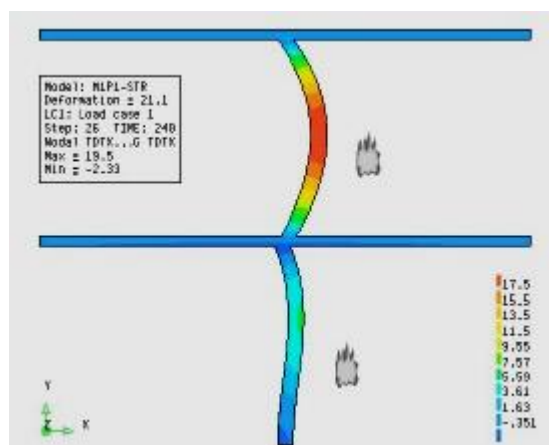
**Figura 23:** Deslocamentos totais na configuração deformada

(Fonte: DÉ SIR, 2016, p. 12)



(a) Situação 1

(b) Situação 2



(c) Situação 3

**Figura 24:** Deslocamentos na direção X na configuração deformada

(Fonte: DÉ SIR, 2016, p. 13)

## **CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.**

### **5.1. Conclusões**

Pela composição dos sistemas em alvenaria estrutural, a resistência ao fogo destes elementos estruturais depende do comportamento resistente à acção de elevadas temperaturas de cada um dos seus componentes. Em Moçambique, ainda observa-se uma escassez de resultados tanto sobre as propriedades desses materiais em situação de incêndio, assim como sobre o comportamento do próprio sistema estrutural quando submetido a elevadas temperaturas.

Tendo em consideração os objectivos e hipóteses, após as pesquisas feitas, a recolhas de dados e os estudos, conclui-se o seguinte:

1. No caso de incêndio, a resistência da alvenaria estrutural é reduzida, a depender da severidade do incêndio.
2. As superfícies das paredes confirmaram de maneira qualitativa, que há maior grau de compartimentação e isolamento térmico em paredes de alvenaria constituídas por blocos maciços ou maciçados em relação as paredes de blocos vazados.
3. A adição das camadas de revestimento em argamassas de cimento ou gesso demonstrou efectiva melhoria no comportamento térmico das paredes, com o critério de isolamento térmico superior ao apresentado pelos elementos sem revestimento.
4. As paredes não carregadas apresentam maior deslocamento fora do plano vertical, quando submetidas a elevação da temperatura devido a inexistência das restrições asseguradas pelos apoios ou aplicação do carregamento.
5. O nível de carga aplicado, a maneira como a parede está vinculada, a tipologia das unidades de alvenaria e a esbeltez da parede, afectam directamente no desempenho da alvenaria estrutural quando submetida a elevadas temperaturas.
6. Os deslocamentos das paredes de pavimentos superiores mostraram-se mais elevados em relação aos das paredes inferiores, pelo fato destas estarem sujeitas à níveis de tensões superiores, portanto, com maior restrição ao deslocamento.
7. Em um edifício, o grau de deformações estruturais depende da localização do incêndio, assim como da sua duração até a extinção, podendo ou não apresentar instabilidade de acordo com o nível de deformações e/ou deterioração dos seus componentes.

## **5.2. Recomendações**

Olhando para a realidade moçambicana, onde o combate aos incêndios por parte dos Bombeiros ainda é feito de forma deficiente, pois vezes sem conta os mesmos têm enfrentado dificuldades de resposta imediata e até mesmo de logística, associado ao crescente uso do sistema de alvenaria estrutural no país ficam as seguintes recomendações:

- Em caso de possível escolha, optar pelo bloco maciço pois este oferece melhor eficiência mecânica e térmica quando comparado ao vazado.
- Em caso de se usar bloco vazado, é sempre importante revestir as paredes com reboco para evitar a exposição directa da alvenaria em caso de um incêndio.

## **5.3. Limitações do Estudo**

A primeira limitação está ligada à existência de poucos estudos com objecto semelhante ao desta pesquisa no país.

A segunda limitação relaciona-se com o ensaio em escala real que é bastante dispendioso e no país não existem laboratórios que possuam equipamentos compatíveis para a execução desse tipo de ensaio em escala real.

## **5.4. Trabalhos futuros**

Para trabalhos futuros recomenda-se:

- Estudar a deterioração das unidades de alvenaria e conhecer verdadeiramente as suas causas, para que se possa otimizar o desenho e produção destas unidades de alvenaria.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14432: *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimento*. Rio de Janeiro, 2001.

AYALA, F. R. R., *Mechanical Properties and Structural Behaviour of Masonry at Elevated Temperatures*. Thesis (Doctor of Philosophy) – Engineering and Physical Sciences, University of Manchester, Manchester, 2010. 294p.

BULL, J.W., “*Computational Modelling of Masonry*”, Brickwork and Blockwork Structures, Saxe-Coburg Publications. 2001.

CAMACHO, J. S.. *Projeto de edifícios de alvenaria estrutural*. São Paulo, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2006.

CUSTODIO, K. R.. *Estruturas de Concreto Armado I*. Londrina, Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018.

DÉSIR, J. M., *Comportamento de parede de alvenaria estrutural em situação de incêndio: análise numérica*. In: Iberian Latin American Congress On Computational Methods In Engineering, Brasília. Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia.2016 n. 37.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 6: EN 1996-1.2: Design of masonry structures, Part 1-2: General rules: Structural fire design. Brussels, 2005.

FÉ, M. F.. *Análise dos determinantes dos custos de construção em Moçambique*. Tese de Licenciatura em Engenharia Civil. . Faculdade de Engenharia. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane, 2021. 83p.

GABOR, A. “*Contribution à la caractérisation et la modélisation des maçonneries nonrenforcées e renforcées par matériaux composites*”, Tese de doutoramento, Université Claude Bernanrd Lyon 1, 2002. 169p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834: Fire resistance tests - elements of building construction: Part 1. General requirements, 1999.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8421: Fire protection – Vocabulary: Part 1. General terms and phenomena of fire, 1987.

LEITE, H. A.. *Alvenaria estrutural em situação de incêndio – proposta de avaliação com vistas à normatização*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2018. 152p.

LOPES, R. F. R.. *Comportamento ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos de betão com alvéolos verticais*. Dissertação de Mestrado em Segurança aos Incêndios Urbanos. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Coimbra, Universidade de Coimbra, 2017. 81p.

NADJAI, A. et al., *Compartment masonry walls in fire situations*. *Fire Technology*, v. 42, , 2006. pp. 211-231.

NETO, J. A., *Estudo experimental do comportamento de elementos de alvenaria estrutural com blocos cerâmicos em situação de incêndio*. . Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Departamento de Engenharia de Estruturas. São Paulo, Universidade de São Paulo, 2020. 181p.

NGUYEN, T. D., MEFTAH, F., *Behavior of clay hollow-brick masonry walls during fire*. Part 1: Experimental analysis. *Fire Safety Journal*, v. 52, 2012. pp. 55-64.

NORMA PORTUGUESA. Segurança contra incêndios. Requisitos do serviço de comercialização, instalação e manutenção de equipamentos e sistemas de segurança contra incêndio.(Ed.). Agosto. Caparica. 2012.

PRODANOV, C. C; FREITAS, C. C.. *Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Académico*. 2ª Edição. Rio Grande do Sul, Universidade Feevale, 2013.

RIGÃO, A. O.. *Comportamento de Pequenas Paredes de Alvenaria Estrutural Frente a Altas Temperaturas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2012. 142p.

ROSEMANN, F., *Resistência ao fogo de paredes de alvenaria estrutural de blocos cerâmicos pelo critério de isolamento térmico*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011. 160 p.

SEITO, A. I. et al., *A segurança contra incêndio no Brasil*. 1ª Edição. São Paulo, Projecto Editora, 2008.

SPOHR, J. A.. *Simulação computacional de paredes de alvenaria estrutural em situação de incêndio: Estudo de Caso*. Tese de licenciatura em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 72p.

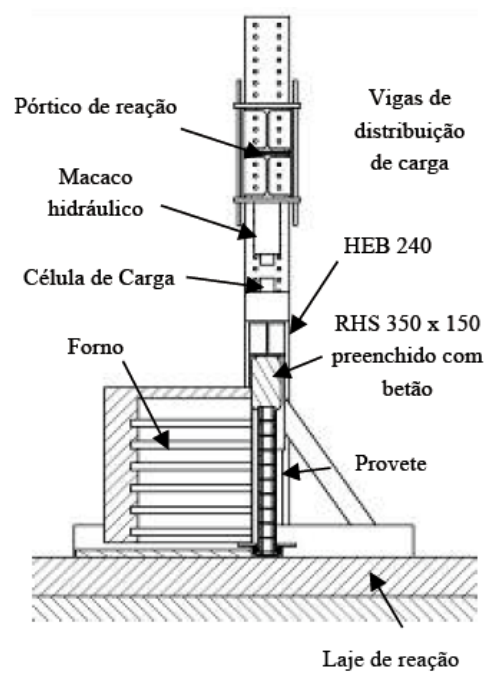
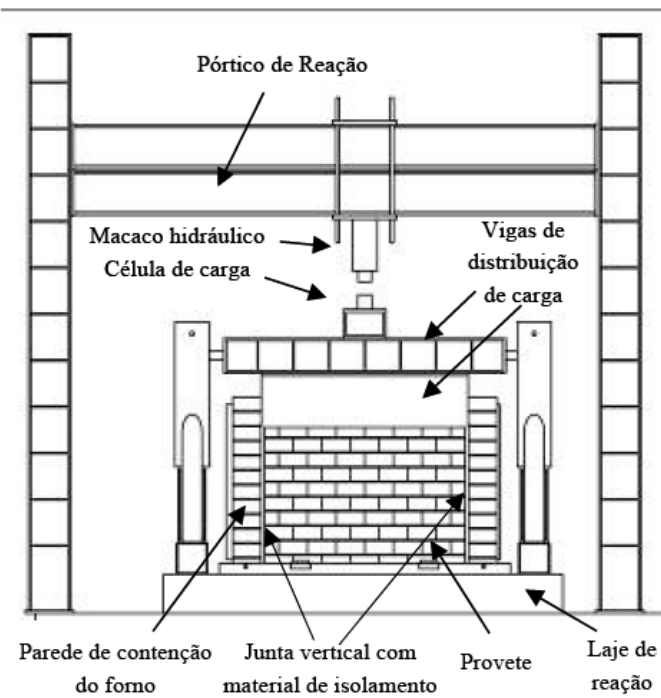
VESPASIANO, A. B. R.. *Estruturas de concreto armado em situação de incêndio: Estudo de caso*. Tese de licenciatura em Engenharia Civil. Coordenação do Curso de Engenharia Civil. Toledo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. 71p.

## ANEXOS



**Anexo 1:** Edifícios em alvenaria estrutural com blocos de betão e cerâmicos

Fonte: JB Blocos (2013) e Cerâmica City (2019).



**Anexo 2:** Esquema experimental – Pormenor da central, do datalogger e pórtico de reacção de Lopes  
 ( Fonte: LOPES, 2017)



**Anexo 3:** Provete montado no sistema de ensaios

(Fonte: LOPES, 2017)



**Anexo 4:** Provete 2 – Padrão de fissuração na face não exposta

(Fonte: LOPES, 2017)



**Anexo 5:** Provete 2 - Sinais de descolamento na face exposta ao incêndio  
(Fonte : LOPES, 2017)



**Anexo 6:** Provete 2- Fissuras verticais no meio do bloco e sinais de descolamento na face exposta (lado direito) (Fonte: LOPES, 2017)



**Anexo 7:** Provete 4 - Colapso súbito ( Fonte: LOPES, 2017)



**Anexo 8:** Provete 6 - Sequência de colapso estrutural – 1 de 2  
( Fonte: LOPES, 2017)

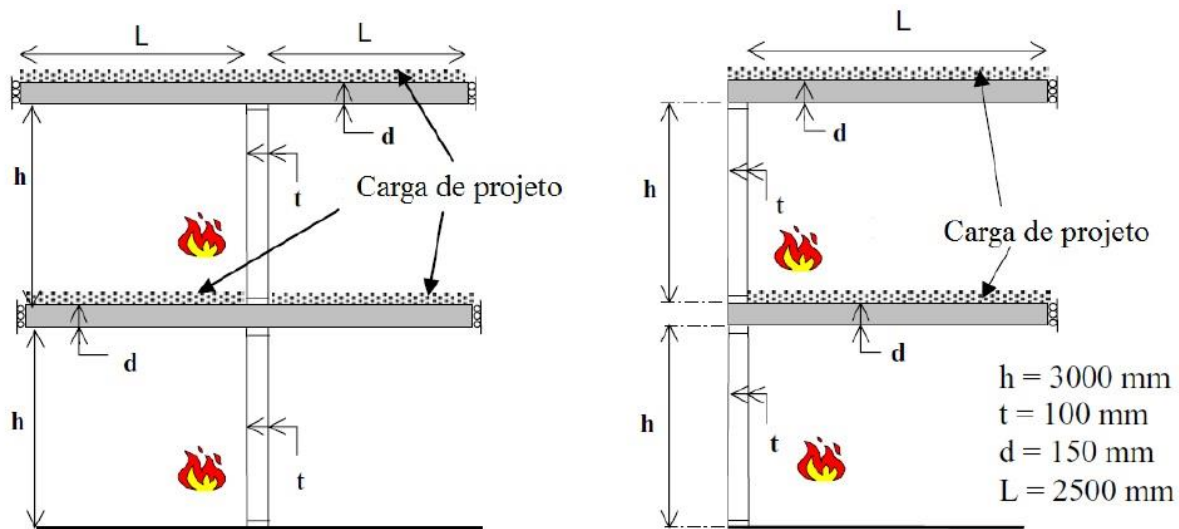


**Anexo 9:** Provete 6 - Sequência de colapso estrutural - 2 de 2  
(Fonte: LOPES, 2017)

Provete	Tempo até à falha				Nível último de carga no plano (kN)	Deslocamento máximo central	
	I (min)		E (min)	R (min)		Leitura (mm)	Tempo (min)
	Temperatura média	Temperatura máxima	Perda de estanquicidade	Colapso estrutural			
1	80	72	-	-	-	5,52	74
2	73	67	-	-	-	5,80	79
3	-	-	83	83	319	9,52	80
4	-	-	40	40	319	10,74	40
5	83	82	106	106	273	11,58	68
6	68	65	134	134	421	11,14	66

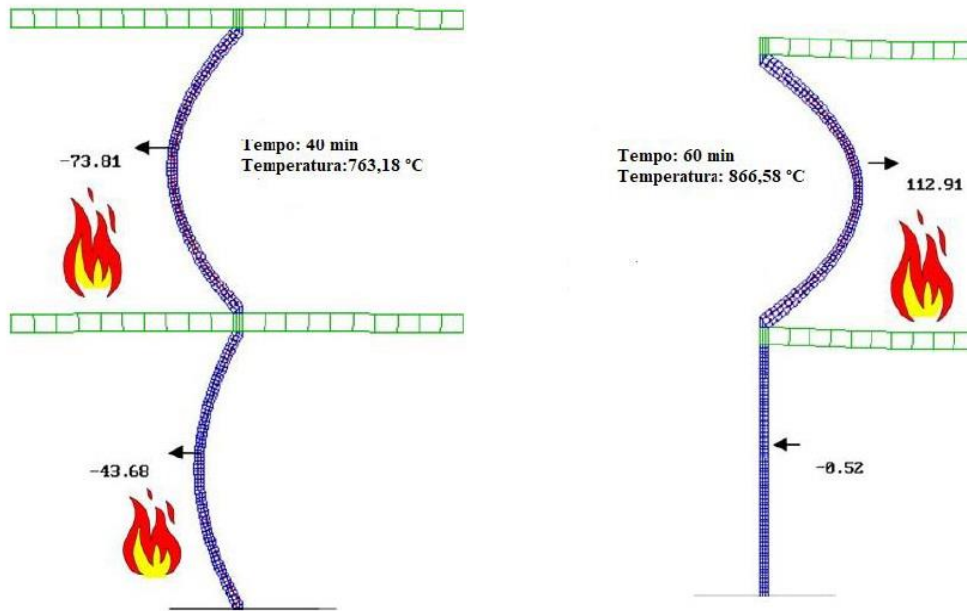
**Anexo 10: Resultados dos ensaios**

(Fonte: LOPES 2017)



**Anexo 11: Subpartes da estrutura considerada para avaliação numérica de Nadjai et al. (2006)**

Fonte: NETO (2020)



**Anexo 12:** Deformação das paredes com incêndio em cenários distintos na avaliação numérica de Nadjai et al. (2006)  
 Fonte: NETO (2020)