

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Jaidson Franz

**ANÁLISE NUMÉRICA COMPUTACIONAL DO ENSAIO DE AVALIAÇÃO
DA ZONA DE FIXAÇÃO SUPERIOR DE ALVENARIAS**

Porto Alegre

Maio de 2022

J Aidson Franz

**ANÁLISE NUMÉRICA COMPUTACIONAL DO ENSAIO DE AVALIAÇÃO
DA ZONA DE FIXAÇÃO SUPERIOR DE ALVENARIAS**

Trabalho de apresentação à Comissão de Graduação da Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

**Orientadores: Angela Borges Masuero
João Ricardo Masuero**

Porto Alegre

Maio de 2022

Análise numérica computacional do ensaio de avaliação da zona de fixação superior de alvenarias

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelos Professores Orientadores e pela Comissão de Graduação (COMGRAD) de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, Maio de 2022

Profa. Angela Borges Masuero

Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientadora

Prof. João Ricardo Masuero

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Profa. Angela Borges Masuero

(UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aline Zini (UFRGS)

MSc. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. João Ricardo Masuero

(UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Marcus Daniel F. dos Santos

(UFRGS)
MSc. pela Universidade Federal de Santa Maria

RESUMO

No atual cenário da construção civil, há uma grande preocupação frente às manifestações na zona de fixação superior. Isso ocorre devido à necessidade de que as obras sejam realizadas de forma cada vez mais aceleradas e muitas vezes seja desprezada a necessidade de aguardar a deformação lenta da estrutura para que se iniciem os painéis de alvenaria. Frente a isso, essas manifestações se ampliam, e patologias como ocorrência de fissuras nas paredes, rompimento dos blocos de vedação e deslocamento de argamassa acabam se tornando cada vez mais frequentes. Essa preocupação traz consigo a necessidade de que sejam realizados mais estudos nessa área em questão. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo realizar uma análise numérica computacional de ensaios de avaliação dessa zona que foram realizados em laboratório. Para isso, utilizou-se como ferramenta um software que permite fazer uma avaliação dos ensaios utilizando o método dos elementos finitos através de simulações. Para realizar essas simulações, foram desenhadas as diferentes geometrias e dispostas as diferentes propriedades nos materiais de forma a fidelizar o que foi ensaiado em laboratório e propor novos ensaios. Com os resultados obtidos, foi possível realizar uma análise comparativa entre as diferentes geometrias utilizadas e as diferentes propriedades. Além disso, foi possível concluir que as simulações, mesmo dentro das limitações do estudo, em alguns casos evidenciam a região de possível manifestação dos ensaios através de uma análise comparativa.

ABSTRACT

In the current civil construction industry, there is great concern about manifestations in the upper anchorage zone. This occurs due to the need for construction work to be carried out in an increasingly accelerated manner and often the need to wait for the slow deformation of the structure before starting the masonry panels is disregarded. Faced with this, these manifestations increase, and pathologies such as cracks in the walls, breakage of sealing blocks, and mortar peeling end up becoming more and more frequent. This concern brings with it the need for more studies to be carried out in this field. In view of this, the present work aims to perform a computational numerical analysis of evaluation tests of this zone that were carried out in the laboratory. For this, a software tool was used that allows an evaluation of the tests using the finite element method through simulations. To perform these simulations, the different geometries were designed and the different material properties were arranged in order to make what was tested in the laboratory reliable and to propose new tests. With the results obtained, it was possible to perform a comparative analysis between the different geometries used and the different properties. Furthermore, it was possible to conclude that the simulations, even within the limitations of the study, in some cases highlight the region of possible manifestation of the tests through a comparative analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Identificação dos componentes formados pelo prisma. Fonte: autor.....	6
Figura 2– Vistas do prisma a ser ensaiado. Fonte: Zini (2021).	9
Figura 3 – Fluxograma de análise via método dos elementos finitos. Fonte: O autor.	10
Figura 4 – Planos de simetria do prisma. (a) Longitudinal (eixo x); (b) transversal (eixo z). Fonte: autor.	12
Figura 5 - Geometria básica do modelo. Fonte: autor.	12
Figura 6 – (a) Composição da malha; (b) ligação dos nós . Fonte: O autor.....	14
Figura 7 – Fluxograma de combinação de simulações iniciais. Fonte: O autor.....	15
Figura 8 - Fluxograma de combinação de simulações adicionais. Fonte: autor.....	15
Figura 9 – Face central apresentada na análise de resultados. Fonte: autor.....	16
Figura 10 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm; (b) 2 cm. Fonte: O autor.....	18
Figura 11 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm; (b) 2 cm. Fonte: autor.	18
Figura 12 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm.....	19
Figura 13 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	20
Figura 14 – Rompimento de bloco cerâmico. Fonte: Zini (2021).....	20
Figura 15 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	22
Figura 16 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	22
Figura 17 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	23
Figura 18 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	23
Figura 19 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	25
Figura 20 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	25
Figura 21 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm.....	26
Figura 22 -Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	26
Figura 23 – Ruptura do maciço de concreto. Fonte: Zini (2021)	27
Figura 24 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	28
Figura 25 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	29
Figura 26 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm.....	29
Figura 27 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	30
Figura 28 – Descolamento da argamassa de revestimento. Fonte: Zini (2021).....	31
Figura 29 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	32
Figura 30 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	32
Figura 31 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm.....	33
Figura 32 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a)1 cm e (b)2 cm. Fonte:autor. 33	
Figura 33 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	34
Figura 34 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	35
Figura 35 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	35
Figura 36 - Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	36
Figura 37 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	37
Figura 38 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	38
Figura 39 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	38
Figura 40 Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	39
Figura 41 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	40
Figura 42 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	40
Figura 43 Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm.....	41
Figura 44 Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	41
Figura 45 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	42

Figura 46 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm	43
Figura 47 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	43
Figura 48 Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm	44
Figura 49 Distribuição de tensões de tração verticais variando a rigidez da argamassa de revestimento (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor.....	45
Figura 50 Distribuição de tensões verticais na base do bloco (a) FA-RA, (b) FA-RI, (c) FA-RB. Fonte: autor.....	46
Figura 51 Distribuição de tensões verticais variando a rigidez da argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor	46
Figura 52 Distribuição de tensões de tração horizontais variando a espessura de fixação (a) FA-RA 1cm e (b) FA-RA 2cm. Fonte: autor.....	47
Figura 53 Pontos de tensão de tração horizontais máximos nos revestimento (a) FA-RA e (b) FA-RB. Fonte: autor...	48
Figura 54 Distribuição de compressões verticais variando a rigidez da argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor	49
Figura 55 Tensão na região de base do revestimento externo. Fonte: autor.....	49
Figura 56 Compressão horizontal na argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA, (c) FB-RA. Fonte: autor	51
Figura 57 Distribuição de compressões horizontais variando a rigidez da argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor	51
Figura 58 Tensões verticais de tração para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor.....	52
Figura 59 Comparação de aumento de tensões para (a) bloco de fixação (b) bloco de 9 furos. Fonte: autor	53
Figura 60 Comparação da parte superior do bloco cerâmico (a) Bloco de fixação (b) bloco de 9 furos. Fonte: autor...	53
Figura 61 Tensões horizontais de tração para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor.....	54
Figura 62 Comparação de tensões na parte superior do bloco (a) bloco de fixação (b) bloco de 9 furos. Fonte: autor	54
Figura 63 Tensões verticais de compressão para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB.....	55
Figura 64 Aumento de tensões verticais (a) bloco de fixação comum (b) bloco de 9 furos. Fonte: autor.	55
Figura 65 Tensões horizontais de compressão para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor.....	56
Figura 66 Comparação de compressão horizontal (a) bloco de fixação (b) bloco de 9 furos	56
Figura 67 - Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.	57
Figura 68 Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.	58
Figura 69 Tensões verticais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.....	59
Figura 70 - Tensões horizontais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor	59
Figura 71 Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.	60
Figura 72 Tensões horizontais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.....	61
Figura 73 Tensões verticais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: O autor.	61
Figura 74 Tensões horizontais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor	62
Figura 75 Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: O autor.....	63
Figura 76 Tensões horizontais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor	64
Figura 77 Tensões de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: O autor	64
Figura 78 Tensões horizontais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor	65
Figura 79 Tensões horizontais de compressão (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB Fonte: autor.....	66
Figura 80 Tensões horizontais de tração (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor.....	66
Figura 81 Tensões verticais de compressão (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor	67
Figura 82 Tensões horizontais de compressão (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
1.1 Objetivos	7
1.2 Limitações e Delimitações do trabalho	7
2 ENSAIO EXPERIMENTAL	9
3 METODOLOGIA	10
3.1 Análise numérica via método dos elementos finitos	10
3.2 Geometrias	11
3.3 Propriedades dos materiais	12
3.3.1 Comportamento Tensão-Deformação	13
3.4 Malha	14
3.5 Prismas analisados	15
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	16
4.1 Simulações iniciais	17
4.1.1 Combinação Argamassa de fixação e revestimento de alto módulo (FA-RA):	17
4.1.2 Combinação Argamassa de fixação de alto módulo e argamassa de revestimento de módulo intermediário (FA-RI)	21
4.1.3 Combinação Argamassa de fixação de alto módulo e argamassa de revestimento de módulo baixo (FA-RB)	24
4.1.4 Combinação Argamassa de fixação de módulo intermediário e argamassa de revestimento de alto módulo (FI-RA)	28
4.1.5 Combinação Argamassa de fixação módulo intermediário e argamassa de revestimento de módulo intermediário (FI-RI)	31
4.1.7 Combinação Argamassa de fixação de baixo módulo e argamassa de revestimento de alto módulo (FB-RA)	37
4.1.8 Combinação Argamassa de fixação de baixo módulo e argamassa de revestimento de módulo intermediário (FB-RI) :	40

4.1.9 Combinação Argamassa de fixação de baixo módulo e argamassa de revestimento de baixo módulo (FB-RB):	42
4.2 Análise resumo das combinações entre argamassas de fixação de alto, intermediário e baixo módulo (FA-FI-FB) e argamassas de revestimento de alto, intermediário e baixo módulo (RA-RI-RB)	45
4.2.1 Tensões de tração verticais (S22)	45
4.2.2 Tensões de tração horizontais (S11)	47
4.2.3 Tensões de compressão verticais (S22)	49
4.2.4 Tensões de compressão horizontais (S11)	50
4.3 Combinação FB-RA, FB-RI, FB-RB para tijolo de 9 furos:	52
4.4 Combinação para 1 e 3 cm de revestimento:	57
4.4.1 FB-RA	57
4.4.2 FB-RI	60
4.4.3 FB-RB	63
4.5 Combinação FB-RA, FB-RI, FB-RB para zona de fixação superior totalmente preenchida:	65
5 CONCLUSÕES	69
6 REFERÊNCIAS	70

1 INTRODUÇÃO

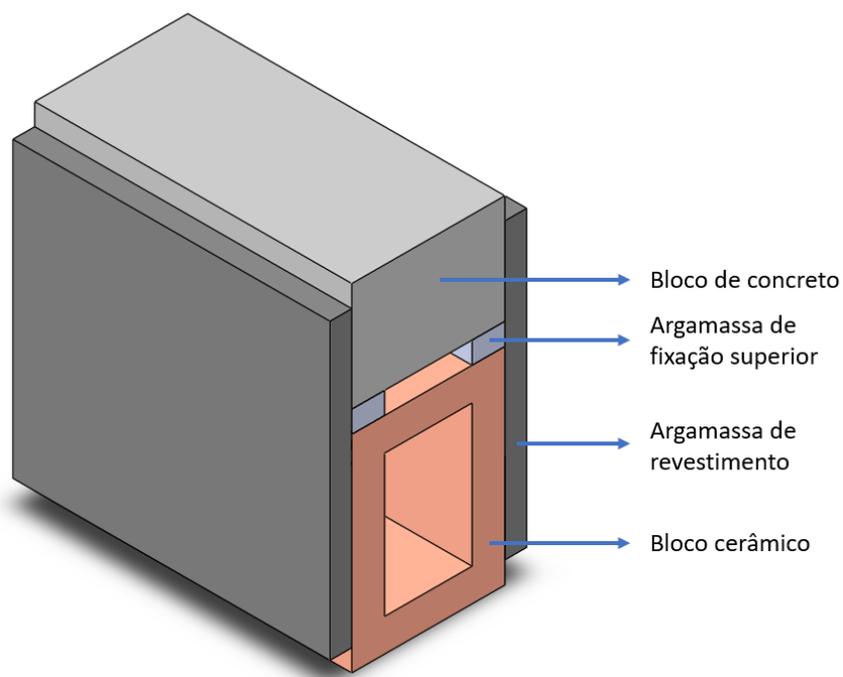
Atualmente existe grande preocupação com as frequentes manifestações patológicas que ocorrem na zona de fixação superior, aqui caracterizada também como encunhamento. A zona de fixação superior refere-se ao espaço de transição entre a última fiada da alvenaria de vedação e a estrutura, normalmente preenchido com argamassa ou material flexível (ZINI, 2021). As manifestações patológicas no encunhamento permitem a infiltração de água e a entrada de agentes agressivos na edificação. Segundo Henz (2009), as manifestações oriundas dessa zona são as que têm maior grau de dificuldade na hora da execução de reparos.

Nos moldes da construção civil atual, existe grande exigência das construtoras para que se façam as obras cada vez mais rápidas, mitigando gastos com obras muito longas e agregando capital de forma mais rápida. Diante disso, os ciclos de concretagem, que formam a parte estrutural, tornam-se cada vez menores, o que acaba exigindo que os demais componentes da estrutura se iniciem o mais breve possível também. O ritmo acelerado não permite que a estrutura tenha uma parcela considerável da sua deformação lenta acontecendo antes de a alvenaria ser vinculada a ela, levando à imposição de deformações aos painéis de alvenaria e, conseqüentemente, tensões não previstas em um elemento de vedação. Segundo Daldon (2008), essa velocidade de execução exigida acaba sendo um aspecto desfavorável e propicia o surgimento das manifestações na zona de fixação superior. Além disso, segundo Henz (2009), outros fatores também podem estar associados ao surgimento dessas manifestações patológicas, como mão de obra não qualificada, ausência no critério na especificação das argamassas e até mesmo escolha de materiais que não sejam compatíveis.

A partir do problema acima, foi realizada uma pesquisa por meio do laboratório LAMTAC/NORIE da UFRGS, visando, por uma análise experimental com diferentes prismas, estudar o comportamento da região de fixação superior. O sistema (Figura 1), aqui denominado prisma, é constituído de um maciço de concreto, argamassa de fixação superior, bloco cerâmico de alvenaria e revestimento de argamassa, o qual é submetido a patamares crescentes de deslocamento impostos, simulando o deslocamento da estrutura em relação ao painel de alvenaria na zona de fixação

superior, gerando compressão. A cada patamar imposto, são registradas as manifestações patológicas existentes nos diversos componentes do sistema. Além disso, o estudo propõe diferentes configurações, variando os componentes e a espessura da argamassa de fixação superior. As argamassas diferem entre si pelo módulo de deformação, assim o estudo pôde analisar o comportamento do material com diferentes rigidezes e espessuras de argamassas de fixação superior (encunhamento).

Figura 1: Identificação dos componentes formados pelo prisma. Fonte: autor.



Diante disso, o presente trabalho faz uma análise numérica computacional de prismas com as mesmas combinações de materiais empregados na análise experimental. Tal análise permite auxiliar na validação dos ensaios realizados em laboratório, fornecer subsídios que permitam entender a influência das diferentes rigidezes dos diversos materiais no comportamento do conjunto e até mesmo propor futuras geometrias a serem ensaiadas.

1.1 Objetivos

Os objetivos deste trabalho são:

- a) Definir uma configuração de prisma, através do método de elementos finitos, determinando uma correta interação entre os diferentes componentes do prisma, definindo condições de contorno adequadas ao sistema e uma configuração de malha que seja compatível ao problema abordado;
- b) Analisar numericamente o comportamento dos prismas utilizados nos ensaios experimentais fornecendo elementos de comparação qualitativos entre a simulação computacional e os resultados experimentais;
- c) Analisar as diferenças de comportamento das simulações entre as diversas combinações de materiais utilizados, identificando a influência de cada um dos 3 fatores contemplados – rigidez e espessura da argamassa de fixação e rigidez da argamassa de revestimento;
- d) Analisar diferentes configurações de geometria do prisma de forma a propor possíveis alternativas para o programa experimental para realização de trabalhos futuros.

1.2 Limitações e Delimitações do trabalho

O presente trabalho foi desenvolvido com as seguintes limitações e delimitações:

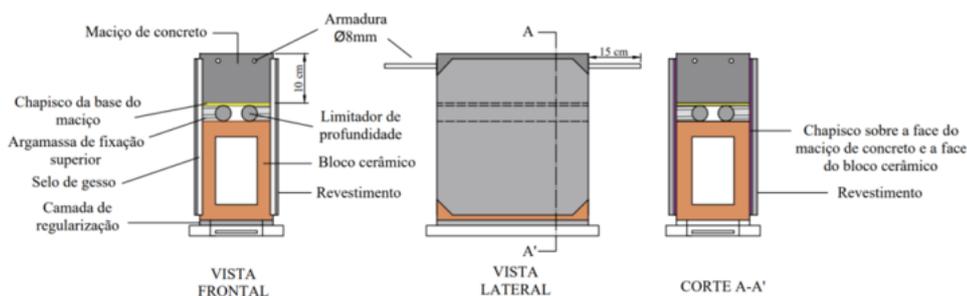
- a) A análise realizada foi feita no regime elástico linear para todos os materiais envolvidos;
- b) Apenas um patamar de deslocamento imposto foi simulado, uma vez que o regime elástico linear faz com que a resposta em tensões para qualquer outro patamar seja linearmente proporcional ao valor do deslocamento imposto;

- c) Apenas a influência dos módulos de deformação dos diferentes componentes foram considerados na análise. As resistências (à tração, à compressão, ao cisalhamento, de aderência) não foram consideradas, uma vez que muitos dos materiais analisados têm forte comportamento não linear e as tensões obtidas em uma análise linear não são representativas para a identificação de rupturas;
- d) O modelo gerado considera acoplamento perfeito de deformações entre os diversos materiais.

2 ENSAIO EXPERIMENTAL

O ensaio realizado em laboratório é baseado na compressão de prismas (Figura 2) por meio da aplicação de diferentes patamares de deslocamentos através de uma prensa servo hidráulica.

Figura 2– Vistas do prisma a ser ensaiado. Fonte: Zini (2021).



Durante o ensaio, em cada patamar são registrados o deslocamento imposto e a carga de compressão correspondente, e é verificada a integridade do prisma, fazendo um levantamento da ocorrência de manifestações patológicas através de inspeção visual, e também, através da percussão do revestimento utilizando martelo com ponta de poliuretano.

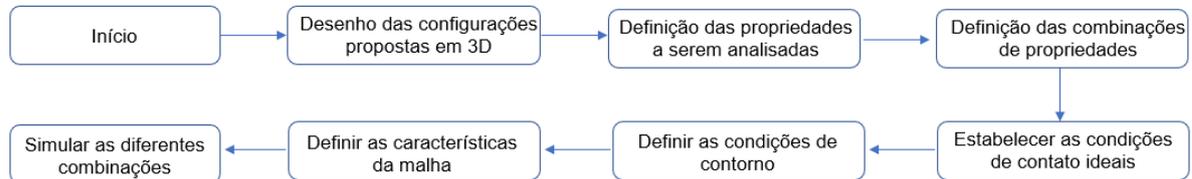
Os prismas têm uma base regularizada com argamassa de assentamento, e as medidas da argamassa de fixação superior são padronizadas sendo garantidas por um espaçador flexível central. Também é aplicada uma fina camada de gesso nas faces transversais a fim de auxiliar na visualização do aparecimento das manifestações patológicas, como descolamentos do revestimento e surgimento de fissuras.

No ensaio, o deslocamento vertical aplicado é padronizado em patamares de 0,2 mm, com a medição da carga de compressão correspondente. Não é feita a aplicação direta de carga, uma vez que, em situações reais, a estrutura é controlada por deformações máximas admissíveis, aplicando efetivamente um deslocamento imposto sobre os painéis de alvenaria. As tensões decorrentes disso são dependentes das rigidezes dos componentes do sistema, e a limitação do deslocamento máximo que o sistema consegue suportar depende não somente da resistência à compressão dos blocos cerâmicos e das argamassas de assentamento e de fixação superior, mas também do tipo e extensão das manifestações patológicas nos diversos componentes, incluindo os revestimentos.

3 METODOLOGIA

Para realização do trabalho, as simulações foram realizadas de acordo com o fluxograma exibido na Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma de análise via método dos elementos finitos. Fonte: O autor.



A fim de tentar estabelecer uma conexão entre os ensaios realizados em laboratório pelo grupo e a simulação via método dos elementos finitos, a definição das propriedades, as diferentes combinações de materiais e as geometrias foram feitas, em sua maioria, respeitando as configurações já ensaiadas em laboratório. As demais configurações não pertencentes ao programa experimental foram pensadas para serem ensaiadas posteriormente em laboratório.

3.1 Análise numérica via método dos elementos finitos

Segundo Azeredo (2021), a fundamentação principal do método de elementos finitos é de que qualquer quantidade contínua, como, por exemplo, temperatura, pressão ou deslocamentos, pode ser aproximada por um modelo discreto que é composto por um conjunto de funções contínuas definidas sobre um número finito de subdomínios.

Dessa forma, consegue-se dividir uma estrutura complexa em subestruturas, que são denominadas elementos. A partir disso, o desempenho da estrutura complexa é obtido pela soma do comportamento das partes menores (DORNELES, 2021).

A utilização de modelos numéricos possibilita a diminuição da necessidade de inúmeros ensaios em laboratórios e também serve como forma de validar cálculos analíticos e ensaios empíricos.

Existem diversos programas que utilizam o método de elementos finitos. Um desses softwares é o ABAQUS, que será utilizado no presente trabalho. O ABAQUS é utilizado em várias áreas da engenharia e sua utilização tem crescido ao longo dos anos, podendo ser observado em diversas publicações de trabalhos acadêmicos.

A versão utilizada do ABAQUS foi a 6.12 e, conforme a descrição abaixo extraída do manual (2022) do produto, foram utilizados o ABAQUS/CAE e o ABAQUS/VIEWER:

- a) ABAQUS/CAE: Fornece um ambiente completo com uma interface simples e consiste em criar e avaliar resultados de simulações. O Abaqus/CAE é dividido em módulos, onde cada módulo define um parâmetro lógico para o processo de modelagem, como por exemplo as propriedades do material ou a malha.

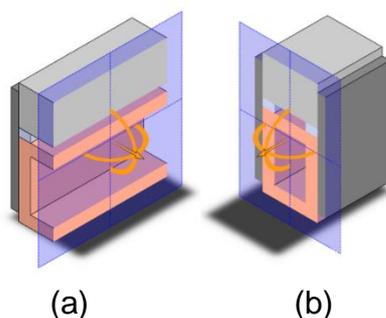
- b) ABAQUS/Viewer: É um subconjunto do ABAQUS/CAE que contém apenas recursos de pós-processamento do módulo visualization. Ele usa o banco de dados de saída (.odb) para obter resultados dos modelos em análise. Ele fornece a configuração da deformada, as distribuições de tensões, bem como animação dos resultados.

3.2 Geometrias

Ao longo do trabalho, foram analisadas diferentes geometrias, variando a espessura da argamassa de revestimento, a espessura da zona de fixação superior, o preenchimento dessa zona e até mesmo o bloco cerâmico utilizado. Essas diferentes geometrias foram ensaiadas com diferentes configurações de propriedades que serão apresentadas posteriormente.

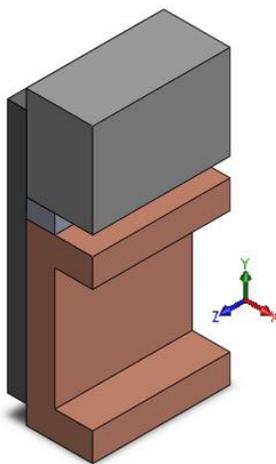
É muito importante ressaltar que o problema tem dois planos de simetria em relação à altura do bloco, conforme Figura 4.

Figura 4 – Planos de simetria do prisma. (a) Longitudinal (eixo x); (b) transversal (eixo z). Fonte: autor.



Considerando esses dois planos de simetria do prisma, pode-se reduzir o problema a $\frac{1}{4}$ de sua geometria original. Esse fator é de suma importância, pois diminui o tempo de simulação e, por consequência, mais resultados podem ser gerados em menor tempo. A geometria básica do modelo é apresentada na Figura 5.

Figura 5 - Geometria básica do modelo. Fonte: autor.



3.3 Propriedades dos materiais

Para a análise realizada, foram utilizados os seguintes valores da tabela 01 de propriedades dos materiais:

Tabela 01 – Módulos de Elasticidade utilizados no problema.

Componente do Prisma	Módulo Estático (MPa)	Coefficiente de Poisson
FA	12670	0,2
FI	4970	0,2
FB	3230	0,2
RA	7000	0,2
RI	5650	0,2
RB	3780	0,2
Maciço de Concreto	39756	0,2
Bloco Cerâmico	2130	0,2

O módulo de deformação estático deve seguir os procedimentos impostos pela NBR 8522 (ABNT, 2021). Zini (2021) observa em seus valores encontrados que os valores de módulo estático se mostram menores que os módulos dinâmicos. Segundo Mehta e Monteiro (2006) o módulo de elasticidade dinâmico são em média 20, 30 ou 40% maiores que o módulo estático, diante disso, a escolha dos valores através dos módulos estáticos geram uma visão mais real das simulações apresentadas.

Os valores utilizados foram fiéis ao valores apresentados na dissertação de Zini (2021) para que o trabalho preserve uma correta correlação entre os resultados obtidos.

3.3.1 Comportamento Tensão-Deformação

Como citado anteriormente, o trabalho tem como limitação simular o comportamento dos materiais no regime elástico linear e, conforme destaca Callister e Rethwisch (2013, p. 203), “o grau em que uma estrutura se deforma depende da magnitude da tensão imposta”. O processo em que as tensões e deformações são proporcionais é chamado de deformação elástica. Esse processo de deformação segue uma lei que é conhecida como lei de Hooke.

Ainda segundo Callister e Rethwisch (2013, p. 203), pode-se considerar o módulo de elasticidade como a rigidez do material à deformação elástica, ou seja, quanto maior o módulo de elasticidade, maior a tensão a ser aplicada no material para provocar uma dada deformação. Esse parâmetro vai diretamente ao encontro das

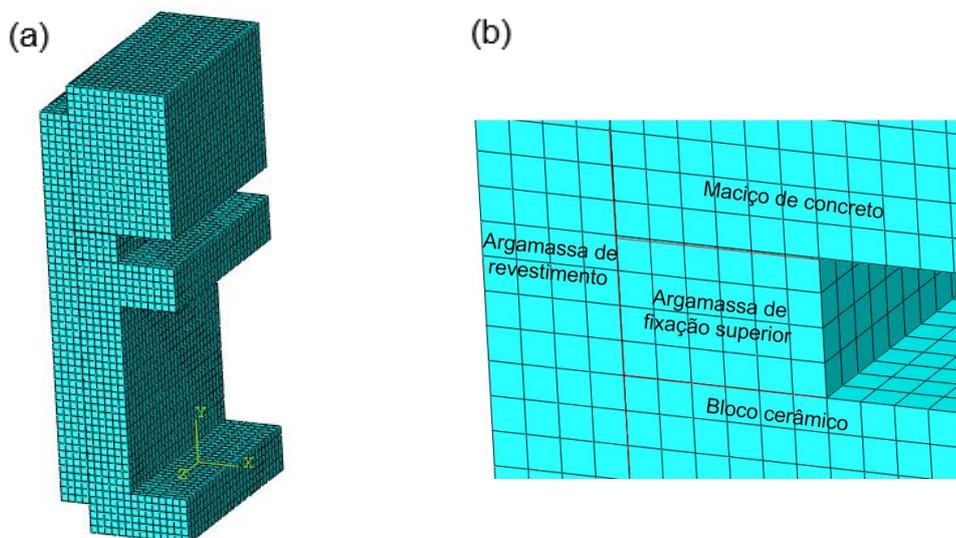
simulações realizadas, visto que o trabalho tem por limitação realizar todas as simulações na fase elástica.

3.4 Malha

Para a melhor disposição da malha, optou-se por elementos estruturados de forma hexaédrica com aproximadamente 5 mm de distância em cada face. Comparado a outros resultados com uma malha mais refinada, essa disposição não teve diferenças perceptíveis. Diante disso, optou-se por utilizar essa malha para reduzir a demanda por recursos computacionais, fazendo, assim, com que as simulações fossem feitas com mais agilidade, tornando possível, então, a inserção de um maior número de prismas a serem analisados dentro de um mesmo período de tempo.

Outro fato importante é que se deu como prioridade para a execução da malha a perfeita ligação do máximo número de nós possíveis (figura 6) de forma que os valores fossem representados da forma mais fiel possível. A malha gerada formou um total de 25404 elementos e um total de 31500 nós.

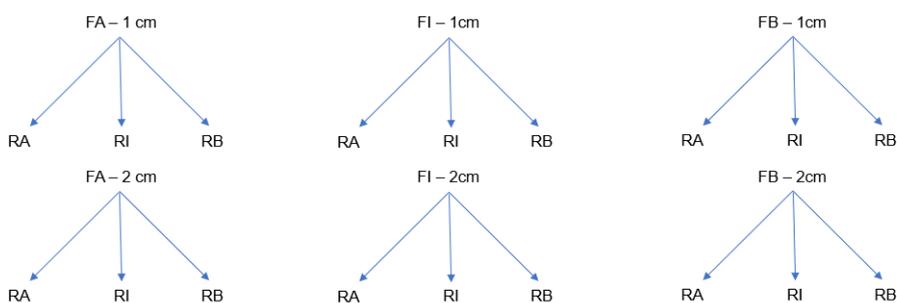
Figura 6 – (a) Composição da malha; (b) ligação dos nós . Fonte: O autor



3.5 Prismas analisados

Inicialmente foram realizadas as simulações seguindo o fluxograma apresentado na Figura 7, sendo realizadas 18 diferentes simulações combinando as diferentes argamassas da zona de fixação com as diferentes argamassas de revestimento e, para cada combinação de propriedades, duas simulações foram realizadas, variando a espessura da argamassa da zona de fixação. Essas simulações estão em concordância com as configurações contempladas no ensaio experimental.

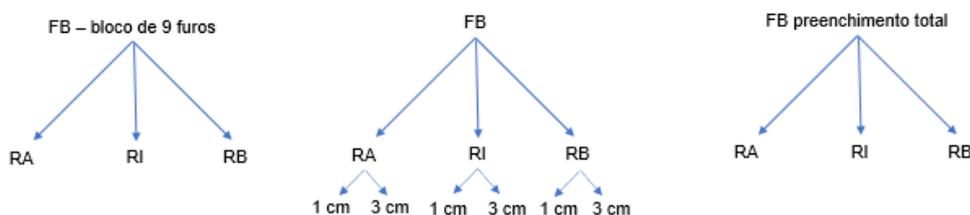
Figura 7 – Fluxograma de combinação de simulações iniciais. Fonte: O autor.



Sendo cada uma das argamassas com a seguinte propriedades: RA: Argamassa de revestimento de alto módulo; RI: Argamassa de revestimento de módulo intermediário; RB: Argamassa de revestimento de baixo módulo; FA: Argamassa de fixação superior de alto módulo; RI: Argamassa de fixação superior de módulo intermediário; RB: Argamassa de fixação superior de baixo módulo.

Após essa primeira fase de simulações, foram realizadas simulações variando as propriedades da argamassa de revestimento e fixando a argamassa de fixação com baixo módulo, conforme figura 8. Em uma das configurações é feita a alteração do bloco de fixação por um bloco de 9 furos comum, em outra configuração são testadas duas espessuras da argamassa de revestimento e por último são realizadas simulações preenchendo totalmente o vão entre o bloco cerâmico e o maciço de concreto. Para todas configurações foram utilizados a espessura de argamassa de fixação em 2 centímetros.

Figura 8 - Fluxograma de combinação de simulações adicionais. Fonte: autor.



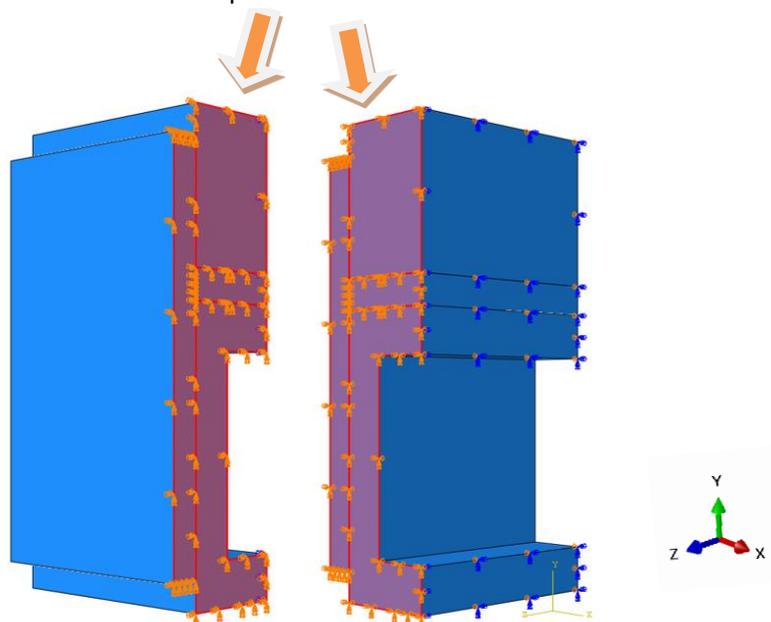
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para uma correta interpretação dos resultados, é importante ressaltar que, para realizar a simulação, foi imposto um deslocamento na face superior do maciço de concreto em direção ao prisma de 2 milímetros, de forma que os valores de tensões apresentados aqui refletem diretamente esse deslocamento.

Caso os materiais se comportassem no regime linear elástico até suas rupturas, as tensões máximas admissíveis poderiam ser utilizadas para determinar o deslocamento imposto máximo suportado pelo prisma, mas devido às limitações do trabalho, os valores de tensão servem apenas como comparação entre todas as diferentes configurações, sem nenhuma consideração sobre se os materiais são capazes de resistir aos níveis de tensão gerados. Os níveis de tensão obtidos não indicam que um dado material estará suportando tais tensões sem ruptura, apenas que as tensões obtidas são as que estariam atuando num dado ponto do material se ele estivesse no regime elástico linear, tendo resistência infinita.

Além disso, para um correto entendimento do problema, é importante ressaltar que as imagens estarão dispostas sempre conforme figura 9, respeitando o sistema de geometria adotado para todas as imagens.

Figura 9 – Face central apresentada na análise de resultados. Fonte: autor



A face hachurada sempre será a face central do prisma (plano de simetria), respeitando as medidas de simetria.

Além disso, para um entendimento completo do problema, a análise de cada prisma será dividida em 4 partes, sendo S11 que está indicado na legenda será positivo no caso de tensões normais de tração na direção horizontal (coordenada x), S11 será negativo para tensões normais de compressão na direção horizontal, S22 será positivo para tensões normais de tração na direção vertical (coordenada y) e S22 será negativo para tensões normais de compressão na direção vertical. A escala de deformação está ampliada em 5 vezes.

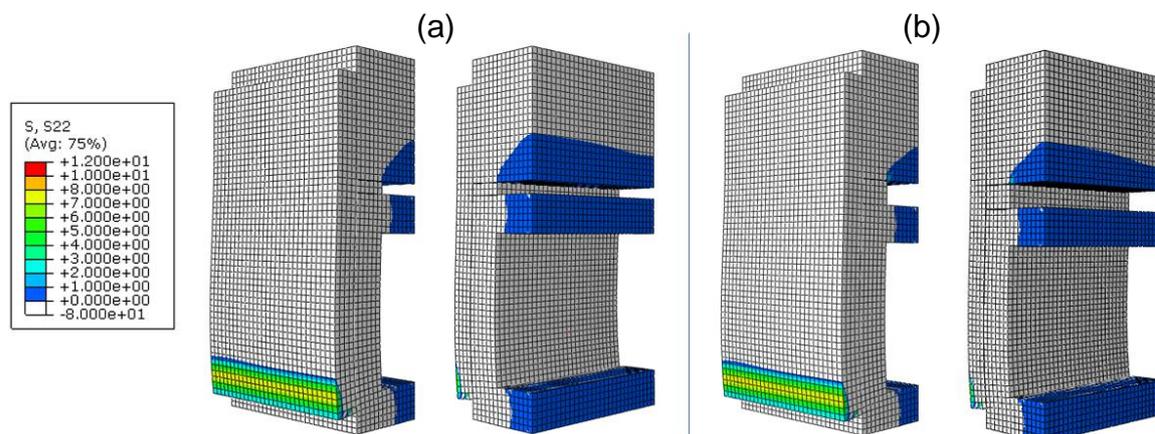
A escala de valores foi determinada a fim de abranger todos os valores de todas as combinações para uma melhor comparação entre as simulações. Para uma melhor visualização e identificação das tensões atuantes, cada tensão normal (S11 ou S22) é representada através de 2 imagens: na primeira, a totalidade das faixas da escala contemplas tensões de tração, com toda a região comprimida contida em apenas uma faixa de cor branca; na segunda, a totalidade das faixas representa as tensões de compressão, com toda a região tracionada contida em uma única faixa de cor branca.

4.1 Simulações iniciais

4.1.1 Combinação Argamassa de fixação e revestimento de alto módulo (FA-RA):

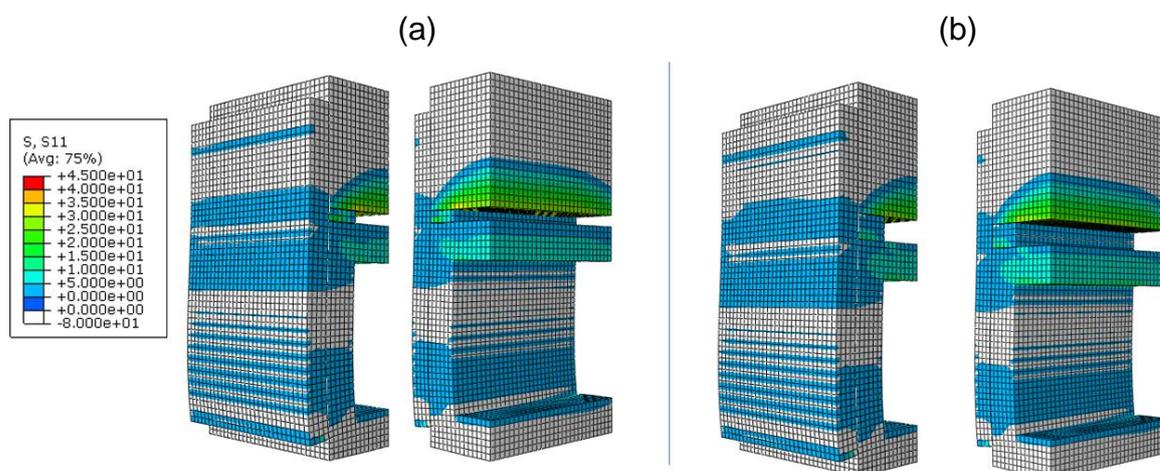
Como pode ser visto na figura 10, os resultados para a tensão normal vertical S22 apresentaram um valor máximo de tração de 8,13 MPa na região externa da argamassa de revestimento já próximo à face inferior. Não há significativa alteração dos valores de tração frente à variação de medida na zona de fixação superior.

Figura 10 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm; (b) 2 cm.
Fonte: O autor.



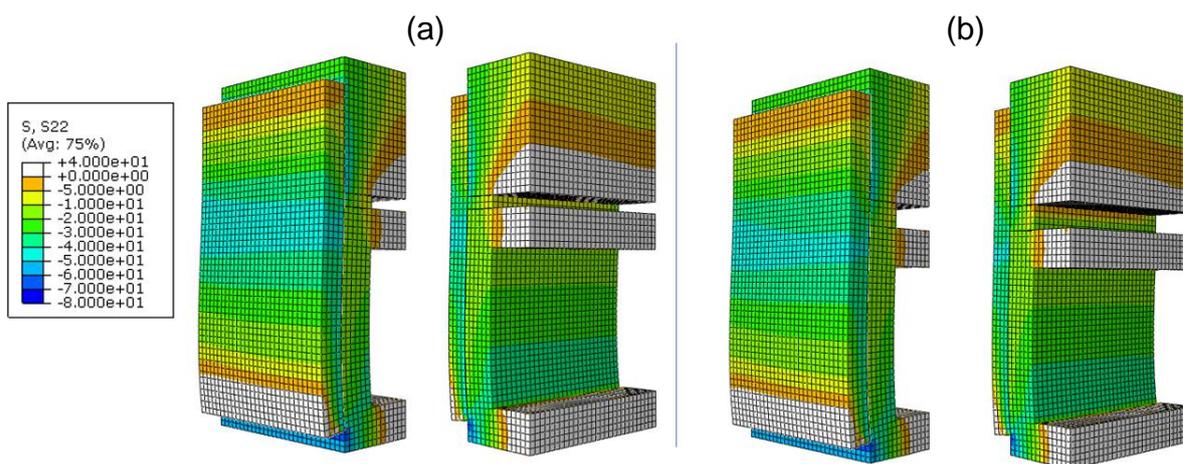
Os resultados para a tensão normal horizontal na direção transversal S11 (figura 11) apresentam um valor máximo de tração de 36,5 MPa na região inferior do maciço de concreto. Porém, observando a resistência do bloco de fixação, há valores de grande relevância na parede horizontal superior do bloco cerâmico, chegando a valores na faixa de 10 a 15 MPa. Além disso, nota-se um pequeno aumento das tensões de tração na parede horizontal superior do bloco cerâmico com o aumento da espessura da argamassa de fixação e uma pequena diminuição nas tensões de tração da argamassa de fixação.

Figura 11 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm; (b) 2 cm.
Fonte: autor.



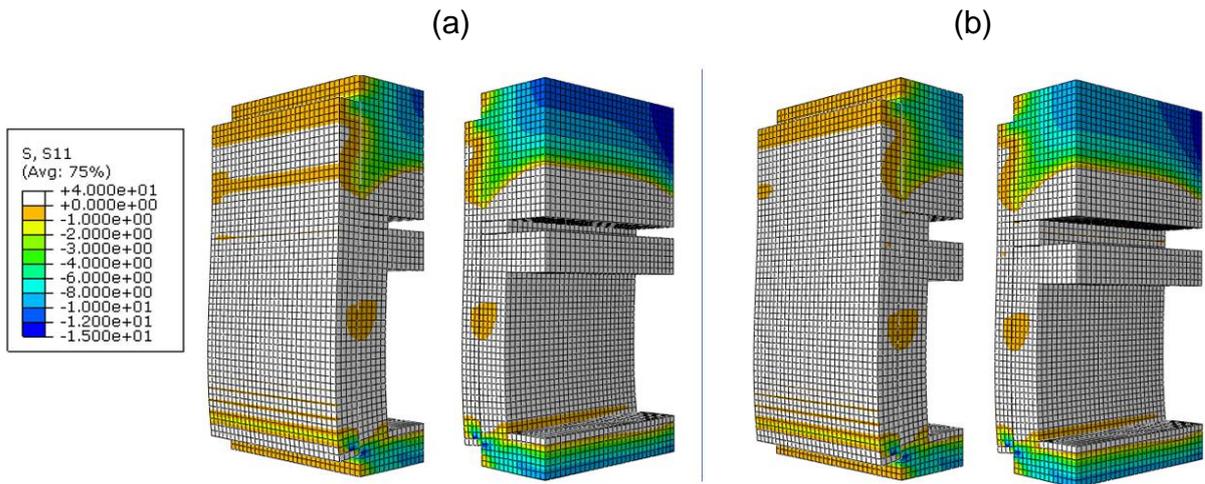
Observando os resultados para a tensão normal de S22 em compressão na figura 12, verifica-se que o valor máximo foi de 69,7 MPa no bloco cerâmico. Nos demais componentes também pode ser visto altos valores de compressão, chegando a 67,4 MPa no maciço de concreto, 52 MPa na argamassa de fixação superior e 49,3 MPa no revestimento externo. Não nota-se uma significativa alteração dos valores de tração frente à variação de espessura na zona de fixação superior.

Figura 12 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 em compressão (Figura 13) apresentaram um valor máximo de 13,99 MPa no maciço de concreto, os demais componentes do prisma de 2,97 MPa na argamassa de fixação superior, 13,7 MPa no revestimento externo e 13,16 MPa no bloco cerâmico. Não há significativa alteração na distribuição de tensões do prisma quando alterado a espessura da argamassa de fixação.

Figura 13 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Essa configuração de prisma evidencia a combinação mais rígida das simulações. Conforme mostra Zini (2021), nos ensaios realizados em laboratório com as mesmas configurações de prismas, o prisma com 2 cm de espessura na zona de fixação superior rompe inicialmente no bloco cerâmico em 50% dos ensaios realizados. Isso evidencia que os valores encontrados na tensão normal horizontal S11 em tração no bloco cerâmico condizem com os ensaios realizados em laboratório. Conforme a Figura 14, pode-se observar o rompimento do bloco cerâmico na região em que as simulações apresentam maiores valores de tração na direção horizontal.

Figura 14 – Rompimento de bloco cerâmico. Fonte: Zini (2021).



Zini (2021) evidencia através de seu trabalho que os patamares de deslocamento versus força são muito parecidos para 1 e 2 cm. Através da Tabela 2, observa-se as pequenas diferenças obtidas entre os maiores valores de tração horizontais e verticais encontrados através das simulações. Além disso, visto a baixa rigidez da argamassa de fixação superior, a mesma sofre esmagamentos e acaba por gerar tensões transversais ao revestimento, o que acaba gerando o colapso do prisma.

Tabela 2: Valores de tensão para FA-RA.

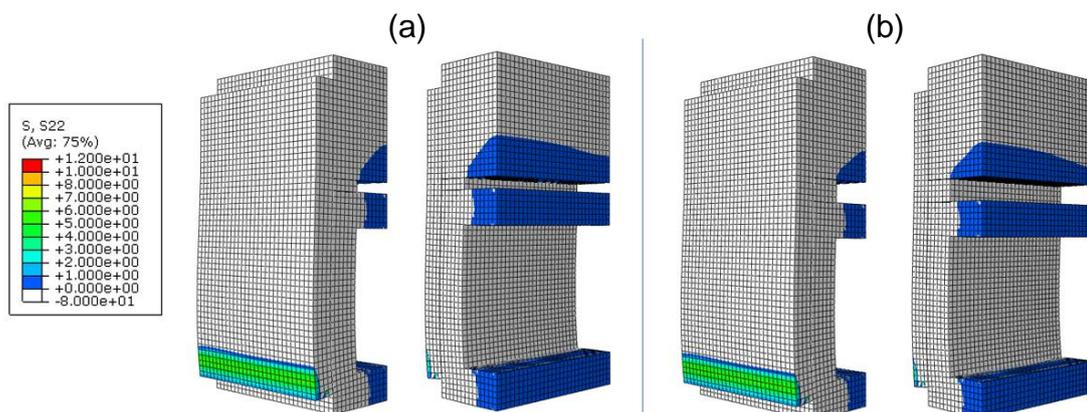
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	8,13	0	1,13	2,2
FA-RA - 2 cm	8,02	0	2,26	2,45
Maiores valores de tração S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	14,6	17,9	36,5	12,1
FA-RA - 2 cm	14,4	14,8	32,2	13
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	-49,3	-52	-67,4	-69,7
FA-RA - 2 cm	-48,8	-50,1	-64,3	-69
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	-13,7	-0,75	-13,99	-13,16
FA-RA - 2 cm	-13,63	-2,97	-12,91	-13

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.2 Combinação Argamassa de fixação de alto módulo e argamassa de revestimento de módulo intermediário (FA-RI)

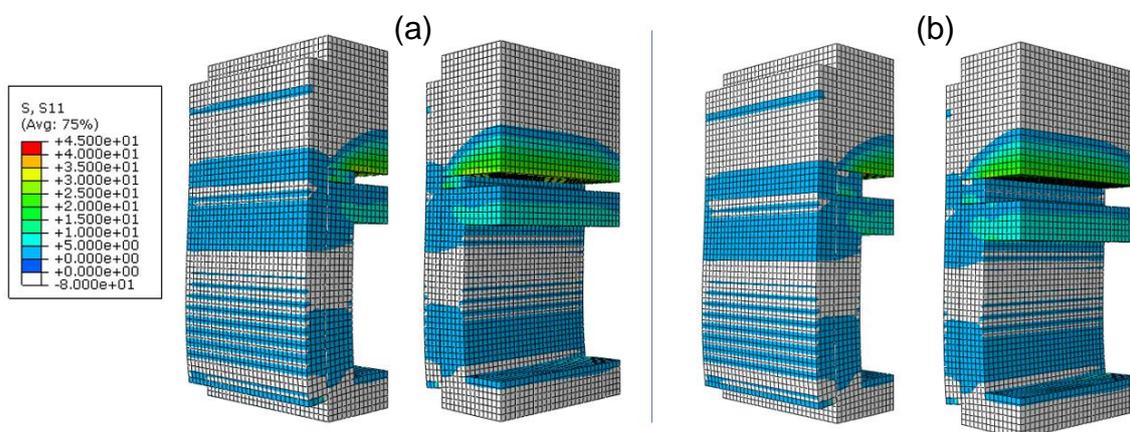
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (Figura 15) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 6 MPa. Não há significativa alteração dos valores de tração frente à variação de medida na zona de fixação superior.

Figura 15 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados da tensão normal horizontal S11 (Figura 16) apresentam um valor máximo de tração de 33,1 MPa na região inferior do maciço de concreto, na parte superior do bloco os valores chegam na faixa de 10 a 15 MPa. Novamente nota-se um pequeno aumento das tensões de tração na parede horizontal superior do bloco cerâmico e uma pequena diminuição nas tensões de tração da argamassa de fixação com a variação da espessura da argamassa de fixação.

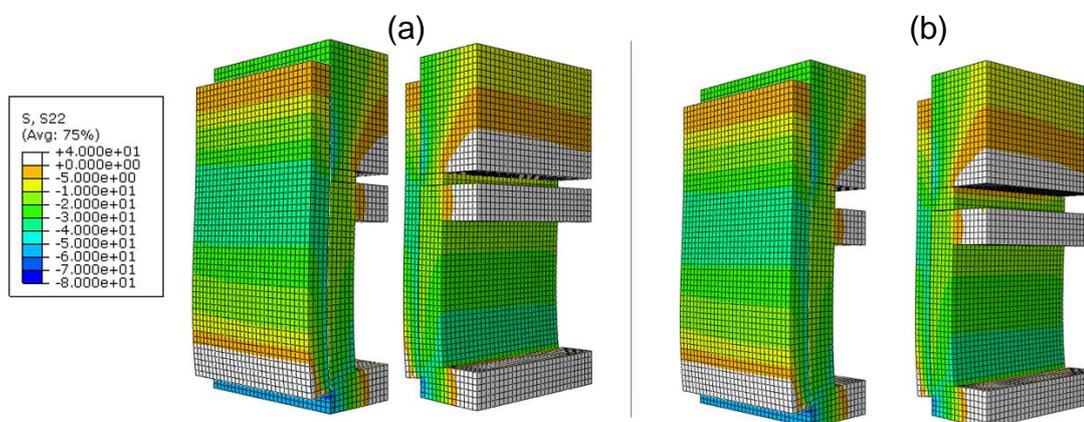
Figura 16 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Na figura 17 pode-se observar que os resultados para a tensão normal vertical S22 em compressão apresentaram um valor máximo de 67,1 MPa no maciço de concreto, porém os demais componentes do prisma também apresentaram valores

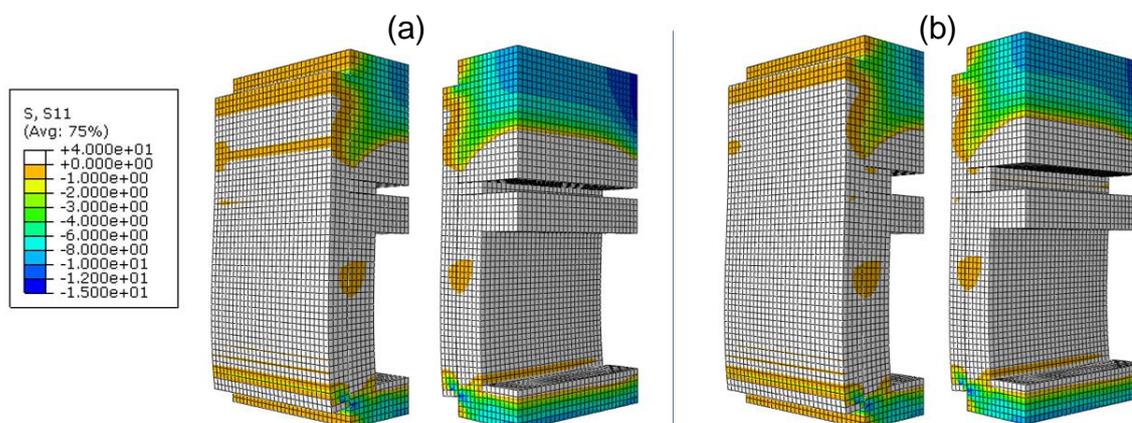
que variaram de 41,93 MPa no revestimento externo, 53,7MPa na argamassa de fixação superior e 64,45 MPa no bloco cerâmico. Não há significativa alteração dos valores de compressão frente à variação de medida na zona de fixação superior.

Figura 17 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 em compressão (Figura 18) apresentaram um valor máximo de 12,6 MPa no maciço de concreto. Os demais componentes variam de 11,9 MPa no revestimento externo, 3,59 MPa na argamassa de fixação superior e 12,5 Mpa no bloco cerâmico. Não há significativa alteração dos valores de compressão frente à variação de medida na zona de fixação superior.

Figura 18 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Essa configuração apresenta um valor alto de módulo de elasticidade para a argamassa de fixação superior e um valor intermediário para a argamassa de

Jaidson Franz. Porto Alegre: Curso de Engenharia Civil UFRGS, 2022.

revestimento. Os valores de tensões se mostram, em sua grande maioria, com uma pequena diminuição em relação a FA-RA.

Novamente, Zini (2021) afirma em seu trabalho que não há grande alteração na curva dos patamares de deslocamento versus força para 1 e 2 cm, o que condiz com os valores apresentados na simulação.

Tabela 3: Valores de tensão para FA-RI para as diferentes configurações.

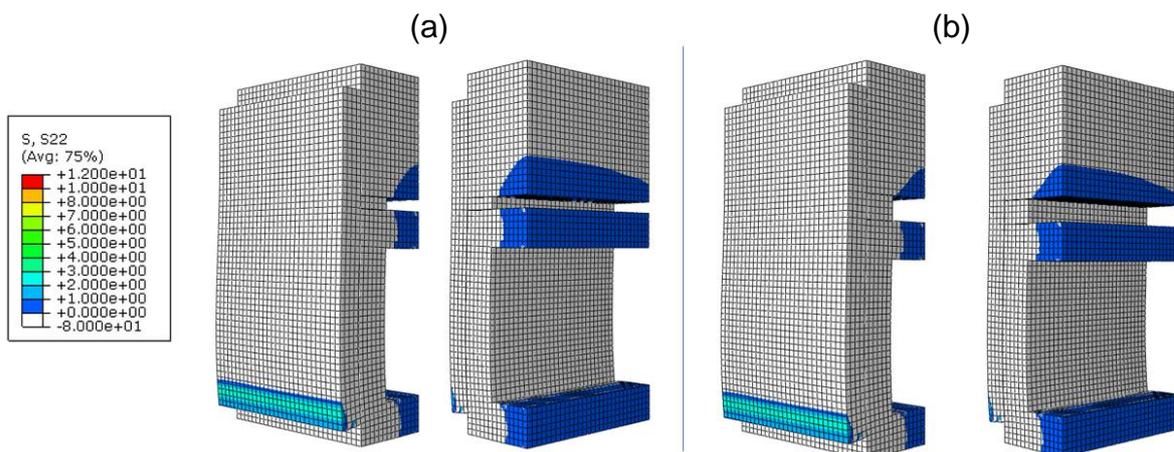
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RI - 1 cm	6	0	0,61	1,89
FA-RI - 2 cm	5,93	0	0,78	1,92
Maiores valores de tração S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RI - 1 cm	11,2	16,6	33,1	11,4
FA-RI - 2 cm	11,1	14,1	29,1	12,2
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RI - 1 cm	-41,93	-53,7	-67,1	-64,45
FA-RI - 2 cm	-41,22	-50,8	-63,3	-63,7
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RI - 1 cm	-11,9	-2,1	-12,6	-12,5
FA-RI - 2 cm	-11,8	-3,59	-11,6	-12,3

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.3 Combinação Argamassa de fixação de alto módulo e argamassa de revestimento de módulo baixo (FA-RB)

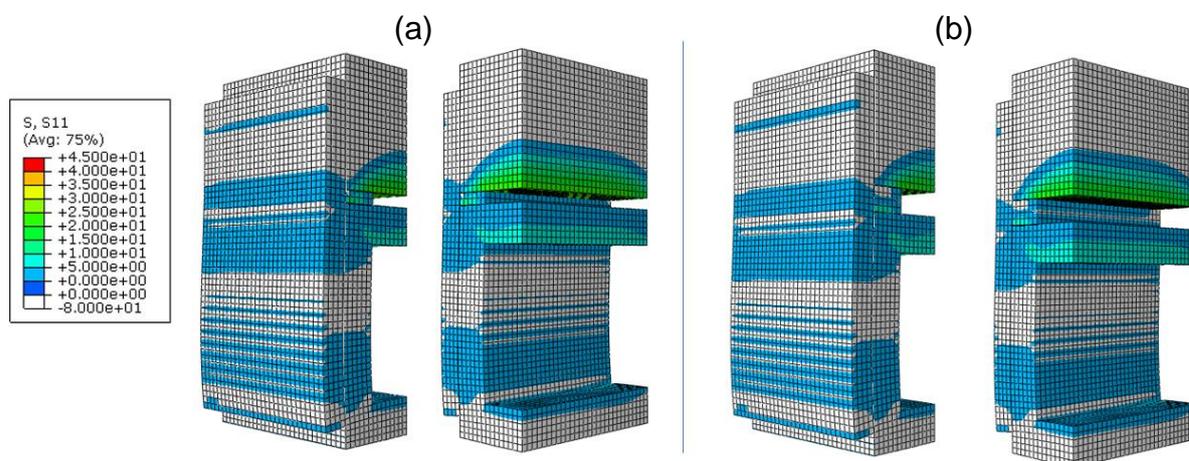
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 19) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 3,69 MPa. Não há significativa alteração dos valores de tração frente a variação de espessura da zona de fixação superior.

Figura 19 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Os resultados da tensão normal horizontal S11 (Figura 20) apresentam um valor máximo de tração de 27,28 MPa na região inferior do maciço de concreto. Na parte superior do bloco, os valores chegam na faixa de 10 a 15 MPa. Nesta configuração nota-se somente uma pequena diminuição nas tensões de tração da argamassa de fixação com a variação da espessura da argamassa de fixação.

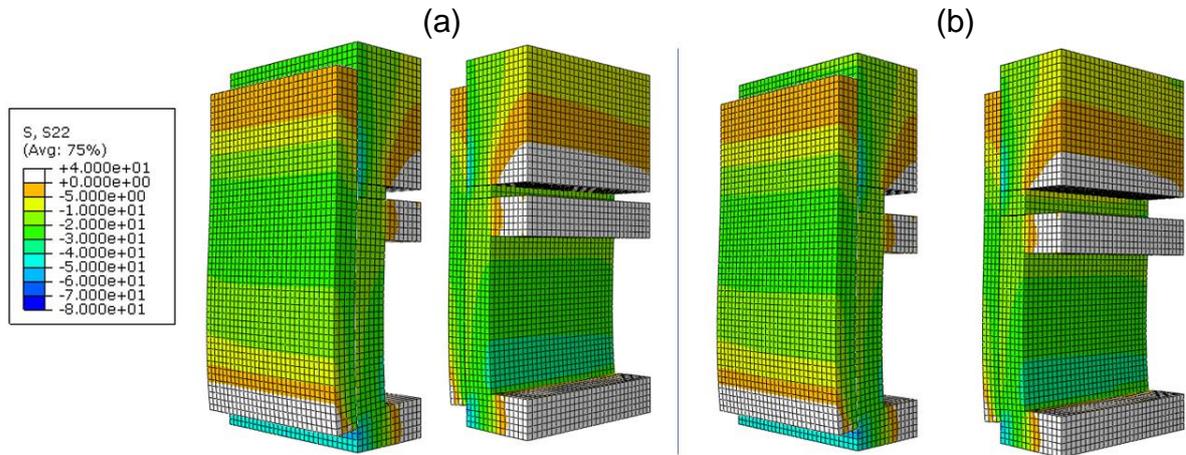
Figura 20 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 21) em compressão apresentaram um valor máximo de 64,3 MPa no maciço de concreto, porém os demais componentes do prisma variam com valores de 32,28 MPa no revestimento externo, 54,6 MPa na argamassa de fixação superior e 55,5 MPa no bloco cerâmico. Não há

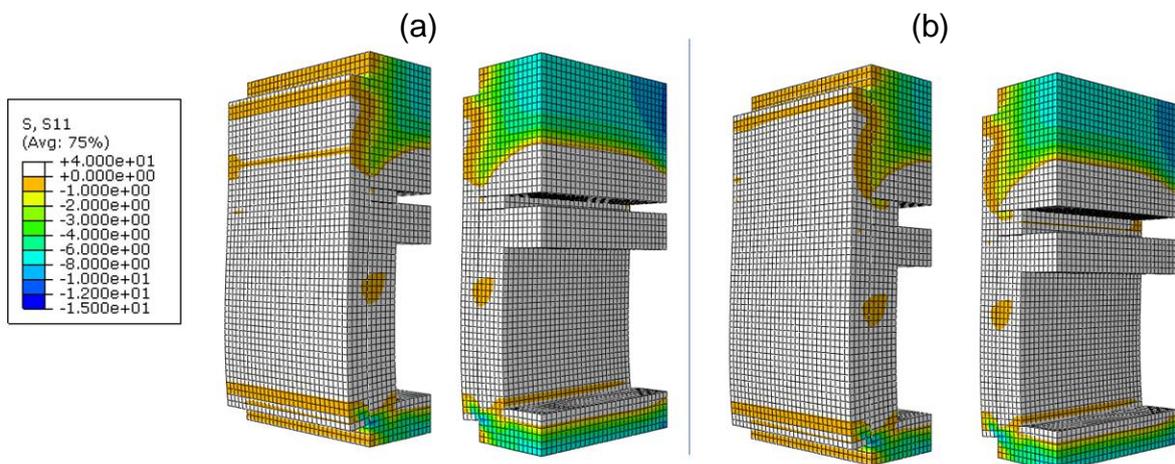
significativa alteração dos valores de compressão frente à variação de espessura da zona de fixação superior.

Figura 21 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (Figura 22) em compressão apresentaram um valor máximo de 10,8 MPa no bloco cerâmico. Os demais componentes do prisma variam de 8,95 MPa no revestimento externo, 4 MPa na argamassa de fixação superior e 10,4 MPa no maciço de concreto. Não há significativa alteração dos valores de tração frente a variação de medida na zona de fixação superior.

Figura 22 -Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor



O prisma estudado corresponde a uma simulação com a argamassa de fixação superior seguindo como sendo de alto módulo e a argamassa de revestimento sendo de baixo módulo, diminuindo, assim, sua rigidez. Zini (2021) afirma em seu trabalho que houve ruptura do maciço de concreto (figura 24) em 33% dos ensaios realizados com 2 cm de espessura na zona de fixação superior. Esse comportamento evidencia que os altos valores de tração horizontal nessa zona do prisma condizem com as manifestações apresentadas no ensaio experimental. Conforme a Figura 23, pode-se observar que no rompimento ocorrido é exatamente onde há maiores patamares de tração, as fissuras tendem a ser normais à direção das trações. Novamente não há significativa diferença entre as diferentes espessuras da zona de fixação superior.

Figura 23 – Ruptura do maciço de concreto. Fonte: Zini (2021)



Tabela 4: Valores de tensão para FA-RB.

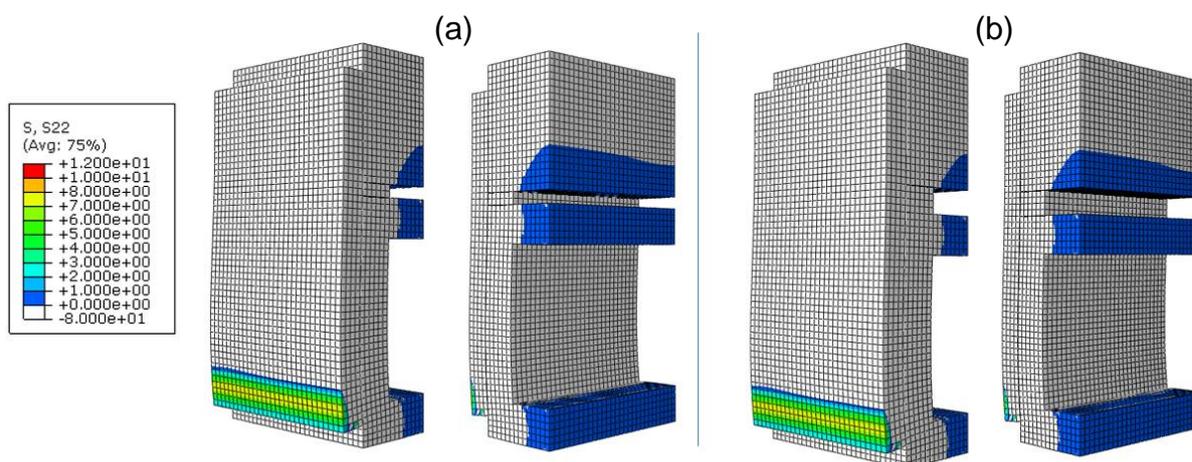
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RB - 1 cm	3,69	0	0,38	1,29
FA-RB - 2 cm	3,66	0	0,23	1,31
Maiores valores de tração S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RB - 1 cm	6,58	13,9	27,2	10
FA-RB - 2 cm	6,51	12,4	23,7	10,6
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RB - 1 cm	-32,28	-54,6	-64,3	-55,5
FA-RB - 2 cm	-30,5	-50,2	-59,7	-54,99
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RB - 1 cm	-8,95	-4	-10,4	-10,8
FA-RB - 2 cm	-8,8	-4,4	-8,8	-10,7

Fonte: elaborado pelo autor

4.1.4 Combinação Argamassa de fixação de módulo intermediário e argamassa de revestimento de alto módulo (FI-RA)

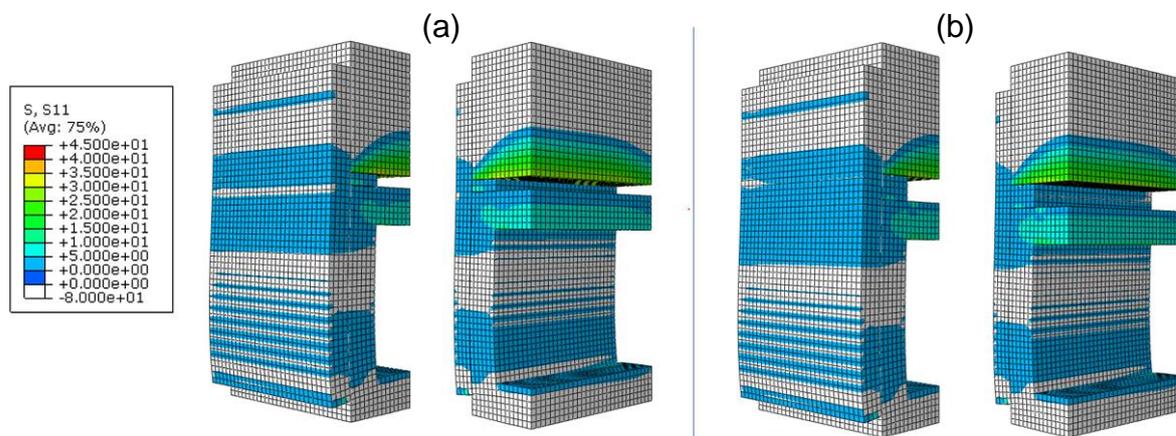
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 24) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 8,07 MPa. Não há significativa alteração dos valores de tração frente a variação de espessura da zona de fixação superior.

Figura 24 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor



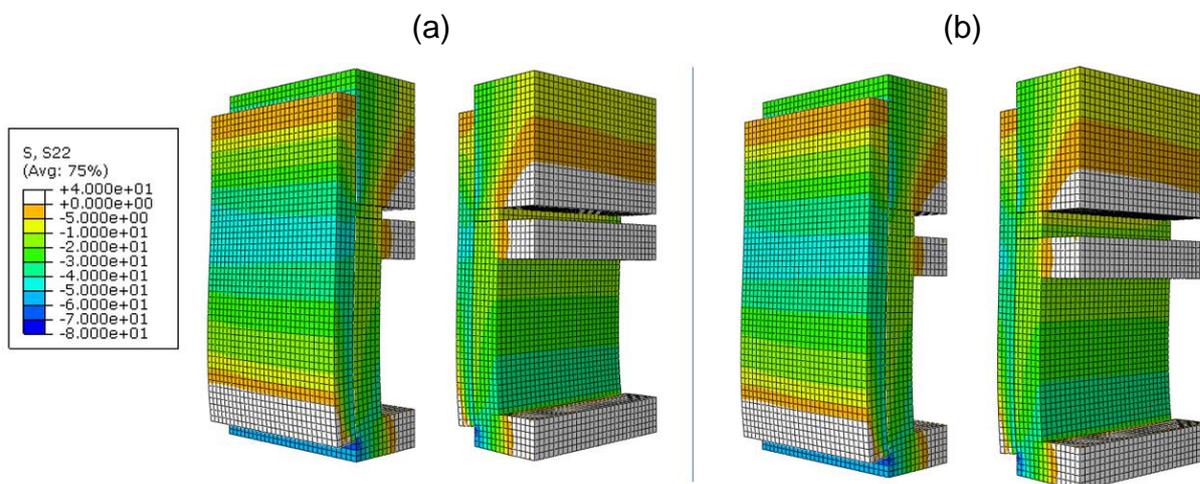
Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 25) apresentam um valor máximo de tração de 33,64 MPa na região inferior do maciço de concreto, na parte superior do bloco os valores chegam na faixa de 10 a 15 MPa. Como em S22, também não há grande influência da alteração da espessura da zona de fixação superior a não ser novamente por uma pequena diminuição das tensões na argamassa de fixação superior.

Figura 25 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados para a tensão normal vertical S_{22} (figura 26) em compressão apresentaram um valor máximo de 69,2 MPa no bloco cerâmico, porém os demais componentes do prisma também apresentaram valores que variaram entre 49 MPa no revestimento, 36,1 MPa na argamassa de fixação superior e 67,12 MPa no maciço de concreto. Não há significativa alteração dos valores de compressão frente a variação de espessura da zona de fixação superior.

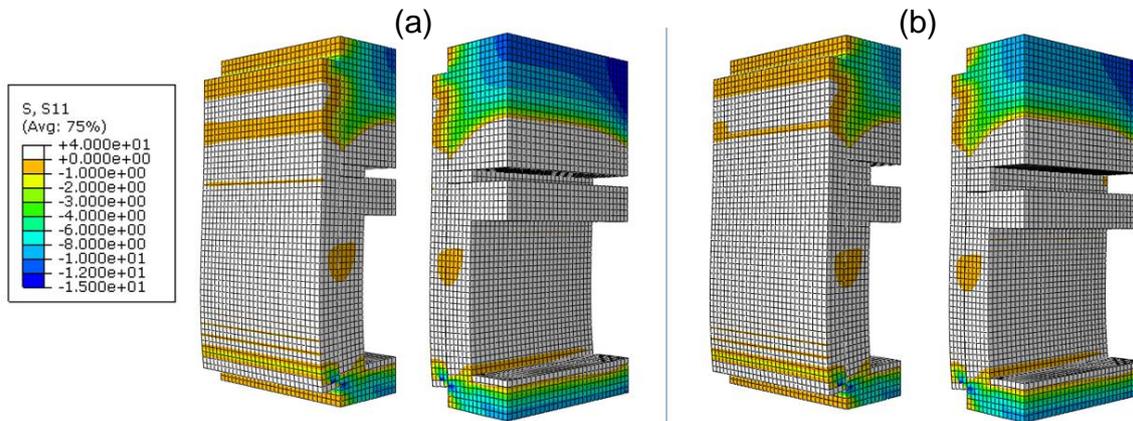
Figura 26 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados para a tensão normal horizontal S_{11} (figura 27) em compressão apresentaram um valor máximo de 13,97 MPa no maciço de concreto. Os demais

componentes do prisma variam de 13,69 MPa no revestimento externo, 1,69 MPa na argamassa de fixação superior e 13 MPa no bloco cerâmico. Novamente não se observa significativa alteração nos valores de tensões devido ao aumento da espessura de argamassa.

Figura 27 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



O prisma FI-RA propõe que o valor do módulo da argamassa de fixação superior seja intermediário, enquanto o valor do módulo de revestimento seja alto. Zini (2021) retrata em seu trabalho que 16% dos ensaios para zona de fixação com 2 cm, houve uma fissuração e posterior deslocamento da argamassa de revestimento. Apesar dos valores de compressão apresentarem os índices de compressão mais altos na parte inferior do revestimento, esta patologia pode estar associada aos altos valores de compressão encontrados na interface do maciço de concreto com o revestimento externo. A figura 28 mostra o descolamento se iniciando na parte interior e gerando o posterior deslocamento. Novamente, não há significativa diferença entre as diferentes espessuras da zona de fixação superior.

Figura 28 – Descolamento da argamassa de revestimento. Fonte: Zini (2021).

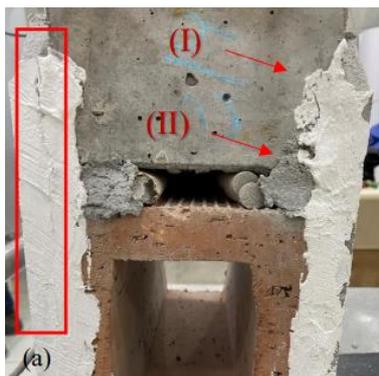


Tabela 05: Valores de tensão para FI-RA.

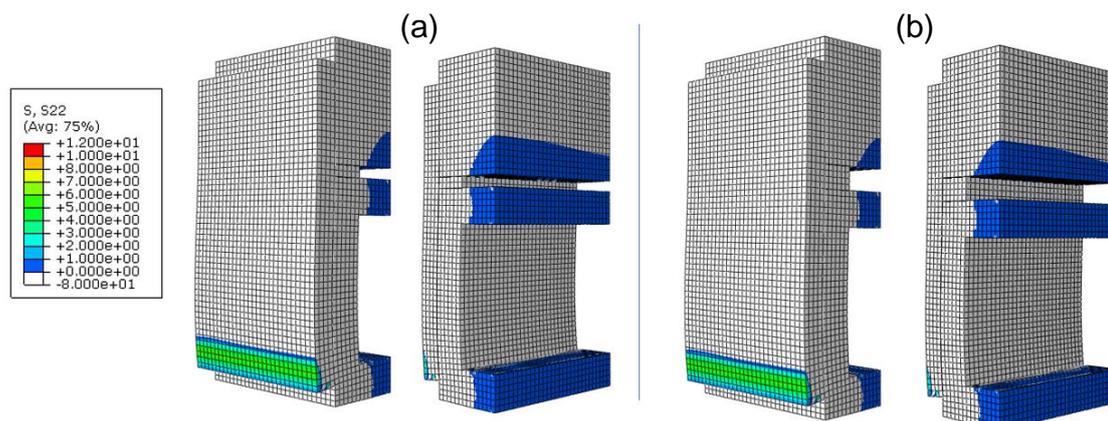
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RA - 1 cm	8,07	0	0,55	2,18
FI-RA - 2 cm	7,92	0	0,34	2,16
Maiores valores de tração S11 - Eixo (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RA - 1 cm	14,5	7,6	33,64	12,06
FI-RA - 2 cm	14,2	6,46	29,8	12,64
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RA - 1 cm	-49	-36,1	-67,12	-69,2
FI-RA - 2 cm	-48,2	-35,5	-64	-68,1
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RA - 1 cm	-13,69	-0,23	-13,97	-13
FI-RA - 2 cm	-13,46	-1,69	-12,96	-12,88

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.5 Combinação Argamassa de fixação módulo intermediário e argamassa de revestimento de módulo intermediário (FI-RI)

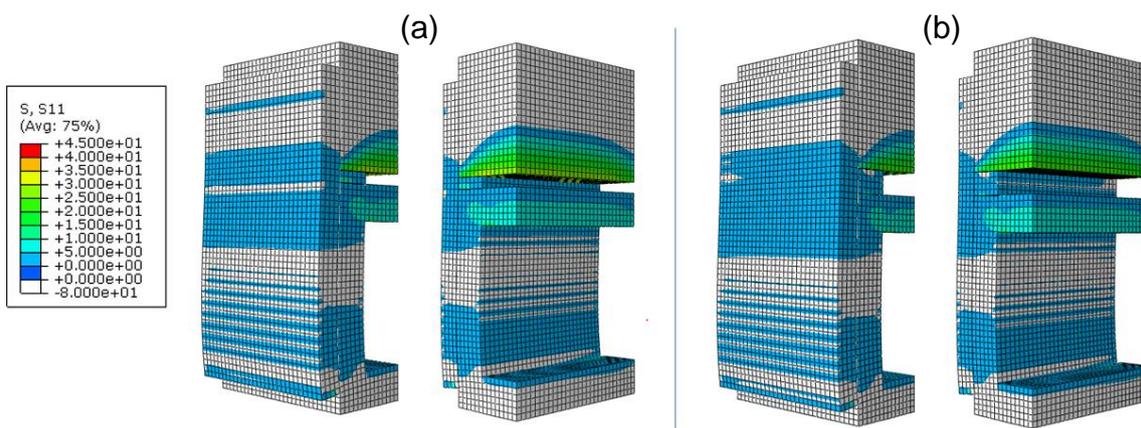
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 29) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 5,94 MPa. Não há significativa alteração dos valores de tração frente à variação de espessura da zona de fixação superior.

Figura 29 – Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor



Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 30) apresentam um valor máximo de tração de 30,5 MPa na região inferior do maciço de concreto, na parte superior do bloco os valores chegam na faixa de 10 a 15 Mpa. Novamente não há grande influência da alteração da espessura da zona de fixação superior a não ser por uma pequena diminuição das tensões na argamassa de fixação superior.

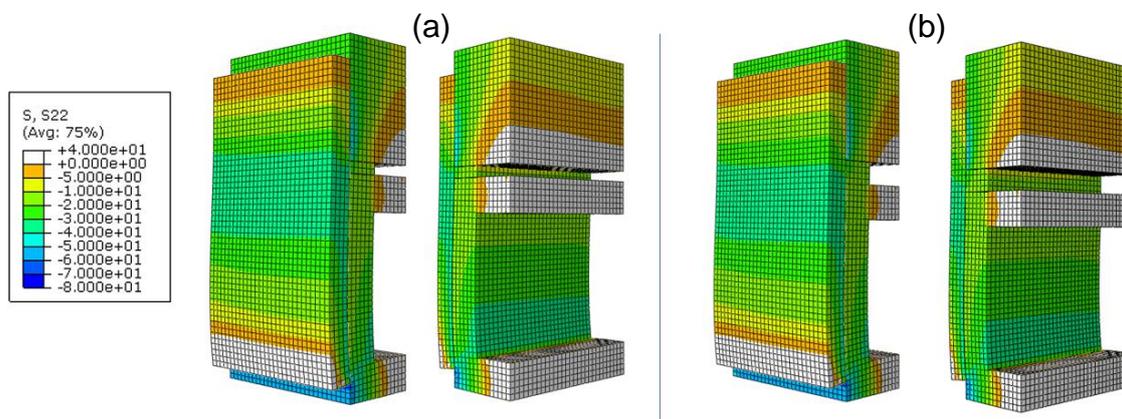
Figura 30 – Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 31) em compressão apresentaram um valor máximo de 66,4 MPa no maciço de concreto, porém os demais componentes do prisma também apresentaram valores que variaram de 41 MPa na argamassa de revestimento externo, 38,4 MPa na argamassa de fixação superior e

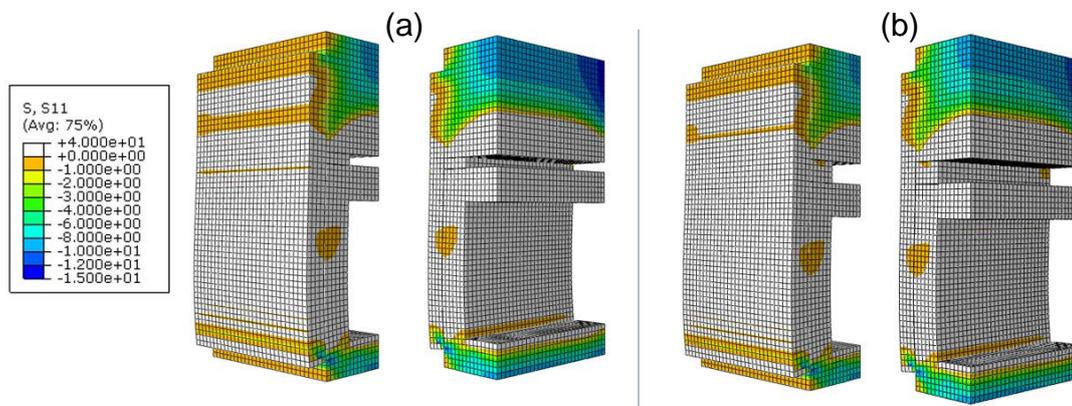
63,9 MPa no bloco cerâmico. Não há significativa alteração dos valores de compressão frente à variação de medida na zona de fixação superior.

Figura 31 – Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (figura 32) em compressão apresentaram um valor máximo de 12,5 MPa no maciço de concreto, os demais componentes do prisma variam de 11,8 MPa na argamassa de revestimento externo, 2,33 MPa na argamassa de fixação superior e 12,44 MPa no bloco cerâmico. Como em S22, também não há grande influência da alteração da espessura da zona de fixação superior a não ser novamente por uma pequena diminuição das tensões na argamassa de fixação superior.

Figura 32 – Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Esse prisma representa dois módulos de elasticidade com valores intermediários, novamente Zini (2021) retrata em seu trabalho que houve descolamento da argamassa na região superior em 33% dos ensaios e ruptura do

bloco cerâmico em 16% dos casos, o que novamente dá ênfase aos valores encontrados nas simulações computacionais. Zini também retrata que a alteração no revestimento começa a provocar diferenças de valores nos patamares mais altos de força, porém conforme tabela 05, nas simulações ainda não se notam grandes diferenças nesses valores.

Tabela 5: Valores de tensão para FI-RI.

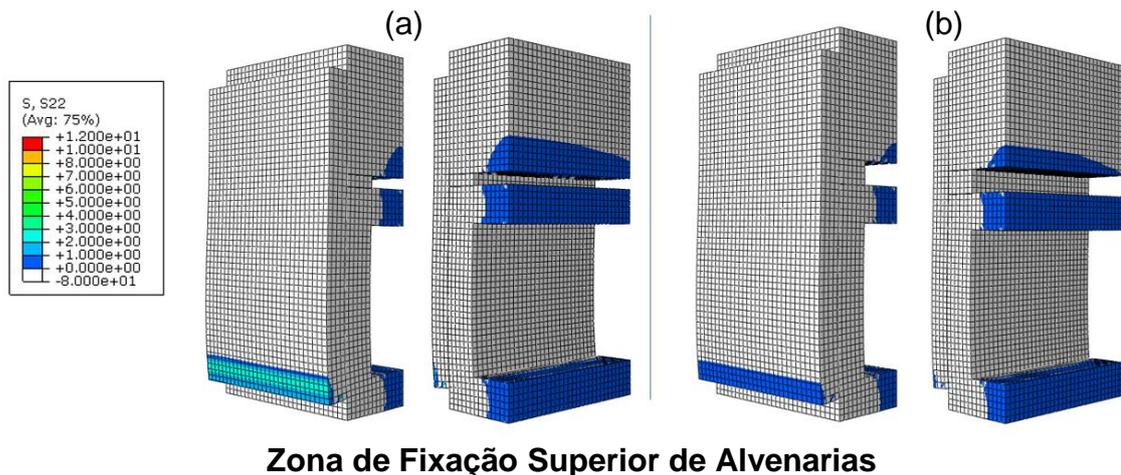
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RI - 1 cm	5,94	0	0,46	1,86
FI-RI - 2 cm	5,8	0	0,28	1,85
Maiores valores de tração S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RI - 1 cm	11,17	7	30,5	11,3
FI-RI - 2 cm	10,97	6	26,8	11,84
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RI - 1 cm	-41	-38,4	-66,4	-63,9
FI-RI - 2 cm	-40,6	-37,15	-62,8	-62,8
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RI - 1 cm	-11,8	-1	-12,5	-12,44
FI-RI - 2 cm	-11,6	-2,33	-11,6	-12,2

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.6 Combinação Argamassa de fixação de módulo intermediário e argamassa de revestimento de módulo baixo (FI-RB)

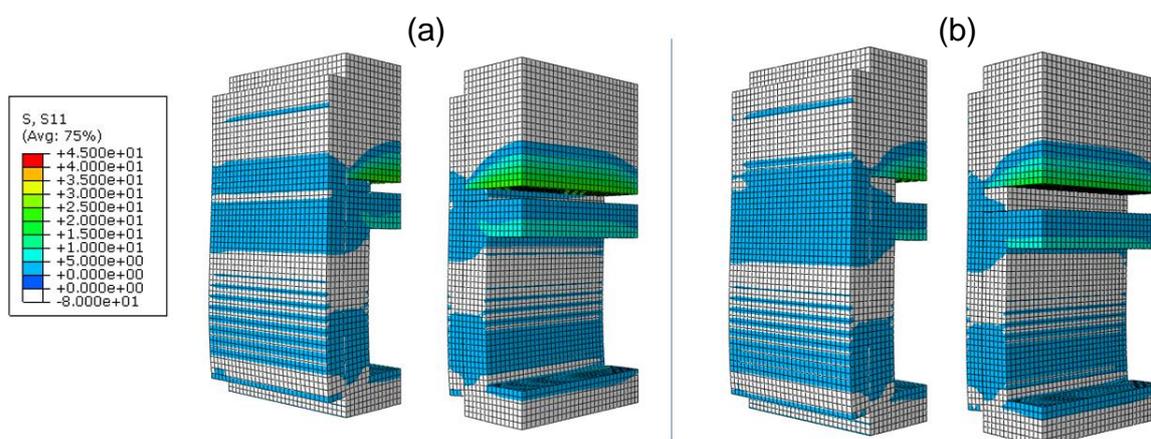
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 33) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 3,66 MPa. Nessa configuração de prisma, há uma notória diferença entre os valores comparados entre 1 cm e 2 cm na zona de fixação superior.

Figura 33 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor



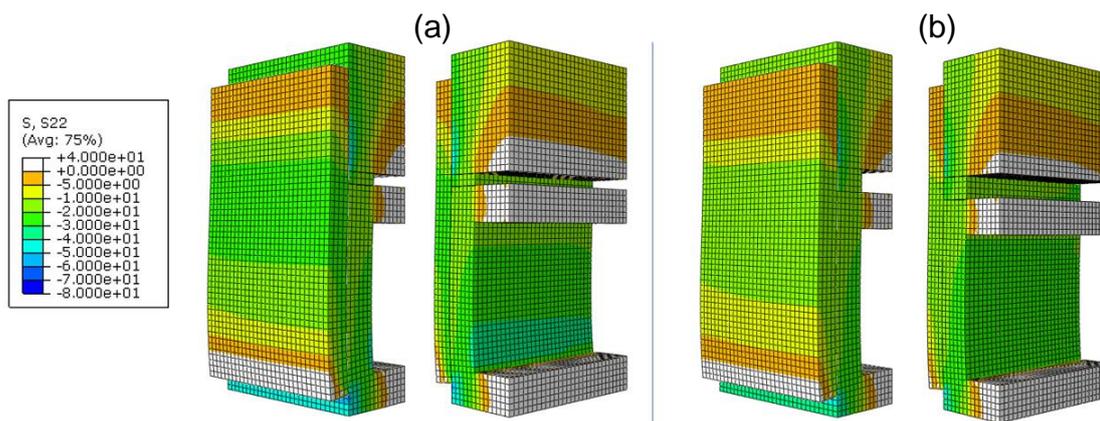
Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 34) apresentam um valor máximo de tração de 25,9 MPa na região inferior do maciço de concreto. Também existe uma diferença um pouco mais acentuada entre os valores de tração quando alterada a espessura da argamassa de fixação, principalmente na parte inferior do revestimento e na própria argamassa de fixação.

Figura 34 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



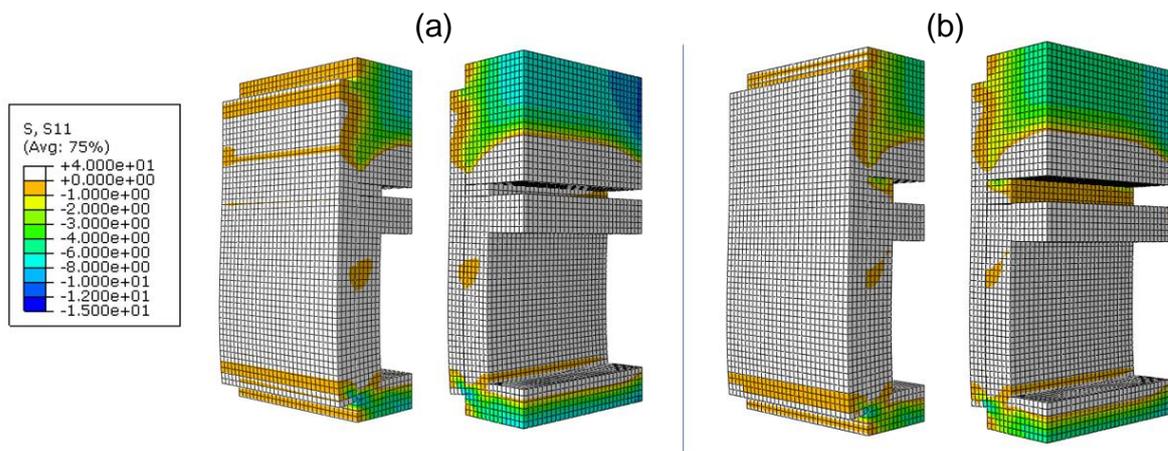
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 35) em compressão apresentaram um valor máximo de 63,2 MPa no maciço de concreto, porém os demais componentes do prisma também apresentaram valores que variaram de 30,6 MPa no revestimento externo, 41 MPa na argamassa de fixação superior e 54,9 MPa no bloco cerâmico. Nesse caso também não é possível notar uma significativa diferença nos valores de compressão quando alterado a espessura da argamassa.

Figura 35 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (figura 36) em compressão apresentaram um valor máximo de 10,78 MPa no bloco cerâmico, os demais componentes do prisma variam de 8,8 MPa no revestimento externo, 4,25 MPa na argamassa de fixação superior e 10,46 MPa no maciço de concreto. Neste caso, não nota-se uma alteração tão significativa de valores quando em S22.

Figura 36 - Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Essa configuração de prisma apresenta uma análise para uma argamassa de fixação superior com módulo intermediário e argamassa de revestimento com o menor módulo. Outra comparação que podemos fazer frente ao ensaio experimental são os valores encontrados na compressão da argamassa de fixação superior, apesar de encontrar valores um pouco mais baixos de tensões de compressão em comparação com a argamassa de fixação de alta rigidez, Zini (2021) evidencia que em 66% dos casos para espessura de argamassa superior em 2 centímetros, houve esmagamento do mesmo, o que pode estar associado também ao material ser mais flexível e ainda apresentar altos valores de compressão.

Tabela 6: Valores de tensão para FI-RB.

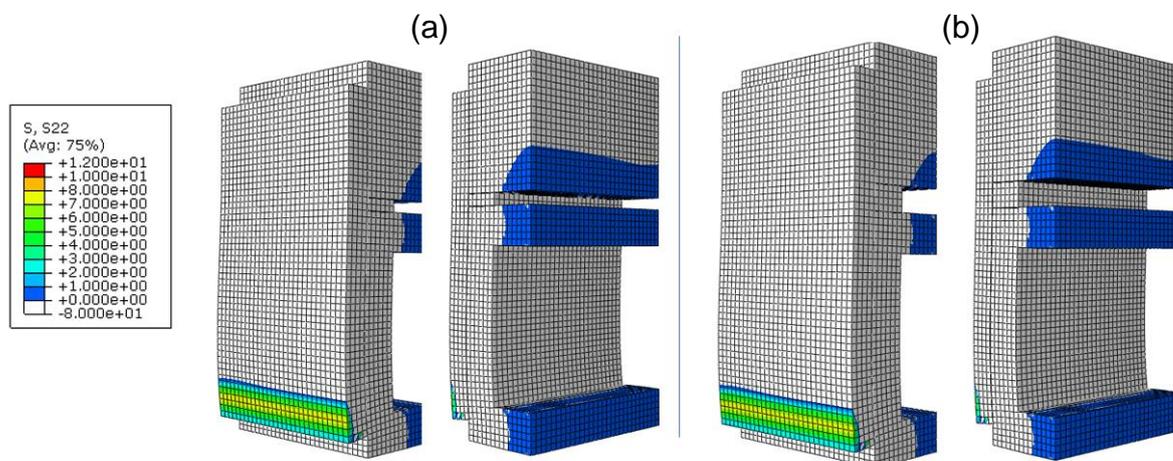
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RB - 1 cm	3,66	0	0,3	1,26
FI-RB - 2 cm	1,64	0	0,09	0,56
Maiores valores de tração S11 - Eixo (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RB - 1 cm	6,52	5,74	25,69	9,95
FI-RB - 2 cm	2,6	4	19,93	8,43
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RB - 1 cm	-30,6	-41	-63,2	-54,9
FI-RB - 2 cm	-18,48	-38,5	-53	-43,9
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FI-RB - 1 cm	-8,8	-2,46	-10,46	-10,78
FI-RB - 2 cm	-7,59	-4,25	-7,8	-7,96

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.7 Combinação Argamassa de fixação de baixo módulo e argamassa de revestimento de alto módulo (FB-RA)

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 37) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 8 MPa. Nessa configuração, novamente não são verificadas grandes diferenças de tensões quando alterada a espessura da zona de fixação superior.

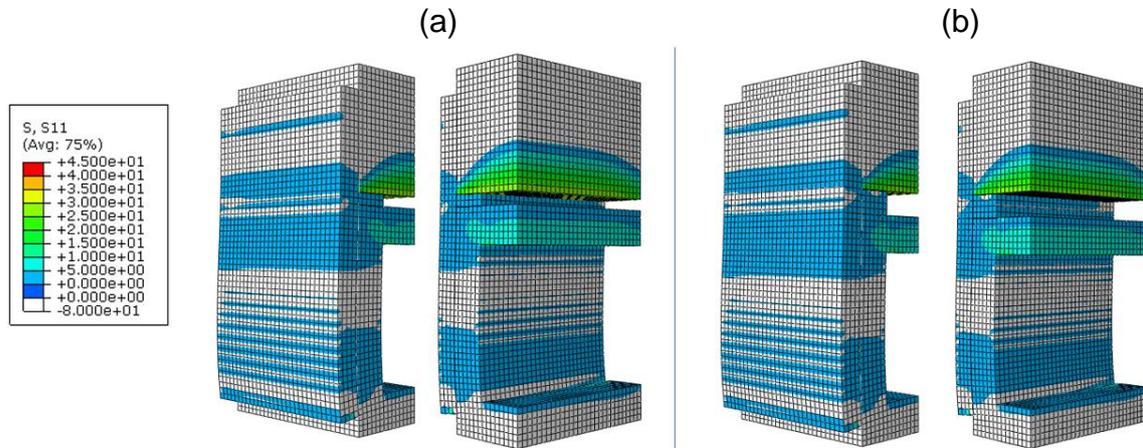
Figura 37 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 38) apresentam um valor máximo de tração de 32,9 MPa na região inferior do maciço de concreto. Nesse caso, Jaidson Franz. Porto Alegre: Curso de Engenharia Civil UFRGS, 2022.

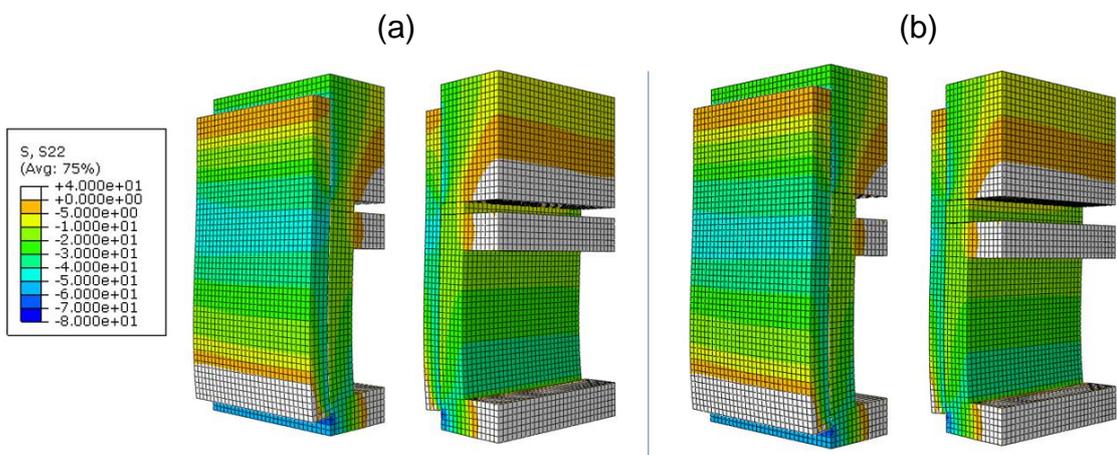
não nota-se uma diferença acentuada entre os valores de tensões para a diferença nas espessuras da zona de fixação superior.

Figura 38 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor



Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 39) em compressão apresentaram um valor máximo de 69,2 MPa no maciço de concreto, porém os demais componentes do prisma também apresentaram valores que variaram de 48,84 MPa no revestimento externo, 29,4 MPa na argamassa de fixação superior e 58,9 MPa no bloco cerâmico. A diferença entre as espessuras da zona de fixação superior, nesse caso, é praticamente nula.

Figura 39 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (figura 40) em compressão apresentaram um valor máximo de 13,36 MPa no revestimento externo, os demais componentes do prisma variam de 1,51 MPa na argamassa de fixação superior, 14 MPa no maciço de concreto e 13 MPa no bloco cerâmico. Neste caso, não se nota uma alteração tão significativa nos valores em relação ao aumento de espessura da zona de fixação superior.

Figura 40 Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.

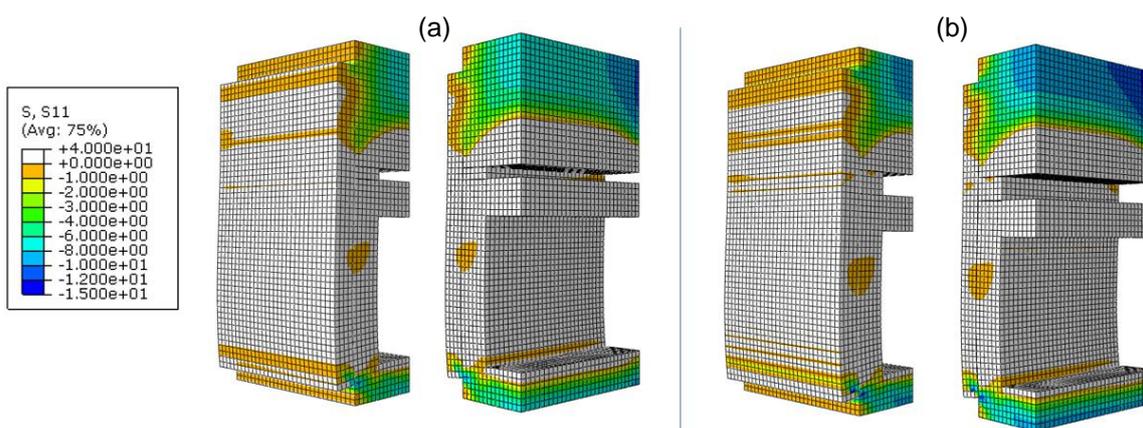


Tabela 7: Valores de tensão para FB-RA.

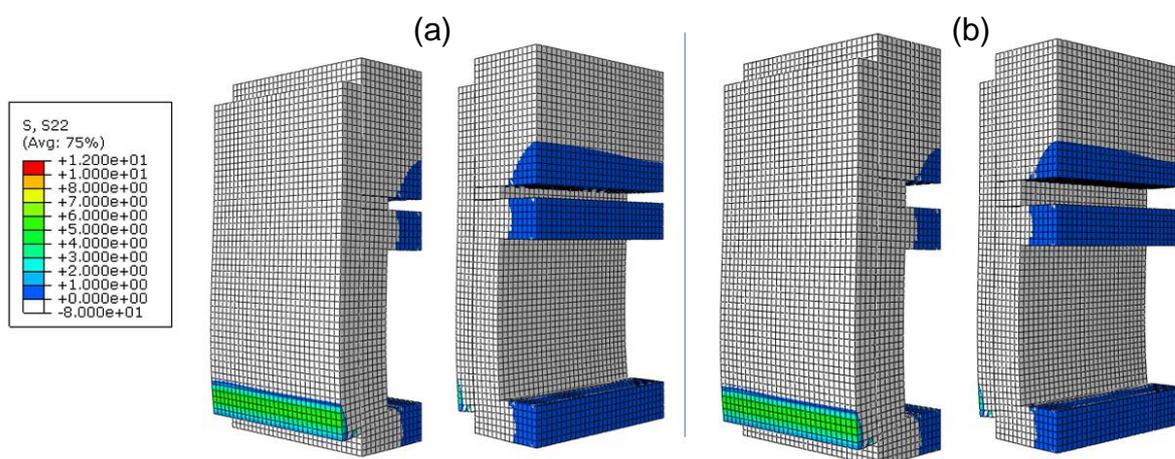
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm	8	0	0,51	2,14
FB-RA - 2 cm	7,85	0	0,33	2,1
Maiores valores de tração S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm	14,44	4,75	32,9	11,93
FB-RA - 2 cm	14,33	4,26	29,52	12,25
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm	-48,84	-29,4	-69,2	-68,9
FB-RA - 2 cm	-47,8	-29	-66,4	-67,5
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm	-13,6	-0,68	-14	-13
FB-RA - 2 cm	-13,36	-1,51	-13,1	-12,8

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.8 Combinação Argamassa de fixação de baixo módulo e argamassa de revestimento de módulo intermediário (FB-RI) :

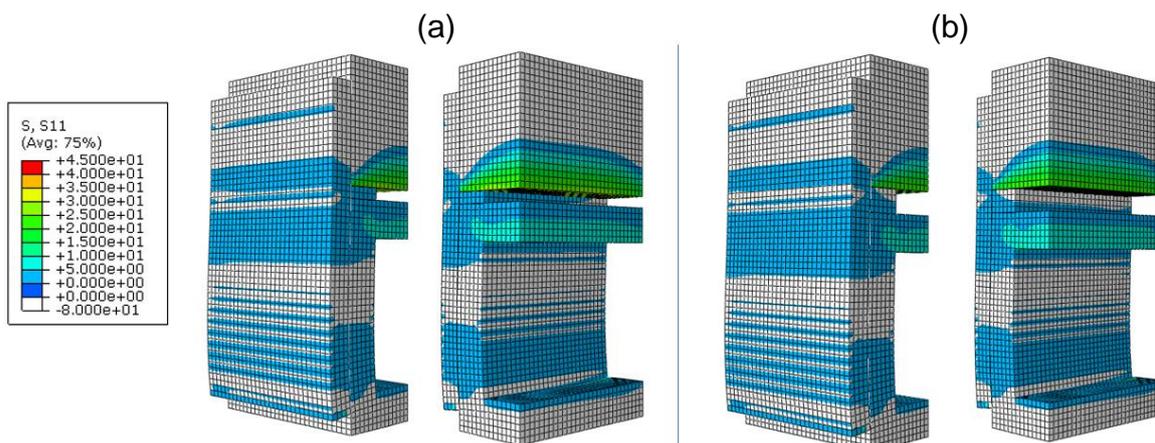
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 41) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 5,9 MPa. Nessa configuração de prisma, novamente não são identificadas grandes diferenças de tensões quando alterada a espessura da zona de fixação superior.

Figura 41 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor.



Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 42) apresentam um valor máximo de tração de 29,9 MPa na região inferior do maciço de concreto. Novamente não há uma diferença perceptível nos valores de tensões para a variação de espessura na zona de fixação superior.

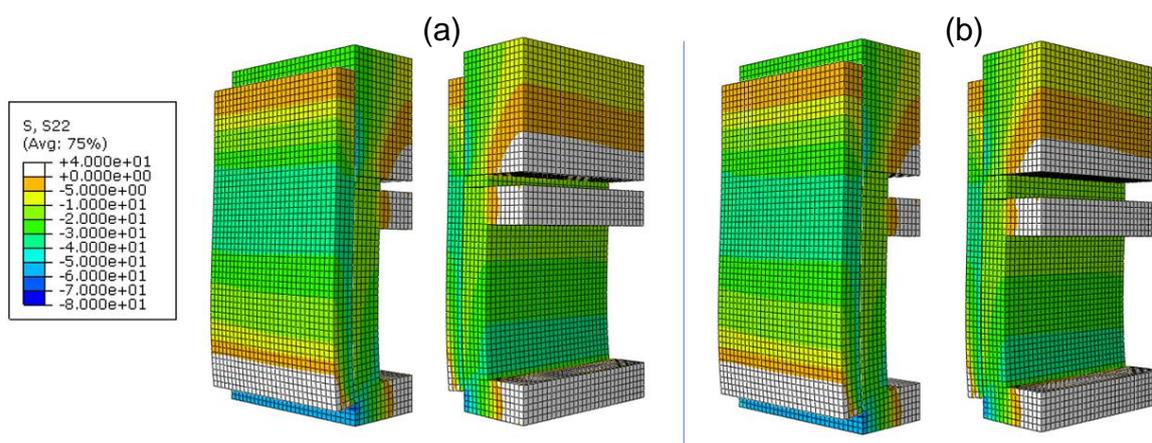
Figura 42 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Zona de Fixação Superior de Alvenarias

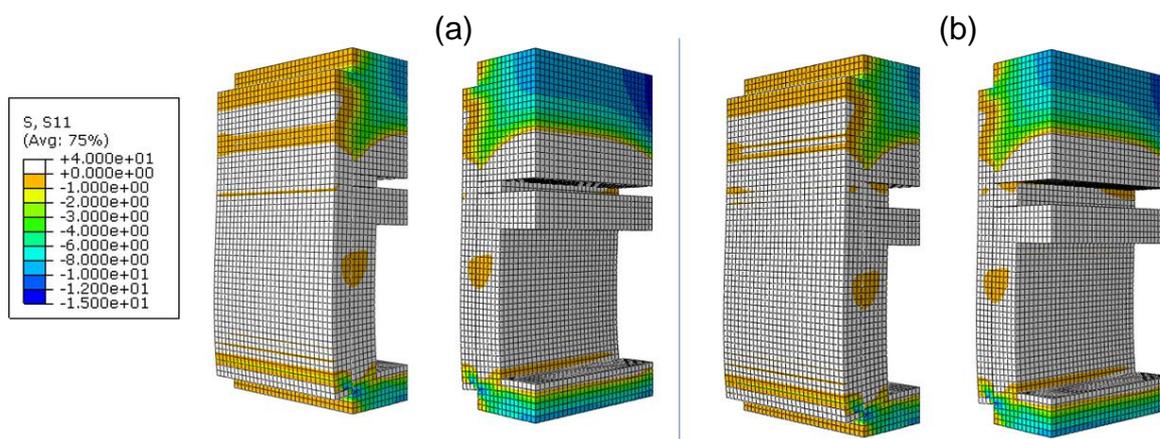
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 43) em compressão apresentaram um valor máximo de 68,74 MPa no maciço de concreto, porém os demais componentes do prisma também apresentaram valores que variaram de 41,13 MPa no revestimento externo, 31,64 MPa na argamassa de fixação superior e 63,85 MPa no bloco cerâmico. A diferença em tensões entre as espessuras da zona de fixação superior, nesse caso, é praticamente nula.

Figura 43 Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (figura 44) em compressão apresentaram um valor máximo de 12,56 MPa no maciço de concreto, os demais componentes do prisma variam de 11,81 MPa no revestimento externo, 2,04 MPa na argamassa de fixação superior e 12,35 MPa no bloco cerâmico. Neste caso, novamente não há uma notória diferença entre as diferenças de espessura na zona de fixação superior.

Figura 44 Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Essa configuração de prisma apresenta uma análise para uma argamassa de fixação superior com módulo intermediário e argamassa de revestimento com o módulo intermediário também.

Tabela 8: Valores de tensão para FB-RI.

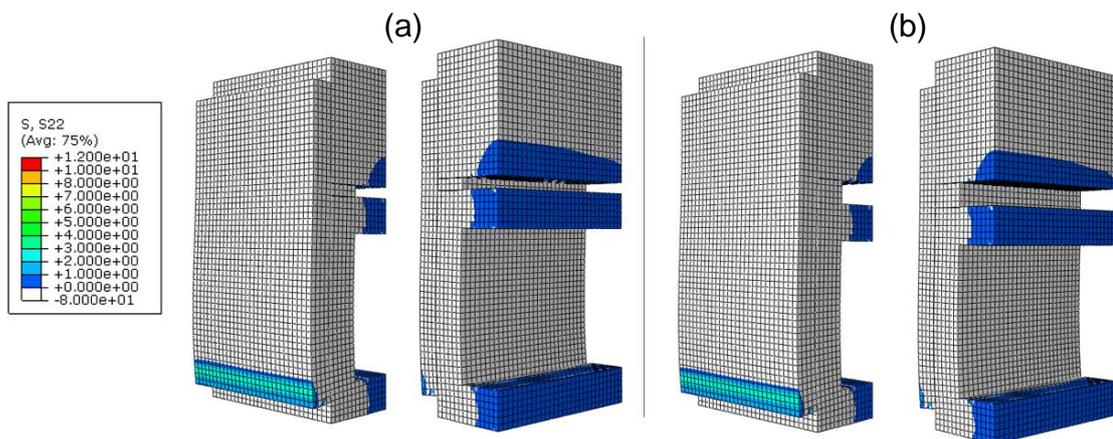
Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm	5,9	0	0,43	1,83
FB-RI - 2 cm	5,77	0	0,28	1,77
Maiores valores de tração S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm	11,11	4,36	29,9	11,2
FB-RI - 2 cm	10,86	3,94	26,6	11,43
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm	-41,13	-31,64	68,74	-63,58
FB-RI - 2 cm	-40,19	-30,85	-62,76	-62,12
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm	-11,81	-1,16	-12,56	-12,35
FB-RI - 2 cm	-11,56	-2,04	-11,74	-12,1

Fonte: elaborado pelo autor.

4.1.9 Combinação Argamassa de fixação de baixo módulo e argamassa de revestimento de baixo módulo (FB-RB):

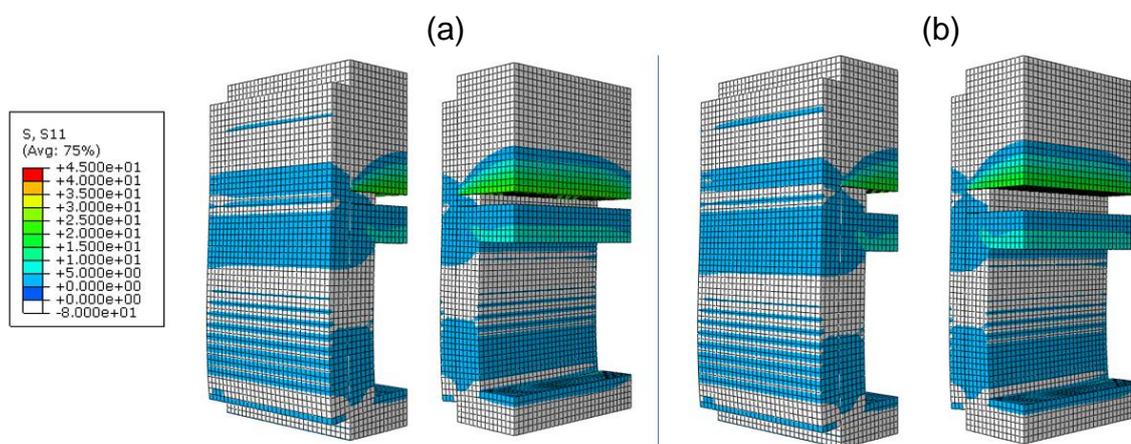
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 45) apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 3,64 MPa. Nessa configuração de prisma, novamente não são identificadas grandes diferenças de tensões quando alterada a espessura da zona de fixação superior.

Figura 45 Tensões verticais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



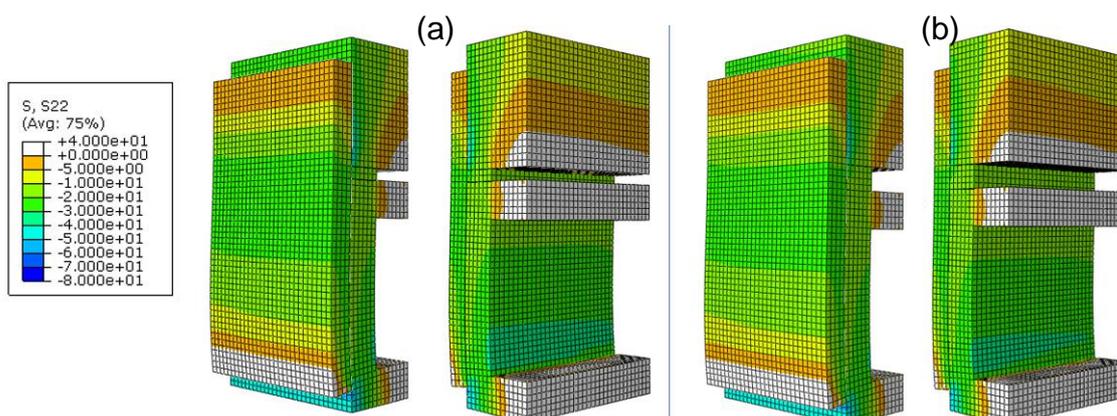
Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 46) apresentam um valor máximo de tração de 24,9 MPa na região inferior do maciço de concreto. Novamente não há uma diferença perceptível nos valores de tensões para a variação de espessura na zona de fixação superior.

Figura 46 Tensões horizontais de tração com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



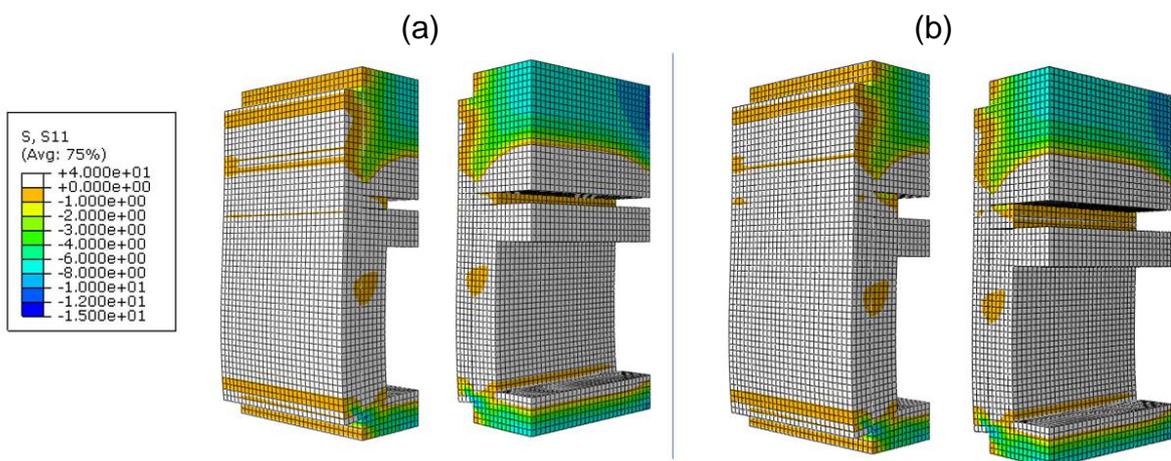
Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 47) em compressão apresentaram um valor máximo de 62,5 MPa no maciço de concreto, porém os demais componentes do prisma também apresentaram valores que variaram de 30,41 MPa no revestimento externo, 34,66 MPa na argamassa de fixação superior e 54,6 MPa no bloco cerâmico. A diferença em tensões entre as espessuras da zona de fixação superior, nesse caso, é praticamente nula.

Figura 47 - Tensões verticais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: autor



Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (figura 48) em compressão apresentaram um valor máximo de 10,47 MPa no bloco cerâmico, os demais componentes do prisma variam de 8,80 MPa no revestimento externo, 2,95 MPa na argamassa de fixação superior e 10,4 MPa no maciço de concreto. Neste caso, novamente não há uma notória diferença entre as diferenças de espessura na zona de fixação superior.

Figura 48 Tensões horizontais de compressão com espessura de fixação superior (a) 1 cm e (b) 2 cm. Fonte: O autor.



Essa configuração de prisma, fica com uma argamassa de fixação superior de baixo módulo e uma argamassa de revestimento de baixo módulo também, evidenciando assim os valores de tensões para o prisma menos rígido.

Tabela 9: Valores de tensão para FB-RB.

Maiores valores de tração S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm	3,634	0	0,28	1,23
FB-RB - 2 cm	3,54	0	0,18	1,17
Maiores valores de tração S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm	6,48	3,58	24,9	9,79
FB-RB - 2 cm	6,3	3,28	22,47	9,88
Maiores valores de compressão S22 - Eixo Vertical (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm	30,41	34,66	62,5	54,6
FB-RB - 2 cm	28,53	33,15	58,98	53,19
Maiores valores de compressão S11 - Eixo Horizontal (MPa)				
Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm	8,8	2,24	10,4	10,7
FB-RB - 2 cm	8,62	2,95	9,75	10,47

Fonte: elaborado pelo autor.

Análise Numérica Computacional do Ensaio de Avaliação da Zona de Fixação Superior de Alvenarias

4.2 Análise resumo das combinações entre argamassas de fixação de alto, intermediário e baixo módulo (FA-FI-FB) e argamassas de revestimento de alto, intermediário e baixo módulo (RA-RI-RB)

4.2.1 Tensões de tração verticais (S22)

a) Quanto mais baixo a rigidez do revestimento, ou seja, mais baixo o módulo da argamassa, menores são as tensões de tração verticais que aparecem na parte inferior do revestimento (figura 49), podemos observar tanto na distribuição de tensões quanto nas tensões máximas apresentadas na tabela 10;

Figura 49 Distribuição de tensões de tração verticais variando a rigidez da argamassa de revestimento (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor.

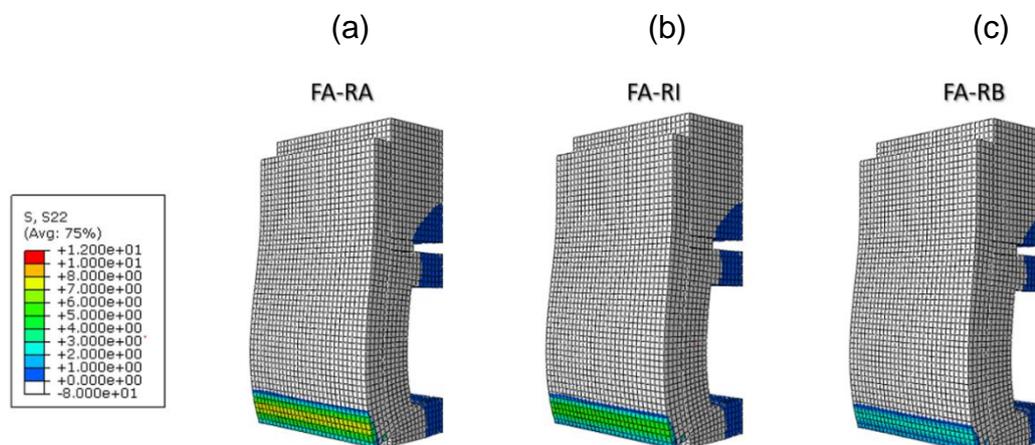


Tabela 10: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos.

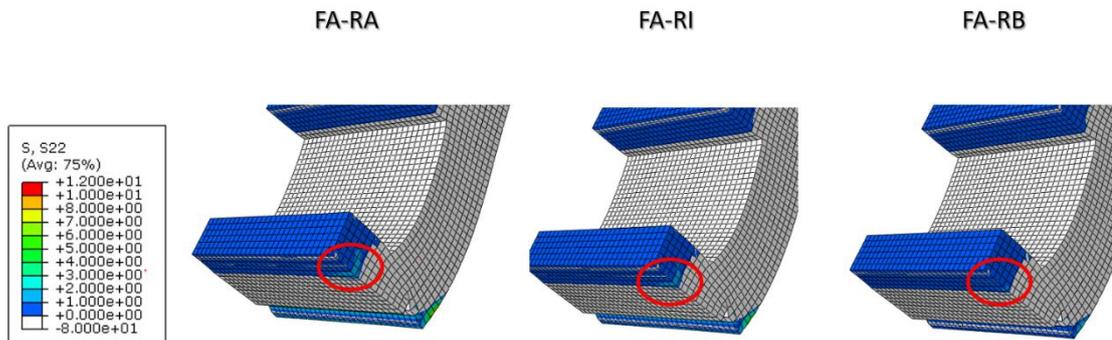
Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	8,13	0	1,13	2,2
FA-RA - 2 cm	8,02	0	2,26	2,45
FA-RI - 1 cm	6	0	0,61	1,89
FA-RI - 2 cm	5,93	0	0,78	1,92
FA-RB - 1 cm	3,69	0	0,38	1,29
FA-RB - 2 cm	3,66	0	0,23	1,31

Fonte: elaborado pelo autor.

b) A espessura da argamassa de fixação não gera efeitos perceptíveis sobre a distribuição de tensões do prisma. Existe uma variação nas tensões máximas no maciço de concreto, porém conforme figura 50, podemos concluir que os pontos de tensões máximas são em poucos elementos o que é pequeno frente a distribuição de tensões de todo prisma;

Figura 50 Distribuição de tensões verticais na base do bloco (a) FA-RA, (b) FA-RI, (c) FA-RB. Fonte: autor



c) Conforme podemos observar na figura 51, módulo da argamassa de fixação não tem uma influência perceptível sobre a distribuição de tensões de tração vertical nos diversos componentes, isso se confirma com os valores de tensões máximas.

Figura 51 Distribuição de tensões verticais variando a rigidez da argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor

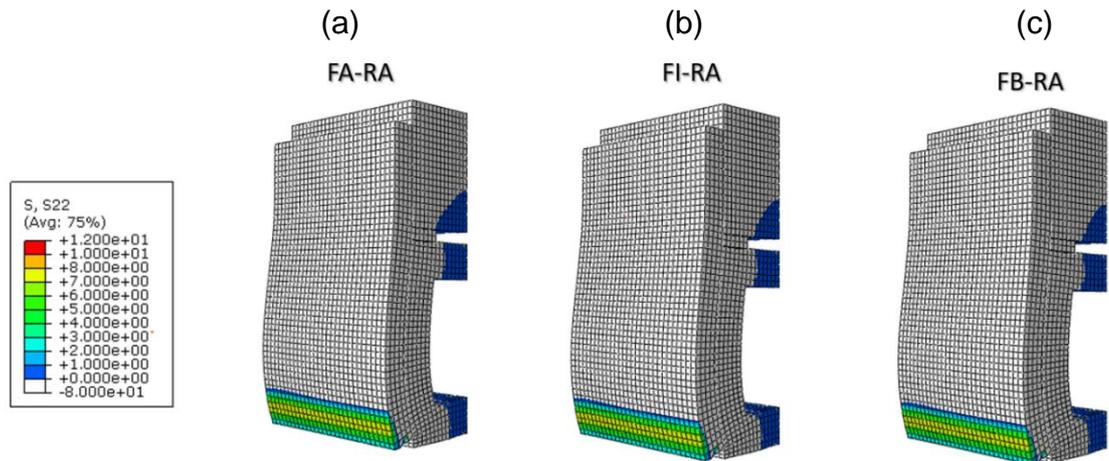


Tabela 11: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes argamassas de fixação.

Influência da Rigidez da Argamassa de Fixação no Prisma nas Tensões de Tração Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Zona de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	8,13	0	1,13	2,2
FA-RA - 2 cm	8,02	0	2,26	2,45
FI-RA - 1 cm	8,07	0	0,55	2,18
FI-RA - 2 cm	7,92	0	0,34	2,16
FB-RA - 1 cm	8	0	0,51	2,14
FB-RA - 2 cm	7,85	0	0,33	2,1

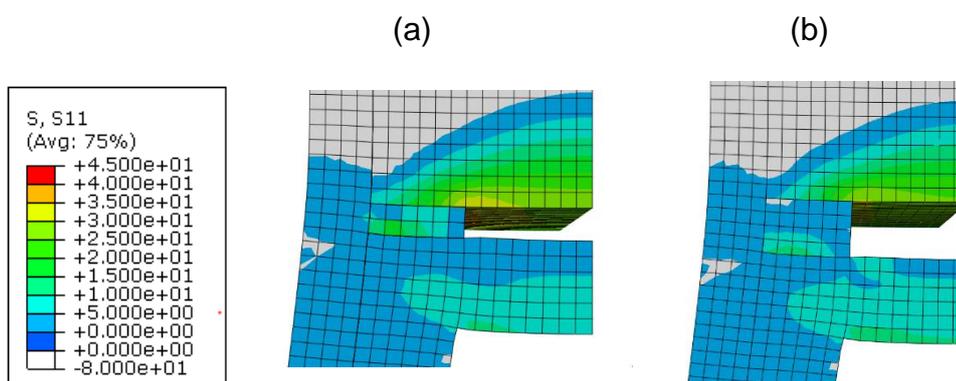
Fonte: elaborado pelo autor.

Análise Numérica Computacional do Ensaio de Avaliação da Zona de Fixação Superior de Alvenarias

4.2.2 Tensões de tração horizontais (S11)

- a) O aumento da espessura da fixação de 1 para 2 cm provoca uma pequena diminuição nas tensões de tração horizontais na argamassa de fixação, e um pequeno aumento nas tensões de tração atuantes na parede horizontal superior do bloco de fixação, com maiores efeitos quando a argamassa de fixação tem módulo maior elevado (FA ou FI). Também podemos observar o aumento da espessura da fixação é uma diminuição nas tensões de tração na parte inferior do maciço de concreto (figura 52);

Figura 52 Distribuição de tensões de tração horizontais variando a espessura de fixação (a) FA-RA 1cm e (b) FA-RA 2cm. Fonte: autor



- b) A redução da rigidez da argamassa de revestimento provoca pequenas reduções sobre as tensões de tração horizontal na argamassa de fixação, na parte inferior do maciço de concreto e na parede superior do bloco cerâmico. Também existe uma redução no valor de tensão máximo da argamassa de revestimento, porém conforme pode ser observado na figura 53, existe uma quantidade baixa de elementos com esse valor, tornando a análise inconclusiva;

Figura 53 Pontos de tensão de tração horizontais máximos nos revestimento (a) FA-RA e (b) FA-RB. Fonte: autor.

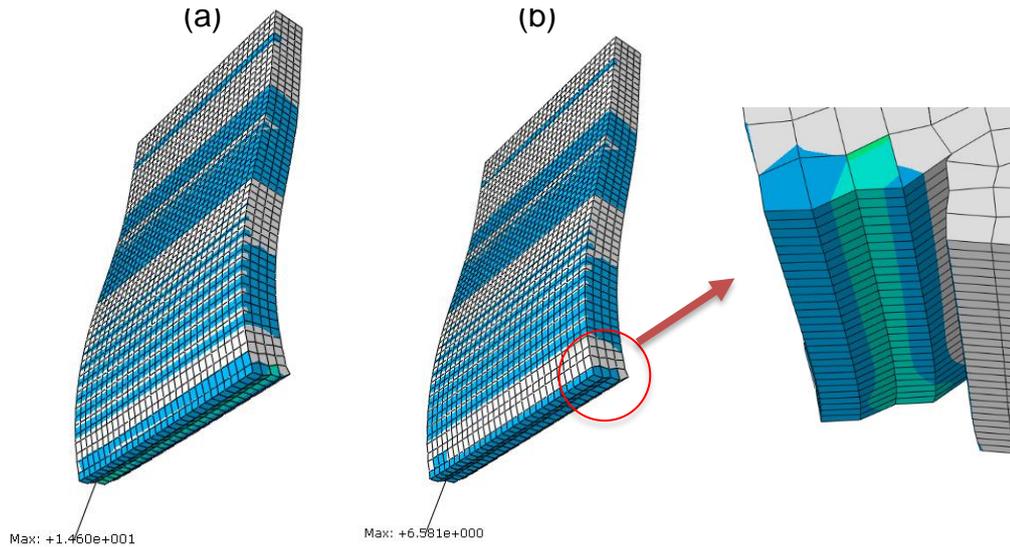


Tabela 12: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	14,6	17,9	36,5	12,1
FA-RA - 2 cm	14,4	14,8	32,2	13
FA-RI - 1 cm	11,2	16,6	33,1	11,4
FA-RI - 2 cm	11,1	14,1	29,1	12,2
FA-RB - 1 cm	6,58	13,9	27,2	10
FA-RB - 2 cm	6,51	12,4	27,28	10,6

Fonte: elaborado pelo autor.

c) A redução no módulo da argamassa de fixação provoca pequenas diminuições nas tensões horizontais da própria argamassa de fixação, sem causar alterações perceptíveis nas tensões de tração dos demais componentes.

Tabela 13: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes argamassa de fixação.

Influência da Rigidez da Argamassa de Fixação no Prisma nas Tensões de Tração Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	14,6	17,9	36,5	12,1
FA-RA - 2 cm	14,4	14,8	32,2	13
FI-RA - 1 cm	14,5	7,6	33,64	12,06
FI-RA - 2 cm	14,2	6,46	29,8	12,64
FB-RA - 1 cm	14,44	4,75	32,9	11,93
FB-RA - 2 cm	14,33	4,26	29,52	12,25

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.3 Tensões de compressão verticais (S22)

- a) A espessura de fixação praticamente não gera alterações sobre a distribuição de tensões de compressão verticais;
- b) A diminuição da rigidez do revestimento provoca uma diminuição das tensões de compressão do próprio revestimento, em especial na região de máximo que surge na altura da parede horizontal superior do bloco cerâmico (figura 54) e também na região de base do revestimento conforme figura 55;

Figura 54 Distribuição de compressões verticais variando a rigidez da argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor

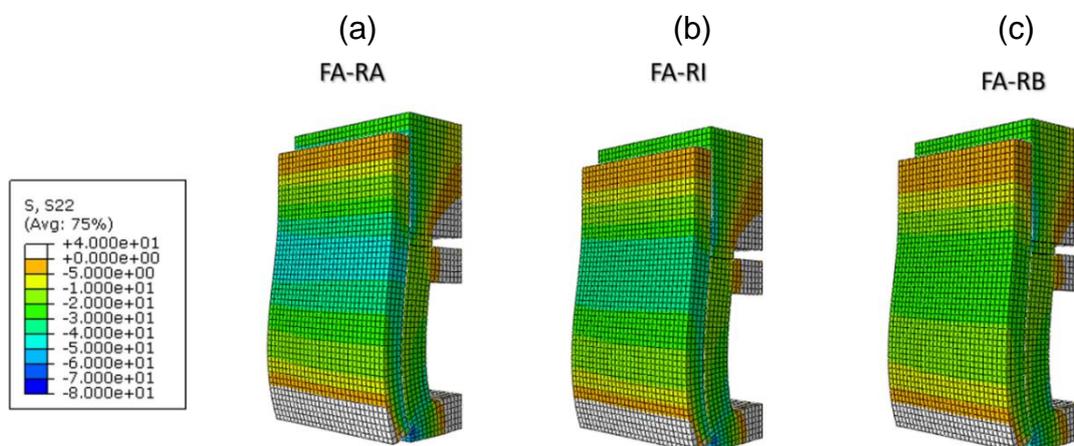


Figura 55 Tensão na região de base do revestimento externo. Fonte: autor

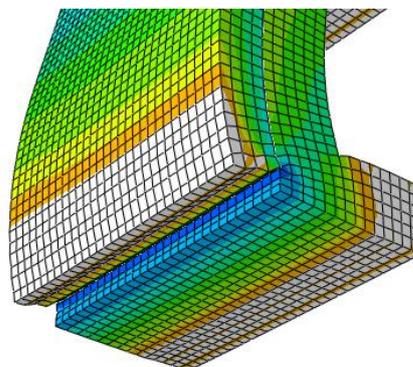


Tabela 14: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	-49,3	-52	-67,4	-69,7
FA-RA - 2 cm	-48,8	-50,1	-64,3	-69
FA-RI - 1 cm	-41,93	-53,7	-67,1	-64,45
FA-RI - 2 cm	-41,22	-50,8	-63,3	-63,7
FA-RB - 1 cm	-32,28	-54,6	-64,3	-55,5
FA-RB - 2 cm	-30,5	-50,2	-59,7	-54,99

Fonte: elaborado pelo autor.

- c) A rigidez da argamassa de fixação praticamente não gera alterações sobre a distribuição de tensões de compressão.

Tabela 15: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes argamassas de fixação.

Influência da Rigidez da Argamassa de Fixação nas Tensões de Compressão Verticais (S22)

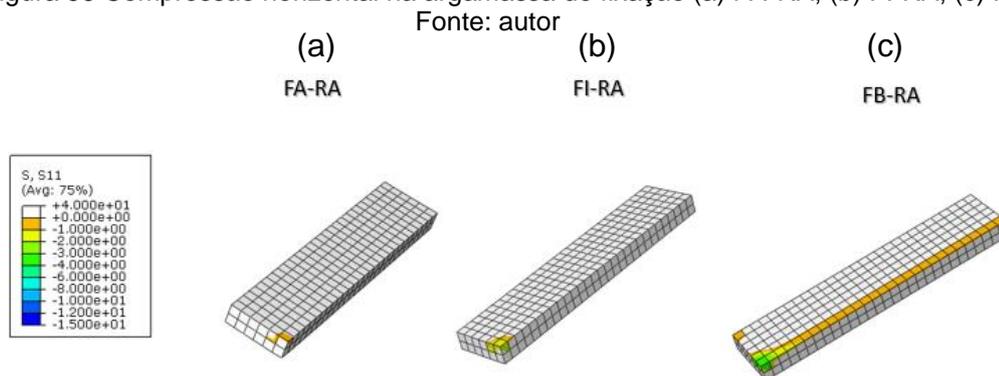
Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	-49,3	-52	-67,4	-69,7
FA-RA - 2 cm	-48,8	-50,1	-64,3	-69
FI-RA - 1 cm	-49	-36,1	-67,12	-69,2
FI-RA - 2 cm	-48,2	-35,5	-64	-68,1
FB-RA - 1 cm	-48,84	-29,4	-69,2	-68,9
FB-RA - 2 cm	-47,8	-29	-66,4	-67,5

Fonte: elaborado pelo autor.

4.2.4 Tensões de compressão horizontais (S11)

- a) A espessura da fixação não altera as tensões de compressão horizontais, ao passar de 1cm para 2 cm, exceto por um aumento de tensões máximas na argamassa de fixação superior, porém, esse valor se dá em uma região muito pequena (figura 56) o que torna inconclusivo o real aumento dos valores de tensão.

Figura 56 Compressão horizontal na argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA, (c) FB-RA.



b) O efeito mais perceptível da diminuição da rigidez do revestimento é a diminuição das tensões de compressão no topo do maciço de concreto, na região inferior do revestimento externo e na base do bloco cerâmico (figura 57);

Figura 57 Distribuição de compressões horizontais variando a rigidez da argamassa de fixação (a) FA-RA, (b) FI-RA e (c) FB-RA. Fonte: autor

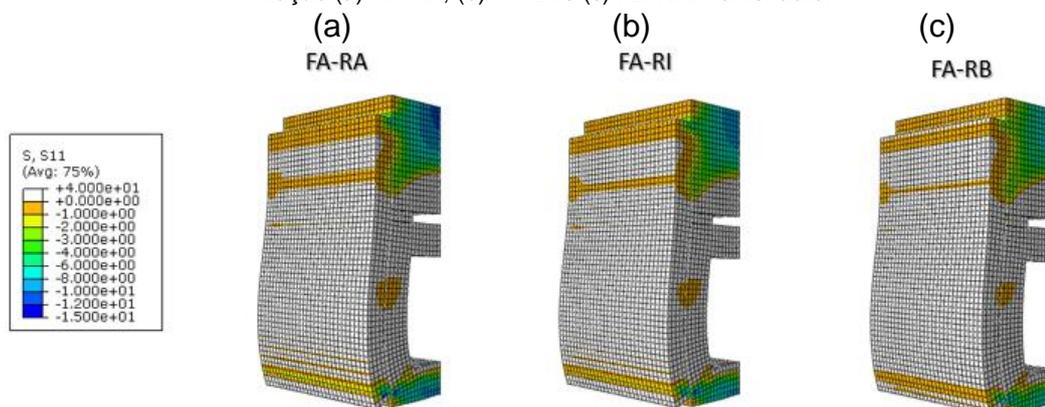


Tabela 16: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	-13,7	-0,75	-13,99	-13,16
FA-RA - 2 cm	-13,63	-2,97	-12,91	-13
FA-RI - 1 cm	-11,9	-2,1	-12,6	-12,5
FA-RI - 2 cm	-11,8	-3,59	-11,6	-12,3
FA-RB - 1 cm	-8,95	-4	-10,4	-10,8
FA-RB - 2 cm	-8,8	-4,4	-8,8	-10,7

Fonte: elaborado pelo autor.

- c) Não há efeitos perceptíveis na distribuição das tensões de compressão horizontais com a mudança da rigidez da argamassa de fixação.

Tabela 17: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes argamassas de fixação.

Influência da Rigidez Da Argamassa de Fixação no Prisma nas Tensões de Compressão Horizontais (S11)

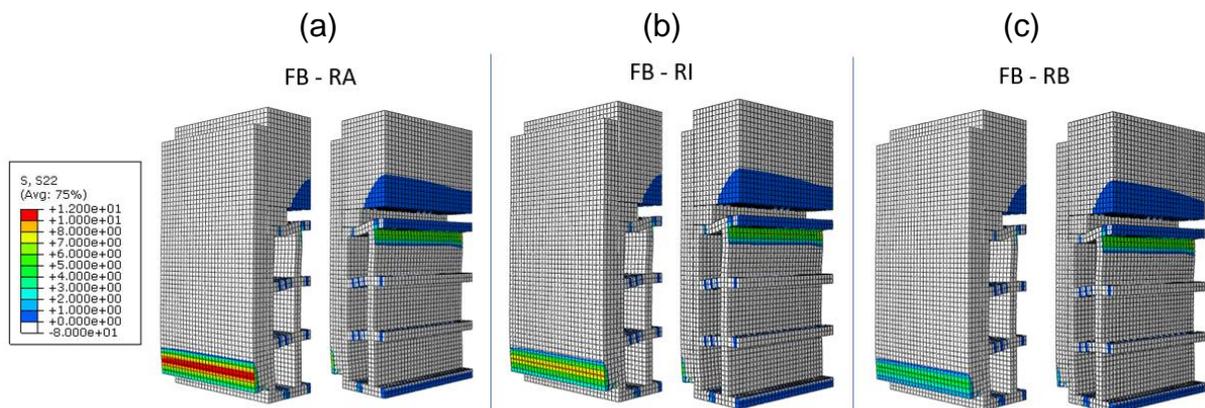
Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FA-RA - 1 cm	-13,7	-0,75	-13,99	-13,16
FA-RA - 2 cm	-13,63	-2,97	-12,91	-13
FI-RA - 1 cm	-13,69	-0,23	-13,97	-13
FI-RA - 2 cm	-13,46	-1,69	-12,96	-12,88
FB-RA - 1 cm	-13,6	-0,68	-14	-13
FB-RA - 2 cm	-13,36	-1,51	-13,1	-12,8

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3 Combinação FB-RA, FB-RI, FB-RB para tijolo de 9 furos:

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 58) com a utilização do tijolo de 9 furos apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo, com um valor de 11,44 MPa na configuração FB-RA.

Figura 58 Tensões verticais de tração para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor.



Podemos observar que com o uso do bloco de 9 furos, para um mesmo patamar de deslocamento imposto, as tensões de tração verticais (S22) se tornam mais altas que as correspondentes com o bloco de fixação, na figura 59 observamos uma comparação dos valores de tensão entre o bloco de fixação e o bloco de 9 furos,

ambos na configuração FB-RA. Esse aumento ocorre em especial na parte inferior do revestimento e na parte superior do bloco cerâmico (figura 60).

Figura 59 Comparação de aumento de tensões para (a) bloco de fixação (b) bloco de 9 furos. Fonte: autor

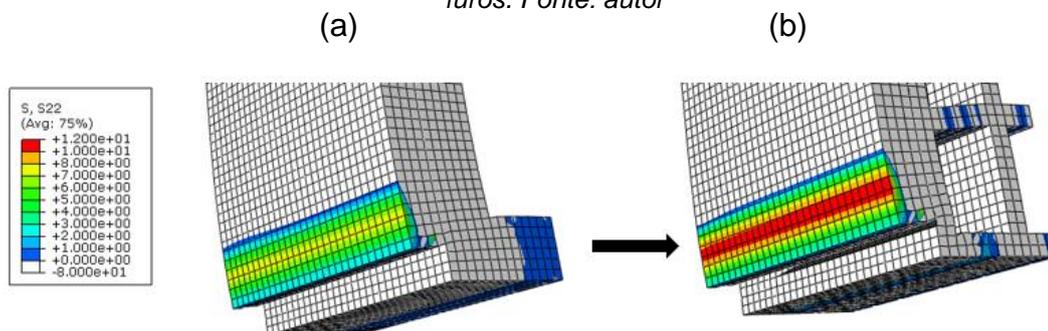


Figura 60 Comparação da parte superior do bloco cerâmico (a) Bloco de fixação (b) bloco de 9 furos. Fonte: autor

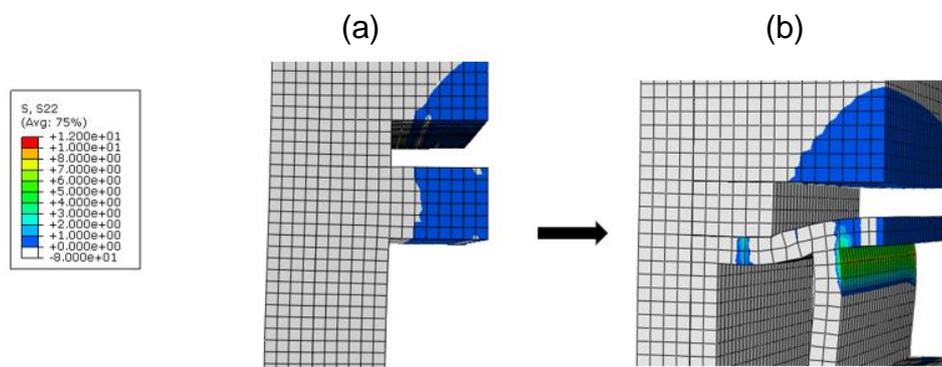


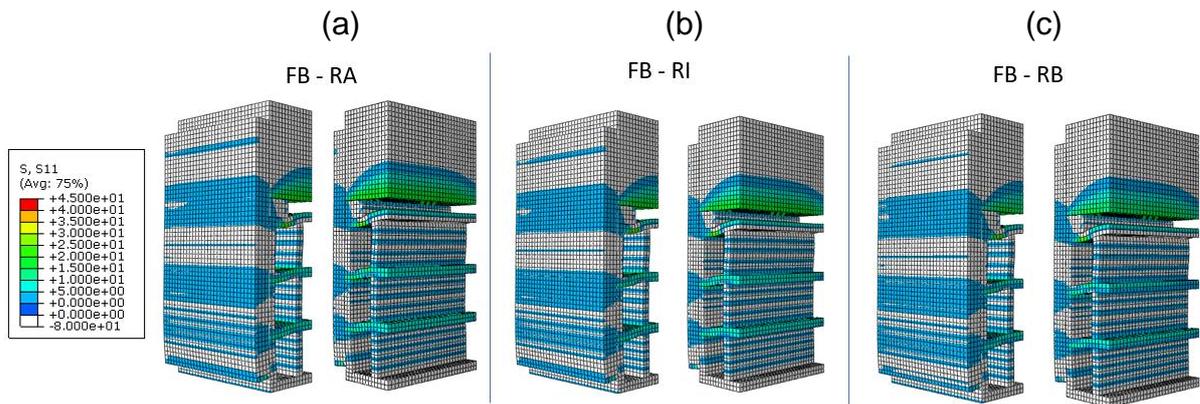
Tabela 18: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos.

Combinação	Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Verticais (S22)			
	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm 9 furos	11,44	0	0,41	7,95
FB-RA - 2 cm comum	7,85	0	0,33	2,1
FB-RI - 2 cm 9 furos	8,54	0	0,38	7,75
FB-RI - 2 cm comum	5,77	0	0,28	1,77
FB-RB - 2 cm 9 furos	5,12	0	0,32	7,69
FB-RB - 2 cm comum	3,54	0	0,18	1,17

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 61) apresentaram um valor máximo de tração de 27,33 MPa na região superior do bloco de 9 furos.

Figura 61 Tensões horizontais de tração para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor.



Nas mesmas condições das combinações iniciais, as tensões de tração horizontais (S11) se tornam visivelmente mais altas nas paredes horizontais do bloco de 9 furos, em comparação com o bloco de fixação, com uma grande concentração de tensões na região da parede superior horizontal do bloco logo após o fim da argamassa de fixação superior (figura 62). Tal efeito ocorre para todas as combinações de rigidezes testadas.

Figura 62 Comparação de tensões na parte superior do bloco (a) bloco de fixação (b) bloco de 9 furos. Fonte: autor

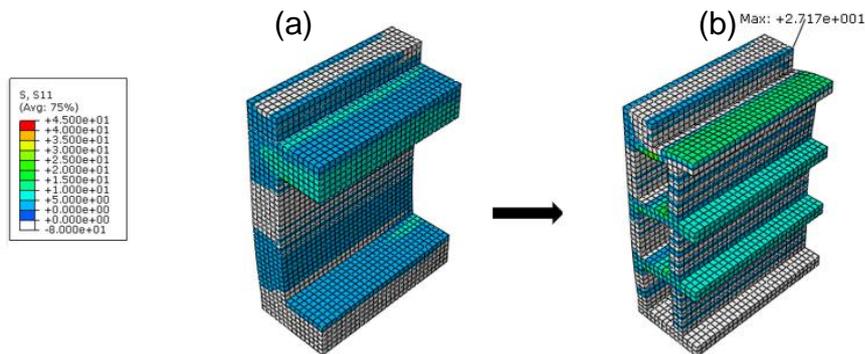


Tabela 19: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm 9 furos	17,6	4,1	23,47	27,17
FB-RA - 2 cm comum	14,33	4,26	29,52	12,25
FB-RI - 2 cm 9 furos	13,63	4,1	21,7	27,25
FB-RI - 2 cm comum	10,86	3,94	26,6	11,43
FB-RB - 2 cm 9 furos	7,88	3,89	18,49	27,33
FB-RB - 2 cm comum	6,3	3,28	22,47	9,88

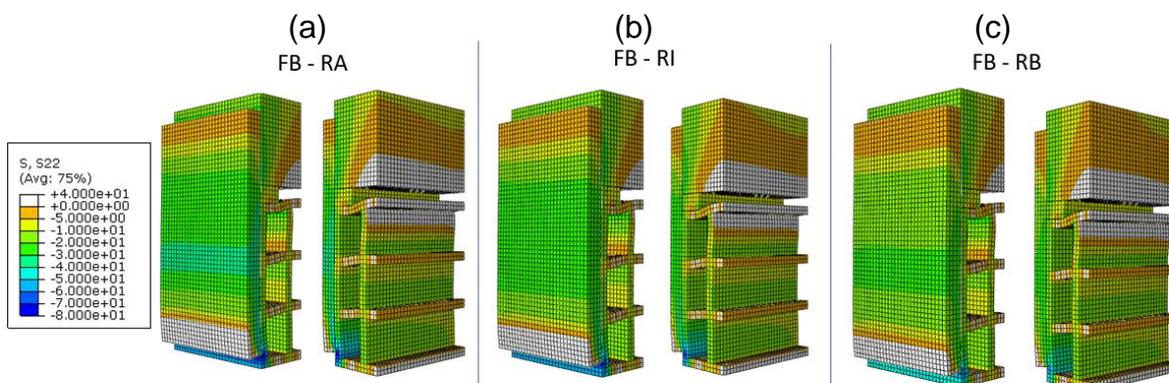
Fonte: elaborado pelo autor.

Análise Numérica Computacional do Ensaio de Avaliação da Zona de Fixação Superior de Alvenarias

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 63) em compressão apresentaram um valor máximo 82,12 MPa.

Figura 63 Tensões verticais de compressão para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB.

Fonte: autor.



Podemos observar que há um aumento das tensões de compressão verticais (S22), tanto no revestimento, quanto na parede vertical do bloco e também principalmente na parte inferior quando comparado com o bloco de fixação superior, conforme figura 64. Tal efeito ocorre para todas as combinações de rigidezes testadas;

Figura 64 Aumento de tensões verticais (a) bloco de fixação comum (b) bloco de 9 furos.

Fonte: autor.

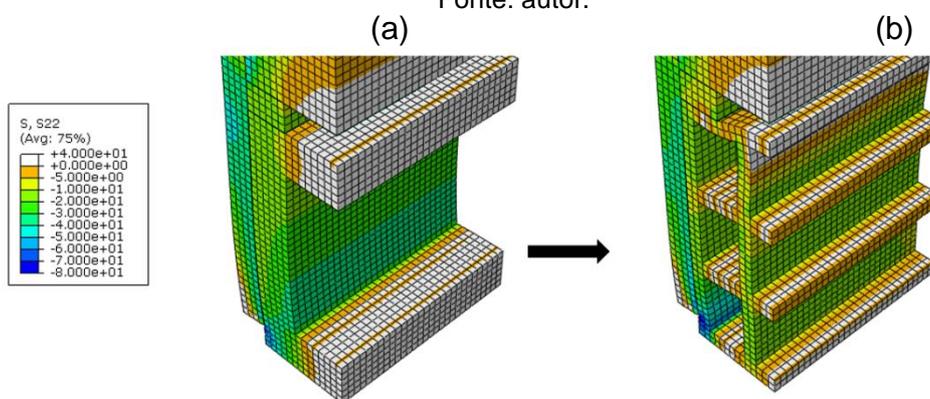


Tabela 20: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos

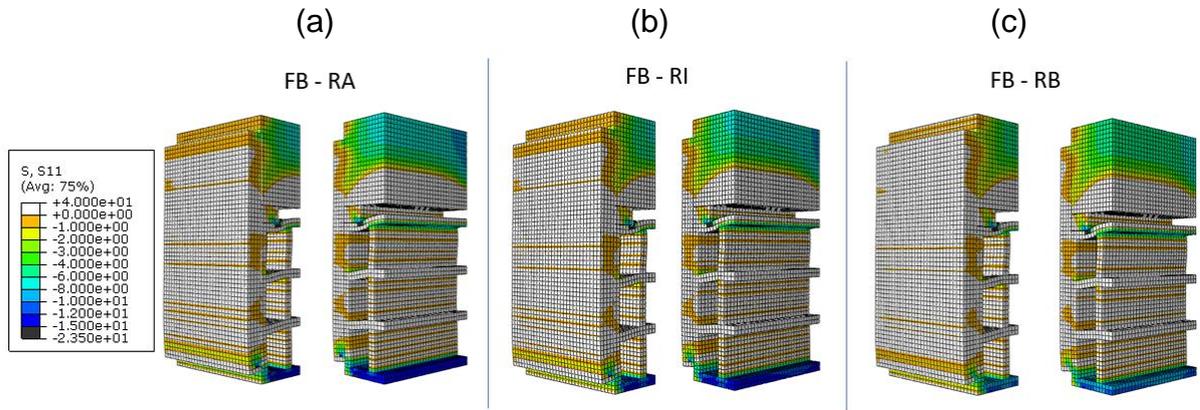
Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm 9 furos	-59,7	-22,36	-47,7	-82,12
FB-RA - 2 cm comum	-47,8	-29	-66,4	-67,5
FB-RI - 2 cm 9 furos	-50,32	-22,38	-45,4	-75,2
FB-RI - 2 cm comum	-40,19	-30,85	-62,76	-62,12
FB-RB - 2 cm 9 furos	-35,5	-25,5	-42,9	-64,3
FB-RB - 2 cm comum	-28,53	-33,15	-58,98	-53,19

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (figura 65) em compressão apresentaram um valor máximo de 24,4 MPa no bloco cerâmico.

Figura 65 Tensões horizontais de compressão para (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor.



Nas mesmas condições, há uma diminuição das tensões de compressão horizontais (S11) na parte superior do prisma, quando se trata da argamassa de revestimento, essa acaba não sofrendo tantas alterações em relação a troca do bloco de fixação. Já o bloco 9 furos sofre importantes alterações na distribuição de tensões tanto na parte inferior do bloco cerâmico quanto na ligação da argamassa de fixação superior com o bloco cerâmico (figura 66).

Figura 66 Comparação de compressão horizontal (a) bloco de fixação (b) bloco de 9 furos

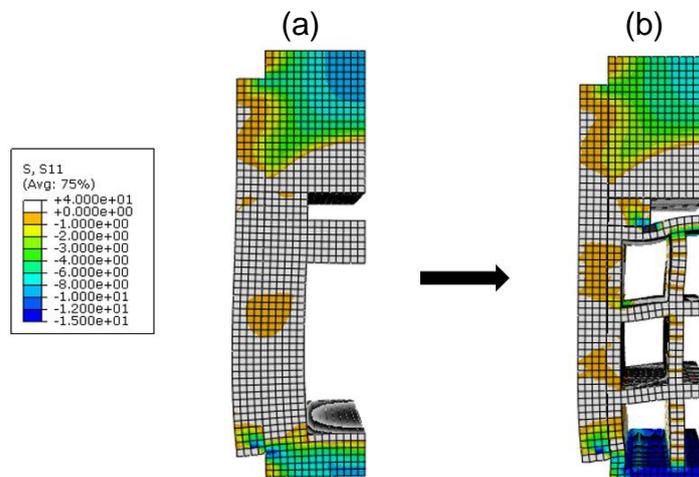


Tabela 21: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes revestimentos.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm 9 furos	-17,13	-11,5	-9,5	-23,5
FB-RA - 2 cm comum	-13,36	-1,51	-13,1	-12,8
FB-RI - 2 cm 9 furos	-14,2	-11,7	-8,6	-23,8
FB-RI - 2 cm comum	-11,56	-2,04	-11,74	-12,1
FB-RB - 2 cm 9 furos	-10,2	-12,2	-7,15	-24,4
FB-RB - 2 cm comum	-8,62	-2,95	-9,75	-10,47

Fonte: elaborado pelo autor.

4.4 Combinação para 1 e 3 cm de revestimento:

4.4.1 FB-RA

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 67) novamente apresentaram um valor máximo de tração na face inferior do revestimento externo. O prisma com 3 centímetros de argamassa de revestimento chega a valores de tensão de tração no valor de 11,86 MPa, o máximo valor de tração vertical no prisma com 1 cm de revestimento foi no valor de 4 MPa. Também podemos observar que há um aumento gradual nas tensões no maciço de concreto e no bloco cerâmico.

Figura 67 - Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (3) 2 centímetros. Fonte: autor.

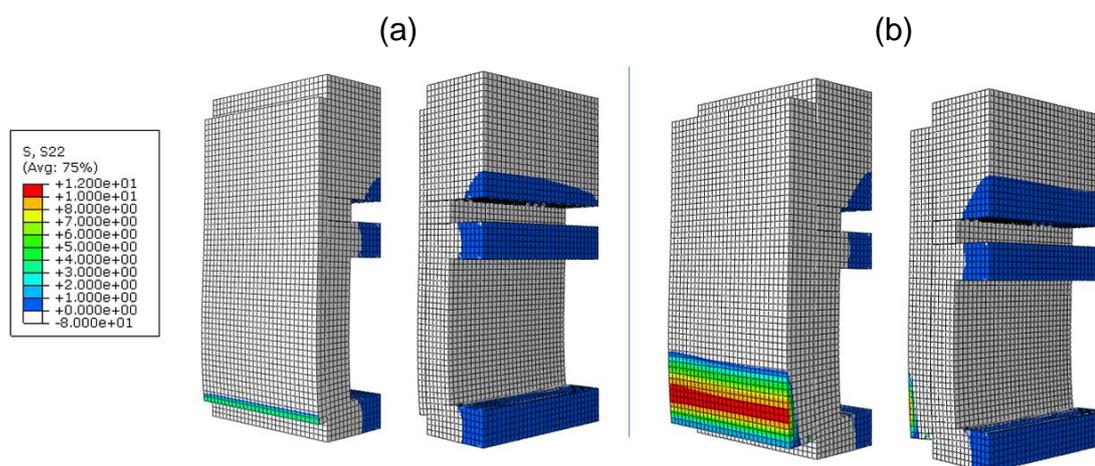


Tabela 22: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm revest.	4	0	0,16	1,67
FB-RA - 2 cm revest.	7,85	0	0,33	2,1
FB-RA - 3 cm revest.	11,86	0	0,62	2,4

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 68) apresentam um valor máximo de tração máximo no maciço de concreto no valor de 36,8 MPa. Podemos observar um aumento dos valores de tensão máximo na base do revestimento, porém novamente o valor se dá em uma região muito pequena. O aumento mais considerável que podemos observar na distribuição de tensões é o aumento dos valores na parte superior do bloco cerâmico, o que conforme já vimos anteriormente, é um indicativo de rompimento do bloco cerâmico.

Figura 68 Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.

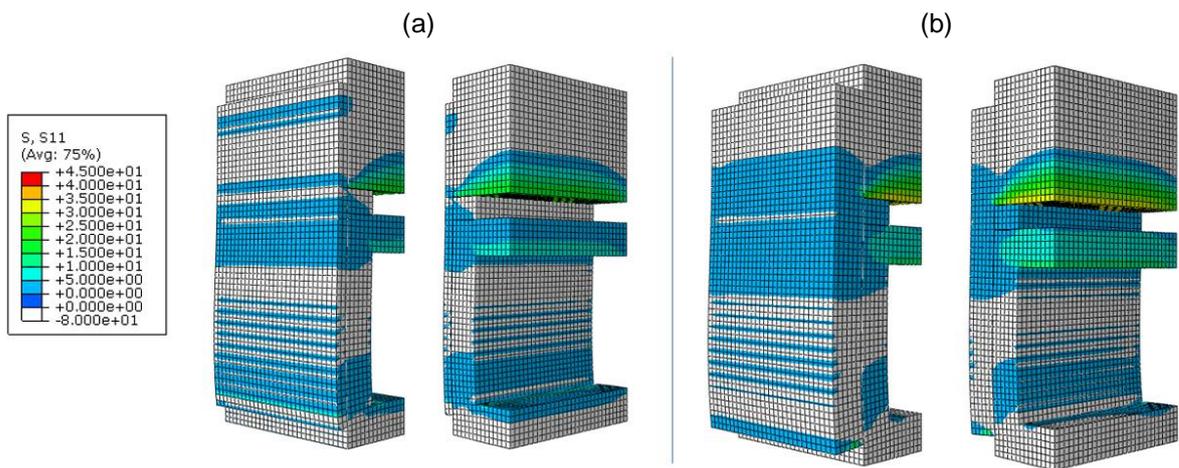


Tabela 23: Valores de tensões máximas (MPa) para diferentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm revest.	8,16	2,83	21,63	8,8
FB-RA - 2 cm revest.	14,33	4,26	29,52	12,25
FB-RA - 3 cm revest.	21,17	5,3	36,8	13,8

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 69) em compressão não apresentaram uma grande diferença de valores nos patamares de tensões que se estabelecem no revestimento, chegando a um valor máximo de 57,16 MPa. Um aumento considerável que podemos notar é quanto as tensões que aparecem na ligação entre o revestimento e o bloco cerâmico, na parte inferior do prisma.

Figura 69 Tensões verticais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.

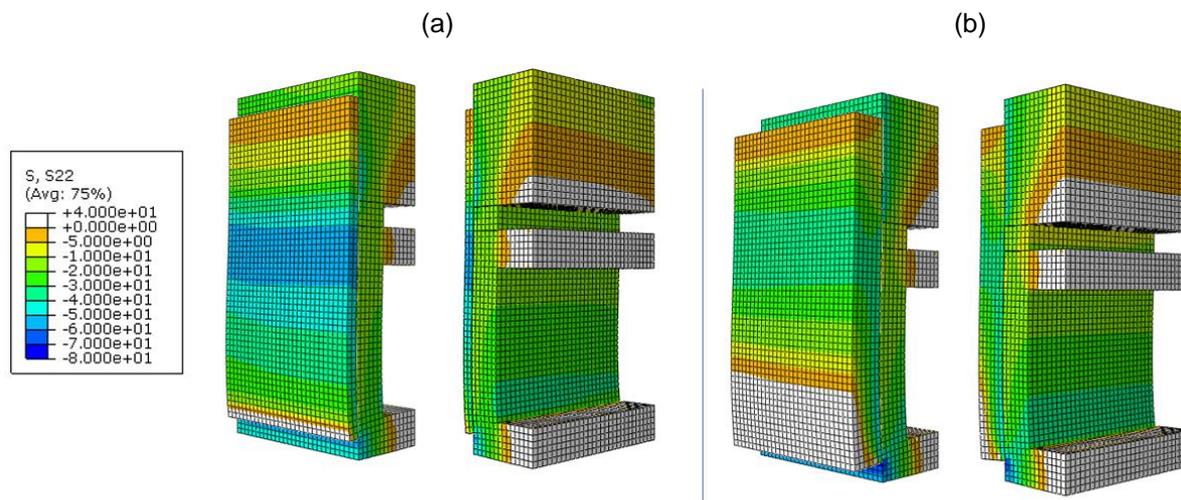


Tabela 23: Valores de tensões máximas (MPa) para diferentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm revest.	-57,16	-14,53	-67,43	-56
FB-RA - 2 cm revest.	-47,8	-29	-66,4	-67,5
FB-RA - 3 cm revest.	-50,88	-24,6	-59,25	-72,5

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para a tensão normal horizontal S11 (figura 70) em compressão apresentaram um valor máximo na parte superior do revestimento externo, na ligação com o maciço de concreto, chegando a um valor de 17,95 MPa. Outro ponto importante a se destacar são as tensões de compressão apresentadas na base do bloco de alvenaria e na parte superior do prisma.

Figura 70 - Tensões horizontais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor

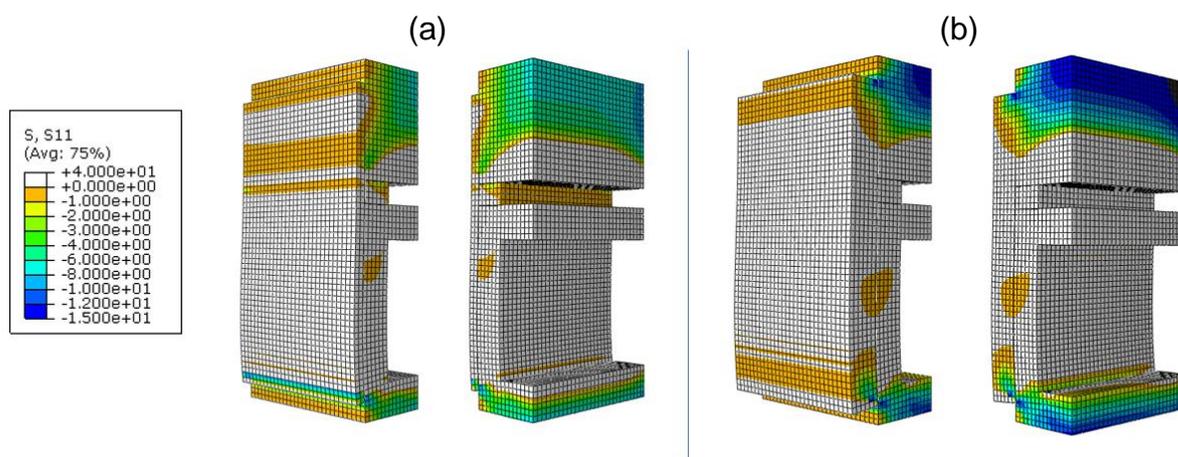


Tabela 24: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 1 cm revest.	-10,3	-3	-11,6	-11,25
FB-RA - 2 cm revest.	-13,36	-1,51	-13,1	-12,8
FB-RA - 3 cm revest.	-17,95	-0,35	-17,41	-13,47

Fonte: elaborado pelo autor.

4.4.2 FB-RI

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 71) novamente se apresentam de forma semelhante a combinação anterior. Um ponto a se destacar é a diminuição dos valores de tensão na argamassa de revestimento devido a diminuição do valor de módulo de elasticidade, que conseqüentemente diminui sua rigidez, o valor máximo de tensão apresentado na argamassa de revestimento foi de 8,6 MPa.

Figura 71 Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.

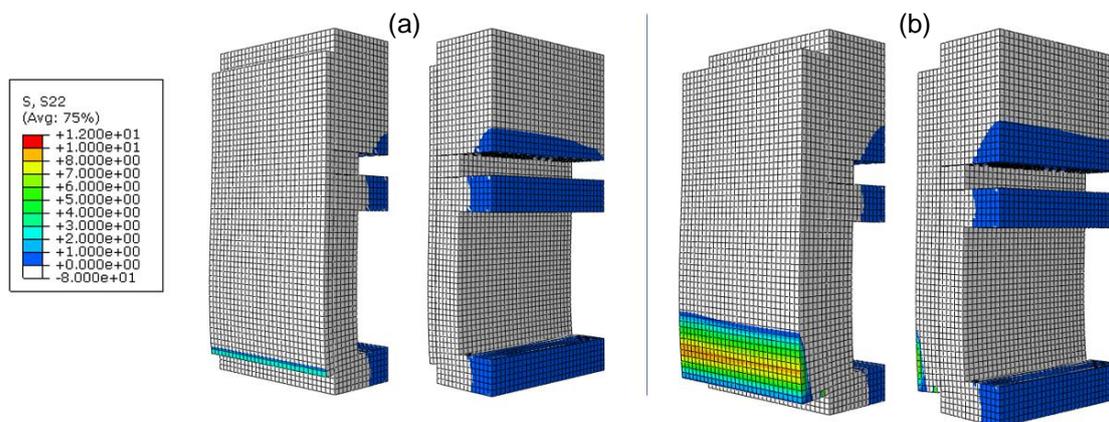


Tabela 25: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm revest.	3	0	0,12	1,26
FB-RI - 2 cm revest.	5,77	0	0,28	1,77
FB-RI - 3 cm revest.	8,6	0	0,43	1,42

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 72) de tração apresentaram um aumento nos valores de compressão para todo os componentes do prisma, comportamento muito semelhante ao já apresentado anteriormente.

Figura 72 Tensões horizontais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor.

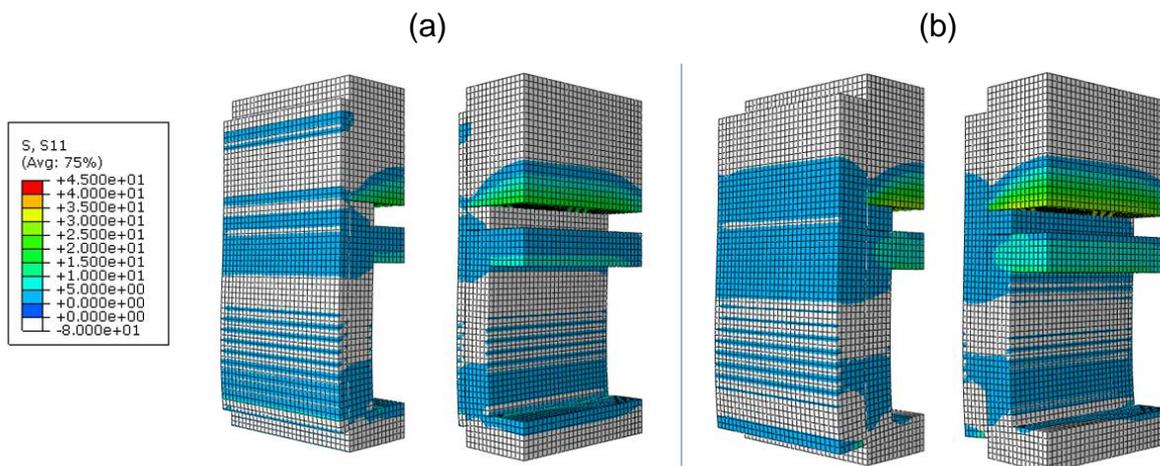


Tabela 25: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm revest.	6,77	2,55	19,9	8,19
FB-RI - 2 cm revest.	14,33	4,26	29,52	12,25
FB-RI - 3 cm revest.	16,33	4,97	33,36	13,14

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 73) em compressão não apresentaram uma significativa diferença na distribuição de tensões na argamassa de revestimento, o variação mais importante que podemos notar é a diminuição considerável dos valores de compressão na argamassa de fixação, lembrando que o esmagamento dessa argamassa pode representar o colapso do prisma, gerando deslocamento da argamassa de revestimento.

Figura 73 Tensões verticais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: O autor.

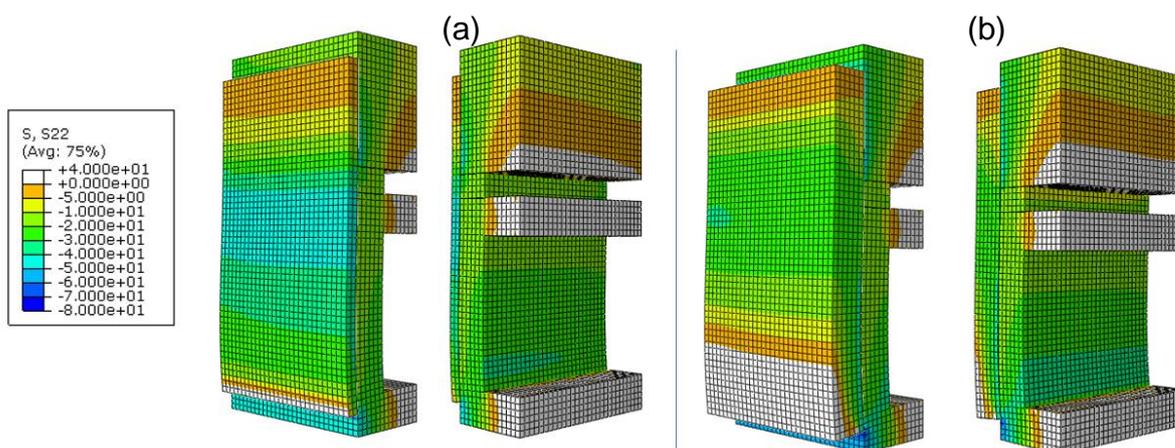


Tabela 26: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm revest.	-48,26	-34,4	-67,43	-63,9
FB-RI - 2 cm revest.	-40,19	-30,85	-62,76	-62,12
FB-RI - 3 cm revest.	-42,88	-26,94	-59,99	-66,84

Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação as tensões horizontais de compressão S11 (figura 74), o distribuição de tensões mostra um comportamento parecido ao já apresentado em FA-RA, com o valor de tração sendo no revestimento externo que está em contato com o maciço de concreto chegando a um valor de 14,61 MPa, outros dois valores que novamentos temos de considerar são as tensões apresentadas no topo do prisma e na base do bloco cerâmico.

Figura 74 Tensões horizontais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor

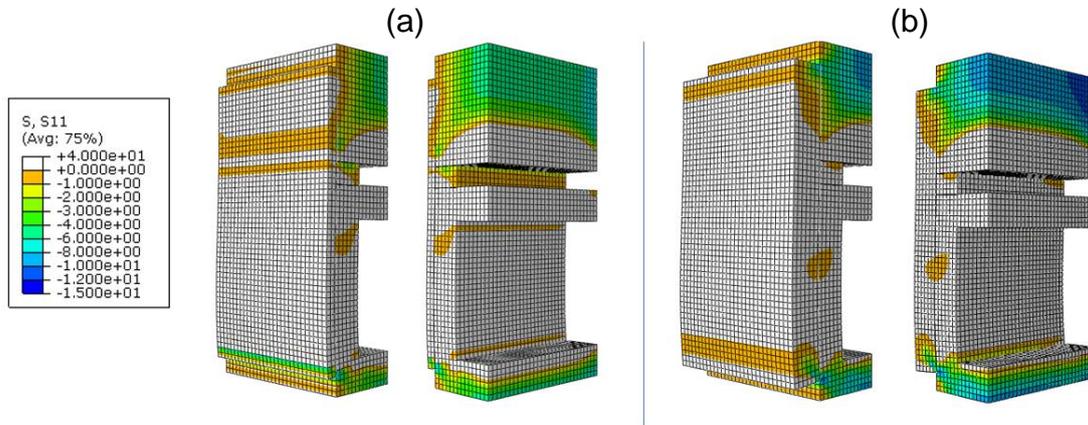


Tabela 27: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RI - 1 cm revest.	-8,4	-3,36	-10,94	-10,4
FB-RI - 2 cm revest.	-11,56	-2,04	-11,74	-12,1
FB-RI - 3 cm revest.	-14,61	-0,91	-15,53	-13,04

Fonte: elaborado pelo autor.

4.4.3 FB-RB

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 75) novamente se apresentam de forma semelhante as combinações anteriores. A máxima tensão apresentada se dá novamente na base do revestimento externo com um valor máximo de 5,1 MPa para o prisma com argamassa de revestimento fixada em 3 centímetros.

Figura 75 Tensões verticais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: O autor

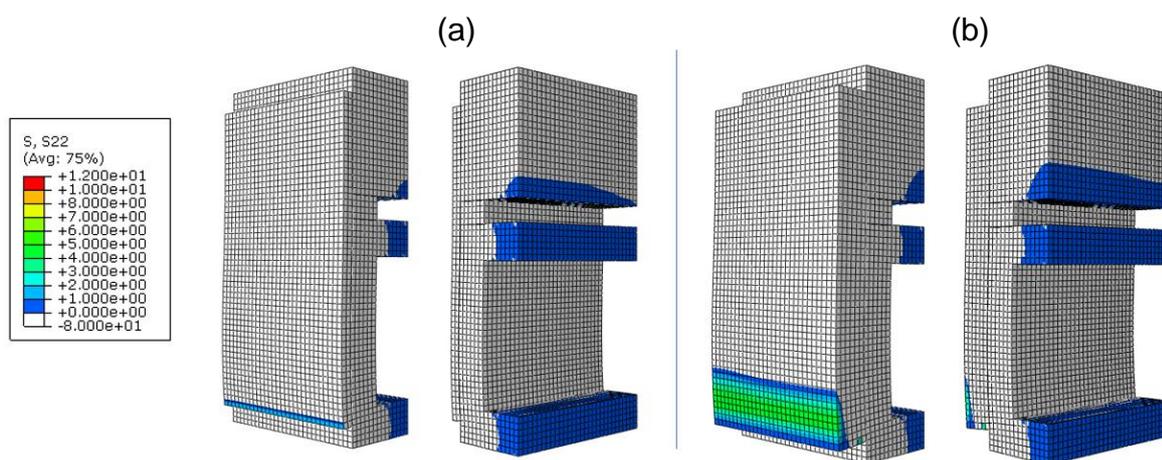


Tabela 28: Valores de tensões máximas (MPa) para diferentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm revest.	1,71	0	0,12	0,59
FB-RB - 2 cm revest.	3,54	0	0,18	1,17
FB-RB - 3 cm revest.	5,1	0	0,29	1,01

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 76) também se assemelham muito com o que já foi apresentado anteriormente, com uma ênfase na diminuição dos valores de tensão na argamassa de revestimento em relação as duas combinações iniciais, chegando a um valor máximo de 9,51 MPa.

Figura 76 Tensões horizontais de tração (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor

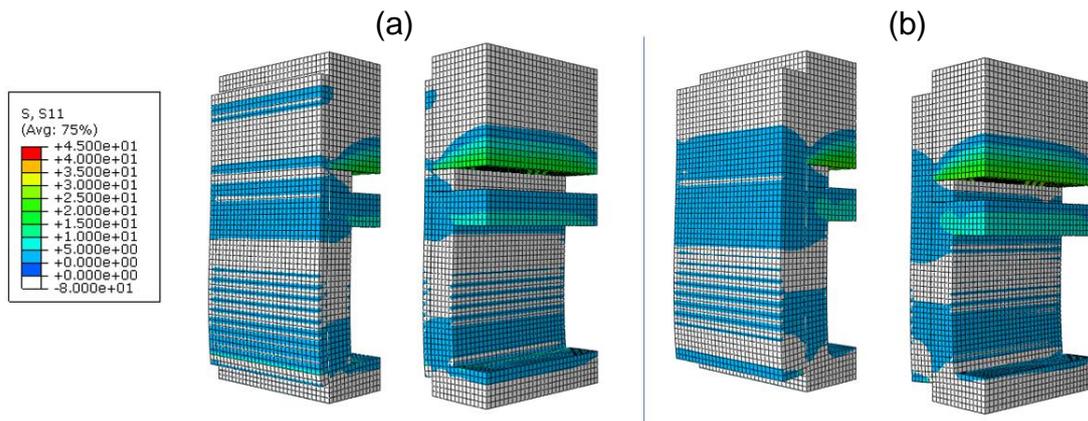


Tabela 29: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm revest.	4,74	2,06	17,42	7,14
FB-RB - 2 cm revest.	6,3	3,28	22,47	9,88
FB-RB - 3 cm revest.	9,51	4,2	27,31	11,75

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 77) em compressão novamente não apresentaram significativa diferença dos valores apresentados nas combinações iniciais, chegando um valor máximo no bloco de alvenaria de 57,26 MPa.

Figura 77 Tensões de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: O autor

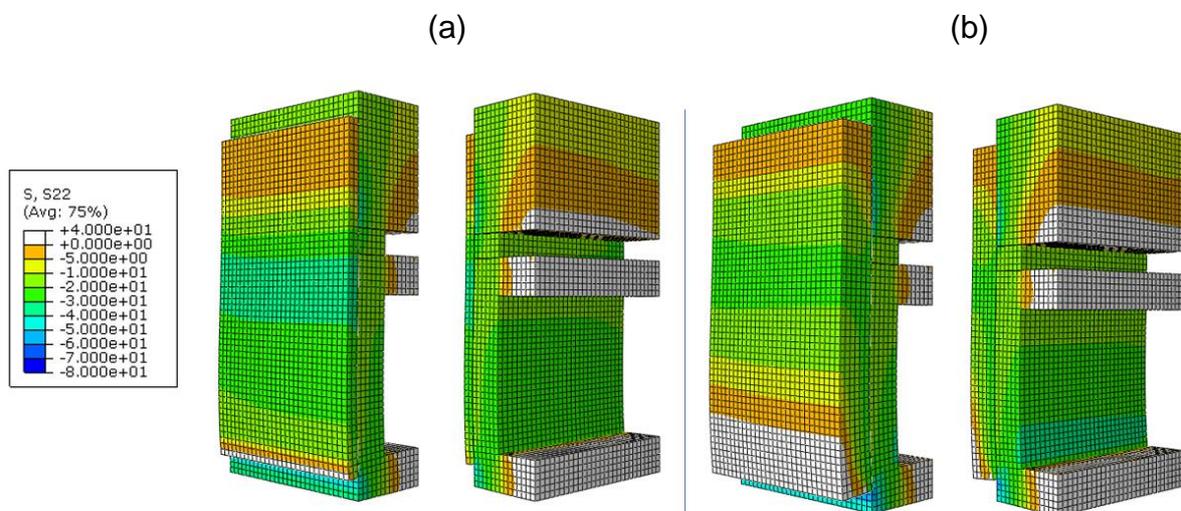


Tabela 30: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Combinação	Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Verticais (S22)			
	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm revest.	-34,53	-16,66	-57,34	-44,4
FB-RB - 2 cm revest.	-28,53	-33,15	-58,98	-53,19
FB-RB - 3 cm revest.	-30,53	-30,42	-56,5	-57,26

Fonte: elaborado pelo autor.

Em relação as tensões horizontais de compressão S11 (figura 78) novamente não há uma significativa mudança ao que já foi mencionado nas combinações anteriores chegando a um valor máximo de tensão no bloco maciço de concreto no valor de 11,68 MPa.

Figura 78 Tensões horizontais de compressão (a) 1 centímetro, (b) 3 centímetros. Fonte: autor

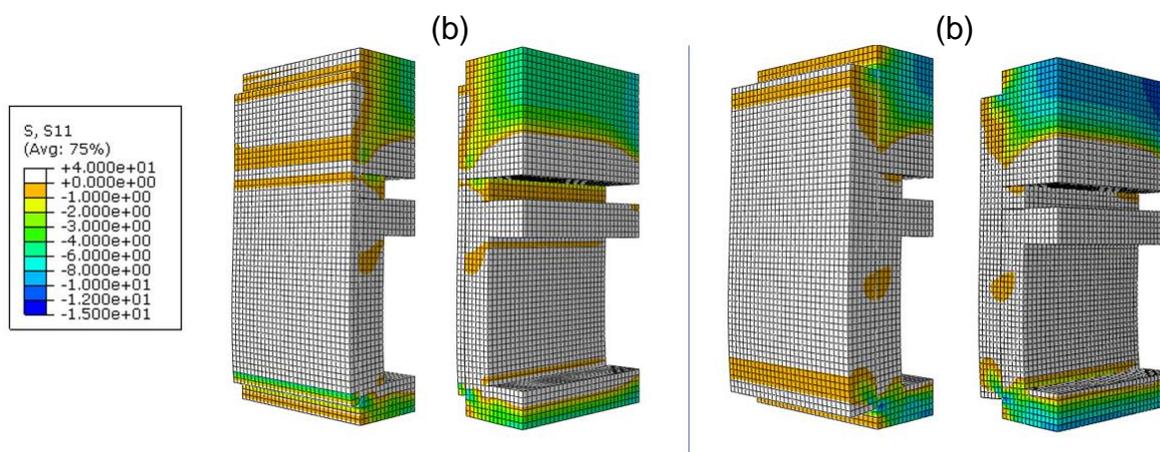


Tabela 31: Valores de tensões máximas (MPa) para difentes espessuras revestimentos.

Combinação	Influência da Espessura do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Horizontais (S11)			
	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RB - 1 cm revest.	-6,36	-3,86	-9,15	-8,71
FB-RB - 2 cm revest.	-8,62	-2,95	-9,75	-10,47
FB-RB - 3 cm revest.	-9,7	-1,96	-12,44	-11,68

Fonte: elaborado pelo autor.

4.5 Combinação FB-RA, FB-RI, FB-RB para zona de fixação superior totalmente preenchida:

Não houve mudança perceptível de tensões devido ao preenchimento do vão com argamassa de fixação, a alteração mais importante que podemos notar é o surgimento de tensões de tração no centro do prisma chegando a uma tensão de tração máxima de 1,51 MPa conforme figura 79.

Figura 79 Tensões horizontais de compressão (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB Fonte: autor.

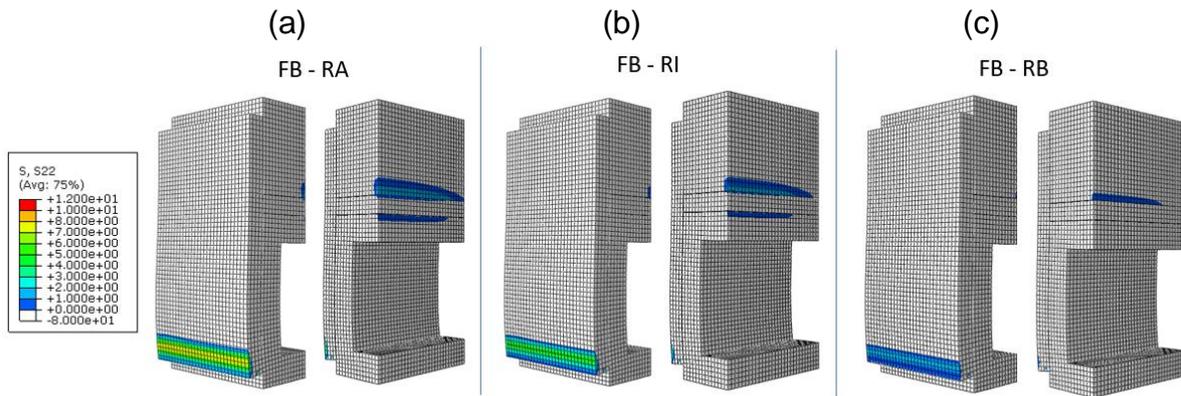


Tabela 32: Valores de tensões máximas (MPa) para diferentes preenchimentos de argamassa de fixação.

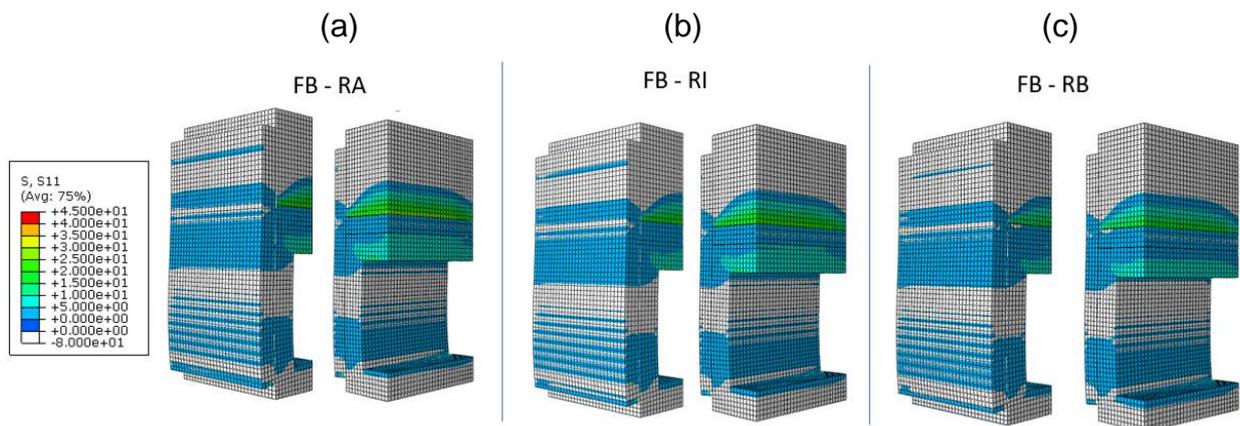
Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Mação de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm preenchido	7,91	1,51	2,97	2,91
FB-RA - 2 cm comum	7,85	0	0,33	2,1
FB-RI - 2 cm preenchido	5,82	1,25	2,47	1,91
FB-RI - 2 cm comum	5,77	0	0,28	1,77
FB-RB - 2 cm preenchido	3,59	0,77	1,58	1,37
FB-RB - 2 cm comum	3,54	0	0,18	1,17

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados da tensão normal horizontal S11 (figura 80) novamente não apresentam grande diferença de valores em relação as combinações iniciais, porém novamente é importante notar o aumento nas distribuição de tensões da argamassa de fixação.

Figura 80 Tensões horizontais de tração (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor



Análise Numérica Computacional do Ensaio de Avaliação da Zona de Fixação Superior de Alvenarias

Tabela 33: Valores de tensões máximas (MPa) para diferentes preenchimentos de argamassa de fixação.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Tração Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm preenchido	14,22	5,38	28,65	12,54
FB-RA - 2 cm comum	14,33	4,26	29,52	12,25
FB-RI - 2 cm preenchido	10,95	5	25,47	12,13
FB-RI - 2 cm comum	10,86	3,94	26,6	11,43
FB-RB - 2 cm preenchido	6,39	4,3	20,14	11,33
FB-RB - 2 cm comum	6,3	3,28	22,47	9,88

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para a tensão normal vertical S22 (figura 81) em compressão não apresentam significativa diferença de valores em relação as combinações iniciais em nenhum dos elementos do prisma, o comportamento da influência da rigidez da argamassa de revestimento continua semelhante aos já apresentados.

Figura 81 Tensões verticais de compressão (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor

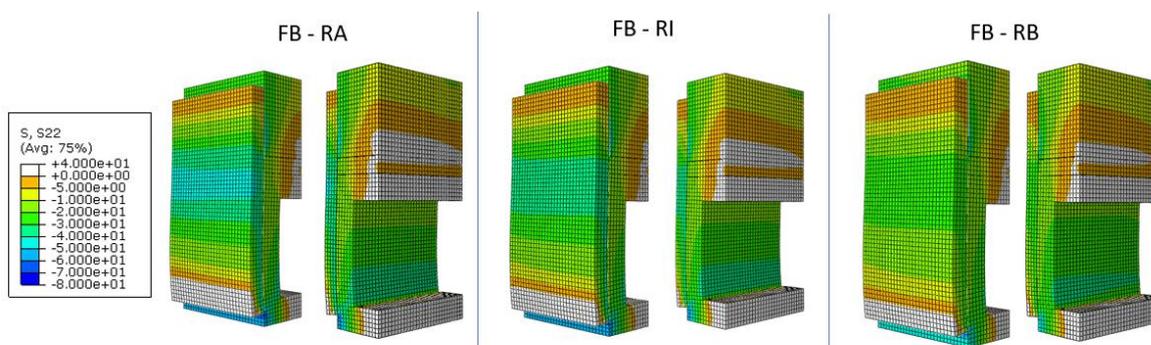


Tabela 34: Valores de tensões máximas (MPa) para diferentes preenchimentos de argamassa de fixação.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Verticais (S22)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm preenchido	-48	-28,19	-64,1	-67,92
FB-RA - 2 cm comum	-47,8	-29	-66,4	-67,5
FB-RI - 2 cm preenchido	-40,48	-29,8	-59,86	-62,6
FB-RI - 2 cm comum	-40,19	-30,85	-62,76	-62,12
FB-RB - 2 cm preenchido	-28,9	-31,78	-55,58	-53,98
FB-RB - 2 cm comum	-28,53	-33,15	-58,98	-53,19

Fonte: elaborado pelo autor.

Os resultados para a tensão normal horizontal S22 (figura 82) em compressão não apresentam nenhuma diferença significativa em relação as combinações iniciais,

a única diferença mais perceptível em relação as combinações iniciais é a diminuição nos valores máximos de compressão da argamassa de fixação.

Figura 82 Tensões horizontais de compressão (a) FB-RA, (b) FB-RI, (c) FB-RB. Fonte: autor

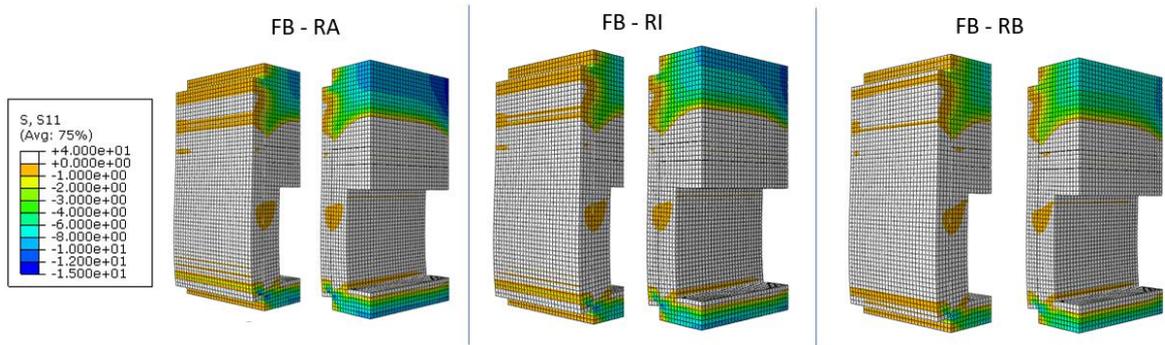


Tabela 34: Valores de tensões máximas (MPa) para diferentes preenchimentos de argamassa de fixação.

Influência da Rigidez do Revestimento no Prisma nas Tensões de Compressão Horizontais (S11)

Combinação	Revestimento Externo	Argamassa de Fixação Superior	Maciço de Concreto	Bloco Cerâmico
FB-RA - 2 cm preenchido	-13,41	-0,79	-12,36	-12,82
FB-RA - 2 cm comum	-13,36	-1,51	-13,1	-12,8
FB-RI - 2 cm preenchido	-11,62	-1,27	-10,96	-12,16
FB-RI - 2 cm comum	-11,56	-2,04	-11,74	-12,1
FB-RB - 2 cm preenchido	-8,7	-2	-9,29	-10,57
FB-RB - 2 cm comum	-8,62	-2,95	-9,75	-10,47

Fonte: elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Nesse item serão apresentadas as conclusões das análises numéricas realizadas considerando os parâmetros adotados no ensaio experimental de avaliação do comportamento da zona de fixação superior frente a deformações verticais com base na análise de resultados presente no capítulo 4.

- a) A rigidez da argamassa de fixação superior, para a maioria dos casos, não gera efeitos perceptíveis na distribuição de tensões do prisma;
- b) A rigidez da argamassa de revestimento, para a maioria dos casos, influencia de forma direta na distribuição de tensões do prisma;
- c) A espessura da argamassa de fixação superior não gera efeitos perceptíveis na distribuição de tensões do prisma;
- d) Para a maioria dos casos apresentados, a substituição do bloco de fixação por um bloco de 9 furos gera um aumento considerável de tensões em todas as direções;
- e) Para a grande maioria dos casos apresentados, a espessura de revestimento influencia diretamente, aumentando a distribuição de tensões em todos elementos quando se aumenta a espessura;
- f) O preenchimento total da zona de fixação superior não gera diferenças significativas na distribuição de tensões dos elementos do prisma.

6 REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. F. M. **Método dos elementos finitos**. 1a edição. Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

CALLISTER, D. W.; RETHWICH, G. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9ª edição. Grupo editorial nacional, 2013.

DALDON, M. **Fatores que podem estar contribuindo para o aparecimento de manifestações patológicas na zona de encunhamento de paredes em obras de Porto Alegre**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

HENZ, C. L. **Análise experimental de compatibilidade das argamassas de revestimento e encunhamento**. 2009. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. Third Edition. New York, U.S.A. The McGraw-Hill Companies, 2006. pp. 85-120

PEREIRA, N. D. **Otimização topológica de alavanca de freio de estacionamento veicular produzida em pla por1 via manufatura aditiva**. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ZINI, A. **Análise do comportamento conjunto da zona de fixação superior de alvenarias quanto à ocorrência e abrangência de manifestações patológicas decorrentes de deformações verticais impostas pela estrutura.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

**Análise Numérica Computacional do Ensaio de Avaliação da
Zona de Fixação Superior de Alvenarias**