

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

THAÍS DA CRUZ STALTER

**COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE
ARGAMASSAS DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS SUBMETIDOS A
COMPRESSÃO AXIAL**

**Alegrete
2019**

THAÍS DA CRUZ STALTER

**COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE
ARGAMASSAS DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS SUBMETIDOS A
COMPRESSÃO AXIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Alisson Simonetti Milani

Coorientador: Jaelson Budny

**Alegrete
2019**

THAÍS DA CRUZ STALTER

COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CORPOS DE PROVA DE
ARGAMASSAS DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS SUBMETIDOS A
COMPRESSÃO AXIAL

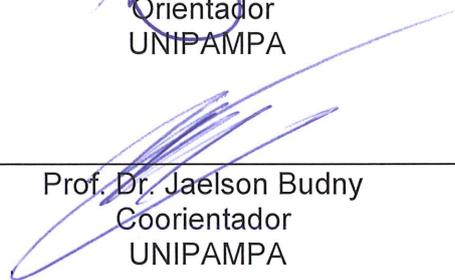
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Civil da Universidade Federal do
Pampa, como requisito parcial para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 26, novembro de
2019.

Banca examinadora:



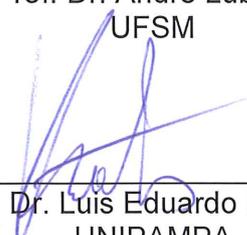
Prof. Dr. Alisson Simonetti Milani
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. Jaelson Budny
Coorientador
UNIPAMPA



Prof. Dr. André Lubeck
UFSM



Prof. Dr. Luis Eduardo Kostas
UNIPAMPA

Dedico este trabalho aos meus pais,
Fátima e João Carlos, que nunca
mediram esforços para que este
sonho se tornasse realidade.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais, Fátima e João Carlos, por estarem sempre presentes me dando todo auxílio necessário para nunca desistir.

Agradecer aos meus irmãos, Guilherme e Marcel, pelo carinho e por todo o apoio. Mesmo com a distância buscam sempre estar presentes.

Ao meu namorado, Douglas, por todo o suporte e carinho em épocas difíceis. Por sempre me incentivar a acreditar no meu potencial e sempre buscar o melhor.

Aos meus mentores, Alisson Simonetti Milani e Jaelson Budny, por toda a ajuda e disponibilidade de tempo para orientação, não apenas no decorrer deste trabalho, mas de toda a graduação.

A todos os amigos que fiz nesses anos de graduação pela parceria, pela paciência e por todo o carinho.

Por fim, agradeço a todos, que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho.

“Que todos nossos esforços estejam sempre focados no desafio da impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível.”

Charles Chaplin

RESUMO

O comportamento real da argamassa em juntas de assentamento, bem como a determinação das suas propriedades mecânicas é de difícil reprodução em laboratório, em função dos efeitos de confinamento exercidos pelo bloco e das modificações resultantes da troca hídrica entre blocos e argamassa, o que acaba resultando em conhecimento pouco difundido do assunto. Em consequência disso esse trabalho busca aprofundar o conhecimento referente ao comportamento mecânico da argamassa de assentamento comprimida axialmente. Para isso foram estudados dois diferentes traços de argamassa (1:0,5:4 e 1:1:6), medidos em volume de cimento, cal e areia, e duas diferentes alturas de corpos de prova (100 mm e 33 mm), com os quais foram realizados ensaios de compressão em corpos de provas cilíndricos instrumentados com *strain gauges*, de forma a avaliar a influência da resistência e do grau de confinamento da argamassa em relação ao comportamento tensão-deformação, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson. Com os resultados encontrados verificou-se que as argamassas de maior resistência apresentaram deformações na ruptura e módulo de elasticidade superiores e que com o aumento do confinamento ocorre uma redução do módulo de elasticidade. O coeficiente de Poisson apresentou diferentes padrões de comportamento de acordo com as condições de confinamento, no caso das argamassas menos confinadas ele se manteve constante com leves variações, já nas mais confinadas as variações foram mais acentuadas a partir do nível crítico de tensão atingido.

Palavras-chave: Argamassa de assentamento. Tensão-deformação. Módulo de elasticidade. Coeficiente de Poisson. Compressão axial.

ABSTRACT

The real behavior of the mortar in laying joints as the determination of its mechanical properties is difficult to reproduce in the laboratory, due to the confinement effects caused by the block and the changes resulting from the water exchange between blocks and mortar, which eventually results in little known knowledge of the subject. Thus, this work seeks to deepen the knowledge regarding the mechanical behavior of axially compressed mortar. For this, two different mortar traces (1:0.5:4 and 1:1:6), measured in volume of cement, lime and sand, and two different specimen heights (100 mm and 33 mm), with which compression tests were performed on strain gauges instrumented cylindrical specimens, in order to evaluate the influence of mortar strength and degree of confinement in relation to stress-strain behavior, modulus of elasticity and Poisson's ratio. With the results achieved, it has been verified that the mortars with higher resistance presented superior deformation of the rupture and modulus of elasticity and that with the increase of the confinement there is a reduction of the modulus of elasticity. Poisson's coefficient showed different behavioral patterns according to the confinement conditions. In the case of less confined mortars, it remained constant with slight variations. In the most confined mortars, the variations were more pronounced from the critical stress level reached.

Palavras-chave: Mortar. Stress-strain. Modulus of elasticity. Poisson's ratio. Axial compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição das tensões nos materiais sob compressão axial	29
Figura 2 - Tensões laterais desenvolvidas em função da aderência bloco-argamassa.....	30
Figura 3 - Comportamento tensão-deformação da argamassa confinada.....	34
Figura 4 - Modelo de Ottosen (1979) e Mohamad et al. (2015) para a variação do coeficiente de Poisson	36
Figura 5 - Variação volumétrica e variação do coeficiente de Poisson da argamassa e do concreto	38
Figura 6 - Curva granulométrica da areia.....	42
Figura 7 – Verificação do índice de consistência.....	44
Figura 8 – Molde dos corpos de provas prismáticos.....	45
Figura 9 – Molde dos corpos de provas cilíndricos.....	46
Figura 10 – Corpo de prova cilíndrico com altura de 100mm.....	47
Figura 11 – Equipamentos utilizados para o ensaio.....	48
Figura 12 – Posicionamento do corpo de prova, célula de carga e fios que conectam os <i>strain gauges</i> com o HBM spider 8.....	48
Figura 13 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4)	52
Figura 14 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova com altura de 30 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4)	53
Figura 15 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova com altura de 100 mm e traço II de argamassa (1:1:6)	53
Figura 16 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova com altura de 30 mm e traço II de argamassa (1:1:6)	54
Figura 17 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado - Traço I (1:0,5:4) - altura de 100 mm.....	57
Figura 18 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado - Traço I (1:0,5:4) - altura de 30 mm.....	57
Figura 19 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado - Traço II (1:1:6) - altura de 100 mm.....	58
Figura 20 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado - Traço II (1:1:6) - altura de 30 mm.....	58

Figura 21 – Corpos de prova ensaiados - traço I (1:0,5:4), altura 100 mm	60
Figura 22 – Corpos de prova ensaiados - traço I (1:0,5:4), altura 33 mm	60
Figura 23 – Corpos de prova ensaiados - Traço II (1:1:6), altura 100 mm.....	60
Figura 24 – Corpos de prova ensaiados - Traço II (1:1:6), altura 33 mm.....	61
Figura A1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	67
Figura A2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	67
Figura A3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	68
Figura A4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	68
Figura A5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	69
Figura B1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	70
Figura B2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	70
Figura B3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	71
Figura B4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	71
Figura B5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).....	72
Figura C1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	73
Figura C2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	73
Figura C3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	74

Figura C4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	74
Figura C5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	75
Figura D1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	76
Figura D2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	76
Figura D3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	77
Figura D4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	77
Figura D5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).....	78
Figura E1 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:0,5:4), altura de 100 mm.....	79
Figura E2 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:0,5:4), altura de 100 mm.....	79
Figura E3 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:0,5:4), altura de 100 mm.....	80
Figura E4 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:0,5:4), altura de 100 mm.....	80
Figura E5 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:0,5:4), altura de 100 mm.....	81
Figura F1 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 1, traço (1:0,5:4), altura de 33 mm.....	82
Figura F2 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:0,5:4), altura de 33 mm.....	82
Figura F3 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:0,5:4), altura de 33 mm.....	83
Figura F4 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:0,5:4), altura de 33 mm.....	83
Figura F5 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:0,5:4), altura de 33 mm.....	84

Figura G1 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 1, traço (1:1:6), altura de 100 mm.....	85
Figura G2 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:1:6), altura de 100 mm.....	85
Figura G3 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:1:6), altura de 100 mm.....	86
Figura G4 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:1:6), altura de 100 mm.....	86
Figura G5 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:1:6), altura de 100 mm.....	87
Figura H1 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 1, traço (1:1:6), altura de 33 mm.....	88
Figura H2 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:1:6), altura de 33 mm.....	88
Figura H3 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:1:6), altura de 33 mm.....	89
Figura H4 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:1:6), altura de 33 mm.....	89
Figura H5 - Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:1:6), altura de 33 mm.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Coeficiente angular da reta para os traços ensaiados por diferentes pesquisadores.....	32
Tabela 2 - Resultado das porcentagens retidas da amostra 1	41
Tabela 3 – Resultado das porcentagens retidas da amostra 2	41
Tabela 4 – Resultados finais da granulometria da areia ensaiada	42
Tabela 5 – Medidas do traço I.....	43
Tabela 6 – Medidas do traço II	44
Tabela 7 – Resultados da resistência a tração na flexão e a compressão - Traço I (1:0,5:4) CP's Prismáticos	50
Tabela 8 – Resultados da resistência a tração na flexão e a compressão - Traço II (1:1:6) - CP's Prismáticos	51
Tabela 9 – Resultados da resistência máxima de compressão e módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 Ruptura da alvenaria estrutural.....	22
2.2 Confinamento da argamassa	24
2.2.1 Resistência à compressão da argamassa.....	26
2.2.2 Comportamento tensão-deformação da argamassa	28
2.2.3 Módulo de elasticidade da argamassa	29
2.2.4 Coeficiente de Poisson da argamassa	30
3 METODOLOGIA.....	34
3.1 Considerações iniciais	34
3.2 Materiais utilizados	35
3.3 Caracterização dos materiais componentes da argamassa	35
3.3.1 Granulometria da areia.....	35
3.3.2 Massa unitária dos componentes da argamassa	38
3.4 Preparação da argamassa.....	38
3.5 Comportamento mecânico da argamassa	40
3.5.1 Resistência à tração na flexão e à compressão	40
3.5.2 Comportamento tensão-deformação, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson	41
4. RESULTADOS	45
4.1. Resistência à tração na flexão e à compressão	45
4.2. Comportamento tensão-deformação, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson	46
4.2.1 Comportamento tensão-deformação.....	47
4.2.2. Módulo de Elasticidade	49
4.2.3 Coeficiente de Poisson.....	51
4.2.4 Ruptura das amostras	54
5. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS.....	58
APÊNDICE A - Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:0,5:4), altura 100 mm.....	67
APÊNDICE B - Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:0,5:4), altura 33 mm.....	70

APÊNDICE C - Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:1:6), altura 100 mm.....	73
APÊNDICE D - Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:1:6), altura 33 mm.....	76
APÊNDICE E - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:0,5:4), altura 100 mm.....	79
APÊNDICE F - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:0,5:4), altura 33 mm.....	82
APÊNDICE G - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:1:6), altura 100 mm.....	85
APÊNDICE H - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:1:6), altura 33 mm.....	88

1 INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um método construtivo que desde a antiguidade vem sendo amplamente utilizado pelo ser humano, tanto em construções residências como em monumentos e templos religiosos, AMRHEIN (1978). Como cita Taly (2010), a história da alvenaria estrutural pode ser considerada como o marco inicial da engenharia civil, pois a disponibilidade natural de pedras fez com que a alvenaria se tornasse o material de construção mais antigo conhecido pelo homem.

Por tratar-se de um método antigo, até o início do século XX, o dimensionamento da estrutura era em função da aplicação de regras empíricas e do pouco conhecimento técnico (LUBECK, 2016). O que resultava em um superdimensionamento, gerando edificações bem mais robustas do que as vistas atualmente.

Com o passar dos anos, as técnicas construtivas foram sendo aperfeiçoadas e paralelamente a isso o domínio dos materiais foi aumentando. De acordo com Lubeck (2016), foi com o avanço dos domínios dos materiais juntamente com o aumento de conhecimento das técnicas construtivas e padronização das mesmas, que surgiu a possibilidade de a alvenaria estrutural ser uma opção para edificações de grande altura.

Com isso, a alvenaria estrutural foi ganhando espaço no mercado mundial, porém, no Brasil, durante muito tempo ela foi um método pouco utilizado. De acordo com Juste (2001), isto ocorreu em vista do preconceito em cima do método construtivo pouco dominado, em contrapartida ao concreto armado, que os construtores e projetistas já possuíam um domínio muito maior da tecnologia. Este preconceito existia também devido ao escasso número de pesquisas e publicações em português, pois boa parte da bibliografia encontrada era estrangeira e com isso acabavam por abordar as especificidades do país de origem. Em consequência disso existia pouca abordagem do assunto dentro das universidades, formando profissionais leigos a essa técnica construtiva.

Apenas no início da década de 1980 que a alvenaria estrutural chamou a atenção e o maior interesse da indústria da construção civil brasileira e isto se deu ao fato das inúmeras vantagens que ela oferece. Porém o pouco conhecimento técnico sobre o sistema e o baixo investimento no mesmo foram

decisivos para o surgimento de inúmeras patologias apresentadas pelas edificações. Em resposta a isso, a partir da década de 90, surgiram investimentos por parte do governo e também avanços da tecnologia brasileira em relação a alvenaria estrutural, o que gerou um crescimento expressivo na adoção desta técnica construtiva no país (COSTA, 2015).

A partir de então, o interesse por esse sistema estrutural começou a crescer notoriamente no país, pois passou a ser utilizado como uma alternativa técnica e economicamente viável para suprir o grande déficit habitacional existente no Brasil (PASQUALI, 2007). A escolha pelo uso dessa alternativa caracterizou-se pelas vantagens que este sistema possui quando comparado a outros sistemas convencionais.

Segundo Mohamad (2007), a alvenaria estrutural apresenta uma grande vantagem econômica que é consequência da possibilidade de otimização das tarefas na obra, pois este sistema possui técnicas de execução mais simplificadas e possibilita um maior controle nas etapas de produção e eliminação de interferências, devido a isso existe uma redução do desperdício de materiais produzidos pelo constante retrabalho. Sabendo disso, pode-se afirmar que este sistema estrutural, quando bem projetado e executado, torna-se um sistema muito eficiente, pois minimiza o desperdício de materiais e aumenta a velocidade da obra, gerando um resultado final mais econômico. Por isso, a alvenaria estrutural pode ser descrita como um sistema que atende as demandas de planejamento, custo competitivo, agilidade no tempo de obra racionalização e maior controle de execução e projeto. (PARSEKIAN e SOARES, 2010).

Como resultado da grande vantagem econômica que alvenaria estrutural representa, esta técnica conquistou seu espaço e é amplamente utilizada em todas as regiões do país, o que a tornou um sistema estrutural bastante competitivo quando comparado a técnicas convencionais como concreto armado e aço.

A alvenaria estrutural corresponde a uma técnica construtiva em que as paredes funcionam como elementos de vedação e elementos estruturais simultaneamente. Esta técnica nada mais é que a união de diferentes materiais, blocos e argamassa, os quais são justapostos para compor a alvenaria. A resistência da alvenaria é caracterizada em função da sua carga última de

ruptura, e como cita Mohamad (2009), o fator que caracteriza o potencial que esta técnica possui para suporte de carga de um elemento estrutural, é a resistência à compressão da parede.

De acordo com Muller e Agopyan (1991, apud Costa, 2015), existe uma interação entre os blocos e a argamassa em função da aderência que os mesmos possuem, devido a isso a realização dos ensaios de compressão dos blocos e argamassa, quando feitos separadamente, não resultam em uma boa avaliação do comportamento mecânico da parede de alvenaria estrutural. Mohamad e Roman (1999) explicam que quando a alvenaria é exposta a esforços de compressão simples, dependendo da rigidez que os materiais utilizados possuem, a junta de argamassa fica submetida a um estado triaxial de tensões, os quais geram tensões de confinamento na mesma, e que este confinamento é responsável por uma mudança significativa no comportamento mecânico da argamassa.

Mohamad (1998) descreve a argamassa como o elo da alvenaria e define suas principais funções como: unir as unidades, distribuir as tensões ao longo de toda a seção do bloco e acomodar as deformações. Entretanto, como cita Lubeck (2016), é corriqueiro no meio técnico a consideração de que a resistência da argamassa de assentamento tenha poucos efeitos sobre a resistência da alvenaria, levando a crer que o desempenho da argamassa no estado fresco é mais importante do que no estado endurecido, contudo, durante a análise do modo de ruptura da alvenaria é possível notar que as propriedades da argamassa no estado endurecido podem resultar em mudanças na dinâmica de propagação do dano na alvenaria.

Sabe-se que as estruturas em alvenaria são caracterizadas em função apenas de sua carga última de ruptura, no entanto estudos já realizados mostram que a ruptura da estrutura pode ocorrer devido ao esmagamento da junta de assentamento da argamassa, com valores de carga inferiores ao de carga última de ruptura. De acordo com Lubeck (2016), este fato negligenciado deve-se a dificuldade de reproduzir e identificar a ocorrência do fenômeno experimentalmente, em função disso ainda não é claro como que ocorrem as alterações das propriedades mecânicas da argamassa, como coeficiente de Poisson, variação volumétrica e deformações específicas.

A evolução da alvenaria estrutural como técnica construtiva andou em conjunto com o aumento das pesquisas e publicações específicas sobre o tema. Em resultado a isso ficou evidente a falta de conhecimento em relação ao comportamento do material, bloco e argamassa, principalmente próximo a ruptura.

De acordo com Silva (2007), na alvenaria sob compressão, a argamassa tende a expandir lateralmente mais do que o bloco, mas como ela é ligada mecanicamente com o bloco a expansão é restringida, e com isso surgem as tensões de trações nos blocos e de compressão na argamassa. Submetendo o bloco a um estado biaxial de tensões e a argamassa a um estado triaxial de tensões, gerando o estado de tensão de confinamento na argamassa de assentamento. Com o aumento da aplicação de carga na alvenaria a tensão de confinamento na argamassa aumenta e em determinado momento as propriedades mecânicas da argamassa de assentamento se modificam e isso acaba influenciando na resistência do conjunto.

Como cita Mohamad (2009), é pequeno o número de estudos que foram realizados para determinar as mudanças no comportamento das propriedades mecânicas das argamassas à compressão, muitas vezes essas propriedades são tratadas como constantes ou obtidas através de ensaios uniaxiais, o qual não representa o estado real de tensões na alvenaria. Devido ao fato da alvenaria se tratar de um material composto, anisotrópico e heterogêneo, ela acaba gerando grandes dificuldades para estabelecer o seu comportamento (PASQUALI, 2007).

De acordo com Mohamad e Roman (1999), as diferenças que as propriedades mecânicas dos materiais que compõe a alvenaria possuem, em especial o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson, são apontados como a causa principal da diminuição da resistência a compressão que existe na alvenaria.

Portanto, para melhorar o desempenho da alvenaria e para um melhor entendimento da mesma, é importante suprir esta falta de conhecimento quanto ao comportamento mecânico dos materiais, sendo que o mesmo depende do conhecimento das propriedades mecânicas dos componentes individualmente e da interação entre eles. Por isto, este trabalho visa aprofundar o estudo referente

as mudanças do comportamento mecânico da argamassa e pelos motivos já citados justifica-se o desenvolvimento do mesmo.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é avaliar as variações das propriedades mecânicas das argamassas de assentamento comprimidas axialmente, com diferentes resistências e graus de confinamento.

1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar a influência da resistência à compressão e do grau de confinamento da argamassa de assentamento sobre as seguintes propriedades mecânicas:

- Comportamento tensão – deformação;
- Módulo de elasticidade;
- Coeficiente de Poisson.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Ruptura da alvenaria estrutural

A alvenaria estrutural corresponde a um método construtivo, que em sua forma tradicional, é constituído por blocos sobrepostos em argamassas. Por tratar-se de um método formado pela composição de materiais heterogêneos, desde os primeiros estudos até atualmente existem dificuldades de se estabelecer o seu comportamento.

Ao longo dos anos, diversos pesquisadores dedicaram tempo a estudos relacionados ao comportamento da alvenaria estrutural e seu modo de ruptura, como por exemplo: Hilsdorf (1969), Atkinson et al. (1985), Knutsson (1993), Mohamad (1998, 2007), Mohamad, Lourenço e Roman (2007) e Lubeck (2016). De acordo com Lubeck (2016), uma gama variada de autores buscou descrever e identificar o modo de ruptura da alvenaria, baseando-se no conhecimento das propriedades dos seus componentes. Os estudos realizados baseavam-se em avaliações feitas com prismas, alvenarias ou pequenas paredes, através da realização de experimentos e análises numéricas.

Hilsdorf (1969) foi um dos primeiros pesquisadores a definir e justificar a ruptura da alvenaria. Seu estudo foi um dos primeiros direcionado aos mecanismos de ruptura da alvenaria comprimida, o qual tinha por base predominante os critérios de similaridades entre tensões dos materiais (MOHAMAD, 1998). Com os resultados de seus estudos, Hilsdorf (1969) constatou que ruptura da alvenaria seria governada pela interação entre seus componentes, bloco e argamassa e que a ruptura ocorreria quando a resistência da argamassa fosse ultrapassada.

Mohamad, Lourenço e Roman (2007) fizeram um estudo experimental utilizando prismas formados com blocos de concreto vazado e quatro tipos diferentes de argamassa (1:1:6; 1:2:9; 1:0,5:4,5; 1:0,25:3). Estes prismas foram submetidos a ensaios de compressão axial e no decorrer do ensaio foram medidas as deformações axiais e laterais. Com os resultados do estudo os autores conseguiram constatar que a forma de ruptura dos prismas de concreto foi dependente do tipo de argamassa utilizada. De acordo com os autores, nos ensaios em que se tinha argamassa de traço forte ocorreu tensões de tração no

bloco devido à maior deformabilidade da argamassa, já nas argamassas com traço fraco ocorreu a formação de fissuras no bloco próximo à junta de argamassa, indicando o possível esmagamento da junta.

Em conclusão a este estudo, Mohamad, Lourenço e Roman (2007), afirmam que a carga última do prisma só é atingida após o acontecimento de três fenômenos, os quais interagem entre si. Sendo o primeiro quando acontece a perda da coesão da argamassa, o segundo quando ocorre o esmagamento da argamassa e o terceiro quando a parede do bloco fissa e o prisma rompe. Em consequência disto os autores destacam que para alcançar um completo entendimento e conseguir caracterizar os fenômenos que envolvem a ruptura da alvenaria é de suma importância entender o papel do coeficiente de Poisson da argamassa sobre o comportamento do conjunto.

Afshari e Kaldjan (1989, apud Mohamad, 1998) citam em suas pesquisas que a diminuição da resistência da alvenaria à compressão ocorre em função dos fatores que são responsáveis pelo surgimento das tensões horizontais. Os autores citam como fatores a espessura da junta de argamassa, a proporção de rigidez entre módulo de elasticidade da argamassa e bloco e o coeficiente de Poisson dos materiais.

Portando, é notório que as argamassas de assentamento exercem uma grande influência no desempenho da alvenaria estrutural e, de acordo com as bibliografias consultadas, pode-se afirmar que as formas de ruptura da alvenaria dependem do comportamento das características mecânicas dos materiais constituintes da mesma. Em consequência a isso, a falta desse conhecimento pode resultar em problemas na estrutura e até insegurança da mesma, em função do mau uso do material.

Mohamad (1998), em conclusão ao seu estudo, afirma que mesmo com o interesse e o grande número de pesquisas voltados para a alvenaria estrutural, a mesma ainda possui um comportamento que não é completamente entendido. Este fato acaba resultando na aplicação de generalizações, as quais podem acabar por não corresponder a realidade de fato. Em consequência a isso a utilização desse sistema construtivo não aproveita todo o potencial que poderia ser usado.

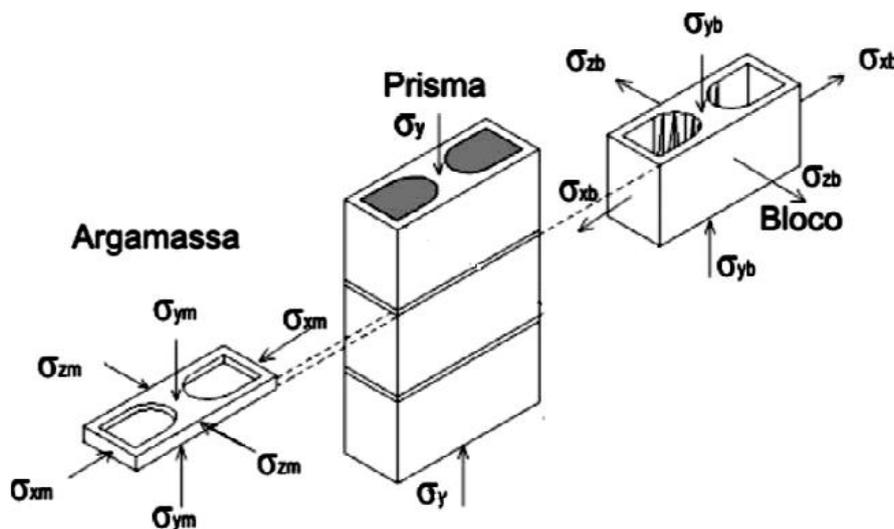
2.2 Confinamento da argamassa

Para melhorar o desempenho da alvenaria estrutural é importante entender o comportamento e as variações de comportamento dos fatores que levam a alvenaria estrutural a ruptura.

A existência das tensões de confinamento da argamassa nas juntas é essencial para o funcionamento da alvenaria como um sistema estrutural resistente. Um fator determinante para a existência das tensões de confinamento é a espessura da junta horizontal de argamassa. Essa espessura deve ter um valor limite mínimo para que não ocorra contato entre os blocos, e um limite máximo para que o estado de confinamento necessário seja garantido.

O efeito de confinamento da argamassa surge quando a alvenaria é submetida a um esforço de compressão. De acordo com Mohamad, Lourenço e Roman (2007), quando isso ocorre, a junta de argamassa fica submetida a um estado de compressão triaxial e o bloco a um estado de compressão uniaxial e tração biaxial, como mostrado na Figura 1. Como a argamassa é um material que possui módulo de deformação maior do que o bloco, ela tende a expandir-se lateralmente mais do que o bloco, mas devido a aderência que existe na composição bloco-argamassa, ela é impedida pelo bloco, o que causa o estado de tração biaxial no mesmo.

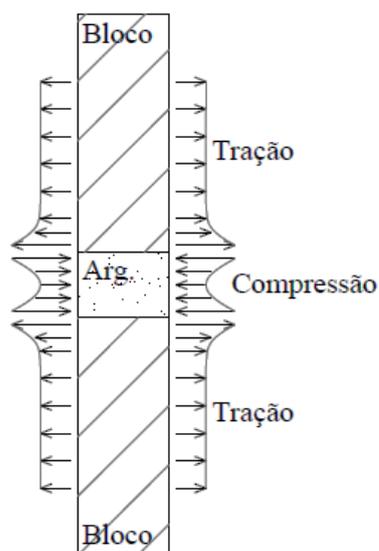
Figura 1 - Distribuição das tensões nos materiais sob compressão axial



Fonte: MOHAMAD et al. (2007)

De acordo com Afshari e Kaldjan (1989), o desenvolvimento das tensões laterais não ocorrem de forma uniforme ao longo da altura dos elementos, essas tensões são maiores perto da interface bloco-argamassa. Como é mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Tensões laterais desenvolvidas em função da aderência bloco-argamassa



Fonte: Afshari e Kaldjan (1989), adaptado por Lubeck (2016).

Lubeck (2016), afirma que as tensões de confinamento geram aumento na resistência da argamassa, mas paralelamente a esse aumento geram alterações de diferentes propriedades mecânicas da mesma. Diversos pesquisadores como Atkinson (1985), Mohamad (1998), Hayen, Van Balen e Van Germert (2003), Mohamad et al. (2015), Lubeck (2016) e Mohamad et al. (2018), dedicaram tempo a estudos que buscavam identificar de que forma as tensões de confinamento alteravam a resistência à compressão da argamassa, o comportamento tensão-deformação, o módulo de elasticidade, o coeficiente de Poisson e a variação volumétrica.

A maior parte dos estudos buscaram reproduzir o confinamento através do ensaio de compressão triaxial, porém este tipo de ensaio não consegue reproduzir corretamente o confinamento da argamassa nas juntas de alvenaria, pois a pressão lateral é aplicada em etapas, diferentemente da realidade onde a

pressão lateral varia constantemente de acordo com a carga axial aplicada. Então foi encontrada uma forma alternativa para estudar os efeitos das tensões de confinamento na argamassa, que consiste em ensaios de compressão axial de corpos de prova com pequena relação altura/espessura, sendo igual a 1 ou menor. Pois os tipos de prensas utilizadas para o ensaio normalmente geram atrito com o corpo de prova ensaiado, causando restrição ao deslocamento lateral e com isso criando o estado de confinamento no corpo de prova. (LUBECK, 2016).

2.2.1 Resistência à compressão da argamassa

A argamassa deve possuir resistência a compressão suficiente para suportar as solicitações as quais a parede está submetida, mas não deve exceder a resistência do bloco. Em resultado a isso, Mohamad (1998) orienta que a resistência a compressão da argamassa esteja entre 0,7 a 1 vez a resistência do bloco em área bruta. Já a NBR 15961 (2011) especifica que a resistência da argamassa não deve exceder 70% da resistência do bloco em área líquida.

Prudencio Jr. et al. (2003) evidencia que o aumento da resistência a compressão da argamassa, na maioria das vezes, não resulta em um aumento significativo da resistência da alvenaria. Silva (2007) realizou estudos experimentais nos quais testou argamassas mistas com blocos de duas diferentes resistências, e nos resultados conseguiu observar que um aumento de 116% na resistência da compressão da argamassa, resultou em um aumento de 21,9% na resistência dos prismas confeccionados com blocos de menor resistência e um aumento de 2,2% nos prismas com blocos de maior resistência.

Mohamad (1998) e Silva (2007) observaram que quanto maior a resistência da argamassa, mais frágil a forma que ocorre a ruptura da alvenaria, ou seja, os sinais ficam aparentes apenas instantes antes de chegar em sua carga de ruptura.

De acordo com Lubeck (2016), existe um consenso entre diversos autores em relação ao aumento da resistência da argamassa em função do confinamento lateral. Em geral, é entendido que a resistência à compressão da argamassa

aumenta como uma função linear da tensão de confinamento lateral, conforme é apresentado na equação 2.1.

$$f_m^* = f_a + k\sigma_3 \quad (2.1)$$

Onde: f_m^* é a tensão de compressão da argamassa confinada.

f_a é a resistência a compressão uniaxial da argamassa.

σ_3 é a tensão de confinamento lateral.

k é o coeficiente angular da reta.

Na tabela 1, são apresentados os valores de coeficiente angular alcançados por diferentes pesquisadores que avaliariam a resistência da argamassa em estado de confinamento.

Tabela 1 – Coeficiente angular da reta para os traços ensaiados por diferentes pesquisadores

Pesquisador	Traço em volume de cimento, cal e areia	f_a (MPa)	k
Khoo (1972)	1:0,25:3	21,47	3,30
	1:1:6	6,54	2,17
Atkinson et al. (1985)	1:0,25:3	32,00	5,10
	1:0,5:3	22,00	3,30
	1:1:6	15,00	2,30
	1:2:9	6,50	2,20
Mohamad (1998)	1:0,25:3	34,90	4,00
	1:0,5:3	21,40	3,60
	1:1:6	11,80	2,60
	1:2:9	5,20	2,50

Fonte: Adaptado de Lubeck (2016).

Após análise da tabela 1 verifica-se que o coeficiente angular da reta depende das propriedades da argamassa, pois ele varia significativamente em função da resistência do traço a ser ensaiado.

Em resultado aos seus estudos, Lubeck (2016) afirma ser interessante determinar valores limites mínimos para a resistência da argamassa de assentamento utilizada na alvenaria, para com isso conseguir um modo de

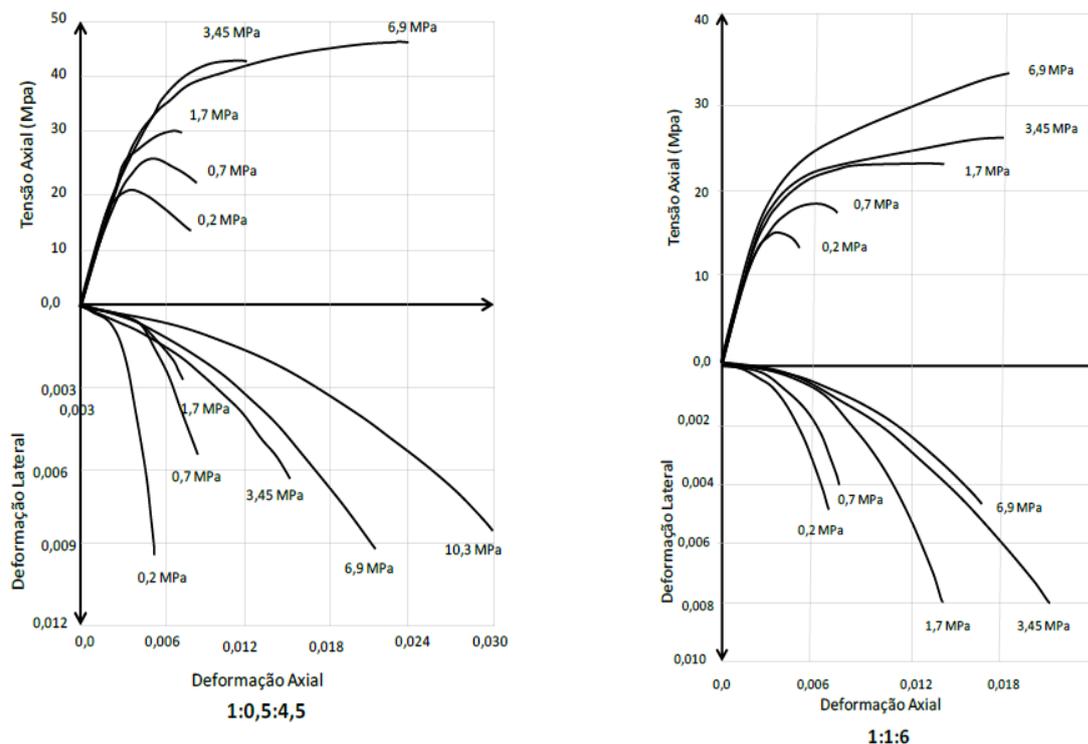
ruptura mais controlado. Mas para alcançar isso, é necessário maior estudo e aprofundamento em relação aos parâmetros que influenciam as propriedades da argamassa.

2.2.2 Comportamento tensão-deformação da argamassa

O comportamento tensão-deformação corresponde a uma representação gráfica, em forma de curva, do comportamento de deformação de um material quando submetido a um determinado carregamento. As variações das tensões de confinamento na argamassa resultam em diferentes curvas do comportamento tensão-deformação. É em função do resultado desta curva, que se consegue definir se o material apresenta um comportamento frágil ou dúctil. Segundo Lubeck (2016), a argamassa, por ser um material poroso, possui uma certa tendência com que ocorra uma ruptura frágil, mas a presença da tensão lateral confinante acrescenta ductibilidade à mesma.

Com os estudos de Atkinson et al. (1985), é possível visualizar exemplos de como o comportamento da argamassa varia em função do confinamento existente, através das curvas obtidas como resultado para as análises do comportamento tensão-deformação axial e transversal. Os autores utilizaram em seu estudo dois tipos de traços de argamassa, 1:0,5:4,5 e 1:1:6, medidos em volume de cimento, cal e areia. As curvas obtidas são apresentadas na Figura 3, onde os valores que estão junto a curva representam a tensão lateral aplicada.

Figura 3 - Comportamento tensão-deformação da argamassa confinada



Fonte: Atkinson et al (1985), adaptado por Lubeck (2016).

Como pode-se observar na figura 3, o aumento da tensão de confinamento aplicado nos ensaios causou mudança no comportamento de deformação da argamassa, principalmente no caso da argamassa mais forte, que sob tensões baixas apresentou um comportamento frágil e com o aumento das mesmas passou a se comportar como dúctil.

Essa alteração do comportamento de deformação em função da tensão confinante aplicada, conseqüentemente resulta em alteração no comportamento da argamassa em relação ao coeficiente de Poisson.

2.2.3 Módulo de elasticidade da argamassa

O módulo de elasticidade da argamassa consiste na relação entre tensão recebida no elemento e a deformação específica produzida pela tensão e é definido pela declividade da curva tensão-deformação. A importância deste módulo é em função de que as argamassas de assentamento devem possuir capacidade de absorver as deformações de eventuais movimentações da

alvenaria. Ou seja, quanto menor o módulo de elasticidade, maior a capacidade de absorver deformações. Como cita Mohamad (1998), o módulo de elasticidade é uma propriedade mecânica da argamassa, a qual é responsável pelo modo como ocorre a transferência de tensões entre os materiais (bloco e argamassa).

De acordo com a NBR 8522 (2017), os módulos de elasticidade estão classificados em:

- Módulo de elasticidade inicial E_0 – é a inclinação da reta que passa pelo ponto com tensão igual a 0,5 MPa σ_{inf} e uma tensão de 0,3 da tensão de ruptura (σ_{sup}).
- Módulo de elasticidade secante E_{sec} – é a declividade de uma reta traçada de um nível de tensão de 0,5 MPa e uma tensão qualquer entre 0,4 e 0,8 da tensão de ruptura.
- Módulo de elasticidade tangente E_{tg} – é a declividade de uma reta tangente à curva em relação a qualquer ponto da mesma.

Atkinson et al. (1985) e Mohamad (1998), desenvolveram estudos em que avaliaram a influência das tensões de confinamento no módulo de elasticidade da argamassa. Ambos estudos utilizaram medições com relógios comparadores e prensas não servo-controladas, no entanto, os resultados de seus estudos levaram os autores a diferentes conclusões. De acordo com Lubeck (2016), essa variação dos resultados, deve, provavelmente, ser consequência da dificuldade de realizar medições de deformações nos ensaios triaxiais.

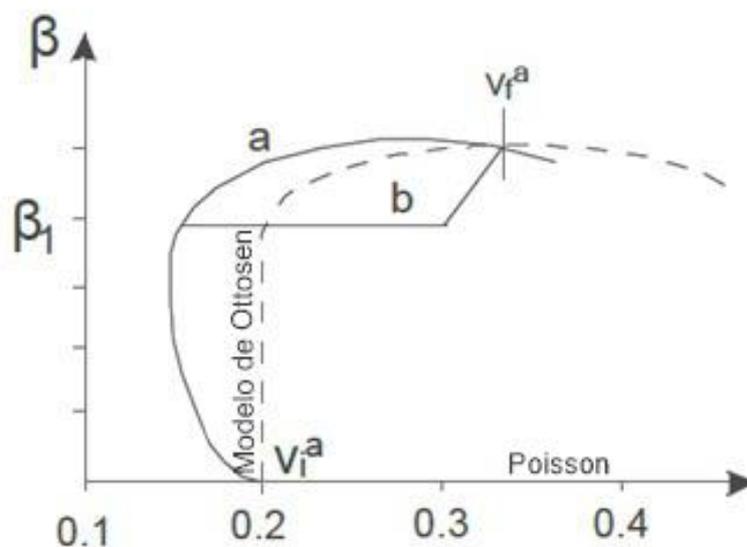
2.2.4 Coeficiente de Poisson da argamassa

Como cita Lubeck (2016), os modelos de comportamento do coeficiente de Poisson são embasados na teoria da elasticidade ou plasticidade e consideram este coeficiente constante, mas isso já se mostrou incapaz de descrever de maneira fiel o comportamento da argamassa próxima a ruptura. Em função disto, pesquisadores como Atkinson (1985), Mohamad (1998), Hayen, Van Balen e Van Germert (2003), Mohamad et al. (2015), Lubeck (2016) e Mohamad et al. (2018) buscaram entender como as tensões de confinamento aplicadas na argamassa de assentamento alteravam o coeficiente de Poisson da mesma.

Com já citado, existem casos em que a ruptura acontece devido ao esmagamento das juntas de argamassa. Esse fenômeno corresponde ao fechamento dos vazios e poros internos da estrutura, ou seja, ocorre diminuição do volume do material. Na sequência ocorre o desenvolvimento da malha de fissuras e em consequência disso ocorre aumento do volume do material. Essa variação resulta em mudança no coeficiente de Poisson, ou seja, quando o volume diminui o coeficiente de Poisson diminui e quando o volume aumenta o mesmo acontece com o coeficiente de Poisson.

Em função disto, Mohamad et al. (2015) desenvolveu a proposta de um modelo, baseado no modelo de Ottosen (1979), em que o coeficiente de Poisson muda em função do nível de tensão que é aplicado ao material. O modelo é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Modelo de Ottosen (1979) e Mohamad et al. (2015) para a variação do coeficiente de Poisson



Fonte: Mohamad et al. (2015)

Onde: ν_i é o coeficiente de Poisson inicial.

ν_f é o coeficiente de Poisson final.

β é o nível de tensão aplicado.

β_1 é o limite de tensão a partir do qual ocorre a variação no comportamento de Poisson, medido experimentalmente e dependente do tipo de argamassa.

Como mostra a Figura 4, o modelo proposto por Mohamad et al. (2015) permite a possibilidade de dois caminhos para a variação do coeficiente de Poisson. Sendo o primeiro, “a”, para situações em que o coeficiente de Poisson diminui até o limite em que β é igual a β_1 , após isso existe um crescimento do coeficiente Poisson em função do aumento da tensão aplicada. No segundo caminho, “b”, o coeficiente de Poisson também diminui até o limite em que β é igual a β_1 , e a partir daí existe um súbito aumento do coeficiente de Poisson sem aumentar a tensão aplicada, em função do esmagamento da junta.

As equações 2.2 e 2.3 descrevem o comportamento do caminho “a”, enquanto as equações 2.4 e 2.5 descrevem o comportamento do caminho “b”.

$$v = v_i \cdot e^{-\beta} \quad \text{Se } \beta \leq \beta_1 \quad (2.2)$$

$$v = v_f - (v_f - v_i) \cdot \sqrt{1 - \frac{\beta - \beta_1}{1 - \beta_1}} \quad \text{Se } \beta > \beta_1 \quad (2.3)$$

$$v = v_i \cdot e^{-\beta} \quad \text{Se } \beta \leq \beta_1 \quad (2.4)$$

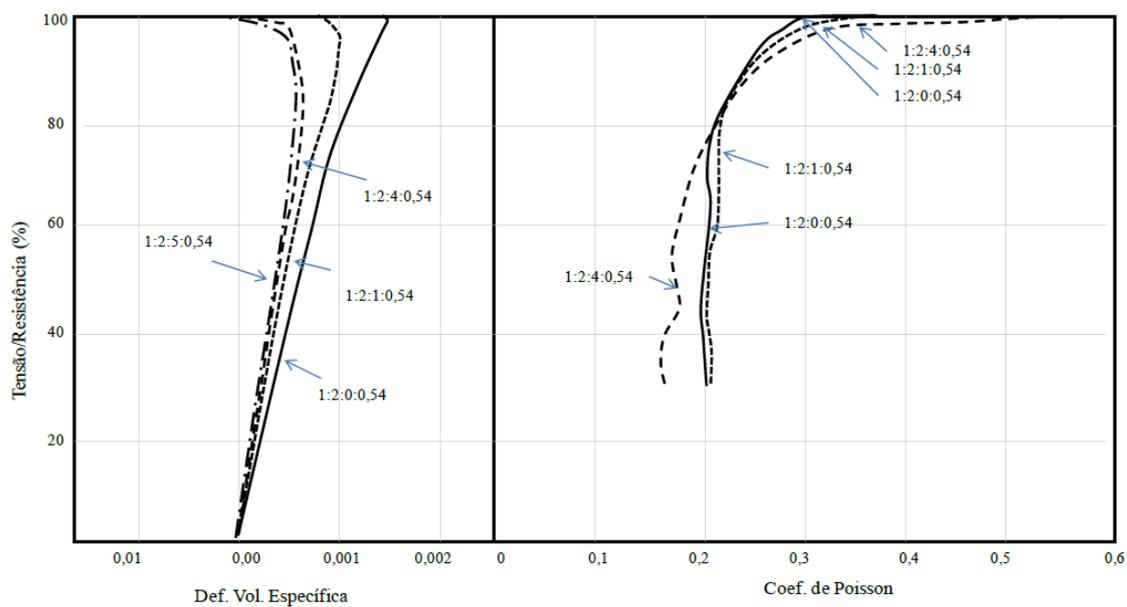
$$v = v_i \cdot e^{\beta} \quad \text{Se } \beta > \beta_1 \quad (2.5)$$

Shah e Chandra (1968) também desenvolveram um estudo referente as variações no coeficiente de Poisson, volume e avanço da fissuração em argamassas e concretos submetidos à compressão. Em suas pesquisas eles constataram, que as propriedades de coeficiente de Poisson e variação volumétrica estão ligadas a ocorrência da fissuração. Eles concluíram que um corpo de prova de concreto ou argamassa, quando comprimido axialmente, apresenta um nível de tensão (tensão inicial) que resulta no crescimento do coeficiente de Poisson, se a tensão continuar a aumentar ela chegará em um nível tensão crítico, onde o material passa a expandir de volume.

Na figura 5 é apresentado os resultados de variação de coeficiente de Poisson e de variação volumétrica encontrados por Shah e Chandra (1968) para

dois tipos de argamassas e concretos. Sendo os traços apresentados em volume de cimento, areia, brita e relação água/aglomerante.

Figura 5 – Variação volumétrica e variação do coeficiente de Poisson da argamassa e do concreto



Fonte: Shah e Chandra (1968), adaptado por Lubeck (2016).

3 METODOLOGIA

No presente capítulo serão apresentados os procedimentos experimentais adotados para a realização deste trabalho, com o intuito de alcançar os objetivos propostos no mesmo. O capítulo se divide na caracterização dos materiais componentes da argamassa e no comportamento mecânico da argamassa de assentamento.

Inicialmente serão descritos os materiais escolhidos para a realização dos procedimentos e o procedimento adotado para moldagem dos corpos de prova. Na sequência será apresentada uma descrição das normas e ensaios utilizados para a realização da caracterização dos materiais e para a determinação do comportamento mecânico da argamassa.

3.1 Considerações iniciais

O desenvolvimento deste trabalho contou com a utilização de dois diferentes traços de argamassa, os quais foram escolhidos com base na norma britânica BS 5628-1 (2005). Esta escolha se deu pelo fato desta norma ser citada como referência em boa parte das bibliografias.

Esta norma oferece uma classificação com quatro diferentes traços, a escolha se deu com o intuito de se obter uma argamassa mais forte e outra mais fraca. Dentre a classificação dos traços que a norma oferece, foram selecionados os tipos ii (1:0,5:4) e iii (1:1:6), sendo definidos em volume de cimento, cal e areia. Porém, apesar de ser apresentado em volume, o controle para produção foi realizado em peso.

Primeiramente foi realizada a caracterização física dos materiais empregados na pesquisa, sendo realizados ensaios de granulometria da areia e massa unitária do cimento, cal e areia.

Para a determinação da resistência à tração na flexão e à compressão foram moldados seis corpos de provas prismáticos com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm por tipo de argamassa, seguindo o que rege a NBR 13279 (2005).

Já para a determinação do comportamento tensão-deformação, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson da argamassa foram moldados corpos de provas cilíndricos com diâmetro de 50 mm e duas diferentes alturas, 33 mm

e 100 mm, resultando em relações diâmetro/altura (d/h) iguais a 1,52 e 0,5, respectivamente. Esta variação de altura foi realizada para verificar se existe influência da relação diâmetro/altura (d/h) no estado de confinamento da argamassa e conseqüentemente na variação do comportamento das propriedades mecânicas da argamassa de assentamento. Foram moldados 5 corpos de prova cilíndricos para cada traço de argamassa e para cada altura, seguindo o que rege a NBR 7215 (2019).

Os ensaios de caracterização mecânica foram realizados nos corpos de prova com idade de 28 dias, sendo a cura realizada ao ar no ambiente do laboratório.

Por fim, com os dados obtidos nos ensaios, foram realizadas análises dos mesmos buscando suprir os objetivos esperados deste trabalho, já citados anteriormente.

Todos os procedimentos experimentais foram desenvolvidos conforme as normas vigentes, e realizados no Laboratório de Materiais e Construção Civil da Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete.

3.2 Materiais utilizados

Para composição da argamassa optou-se pela utilização do cimento do tipo CPV ARI, cal hidratada do tipo CH III e areia média disponível na região comumente utilizada em obras.

3.3 Caracterização dos materiais componentes da argamassa

A caracterização dos materiais componentes da argamassa foi realizada através de três diferentes ensaios, os quais são citados nos itens a seguir.

3.3.1 Granulometria da areia

Um dos ensaios realizados para a caracterização física da areia é o ensaio de determinação da composição granulométrica do agregado. Para a realização deste ensaio foi seguido o que está disposto na NBR NM 248 (2003).

Deste ensaio, resulta-se a percentagem média retida em cada peneira, a percentagem média retida acumulada em cada peneira, a dimensão máxima característica do agregado e o módulo de finura.

Foram ensaiadas duas amostras (Tabelas 2 e 3) e calculadas suas percentagens retidas e retidas acumuladas em cada peneira, e como resultado final foi calculado a média das duas amostras (Tabela 4), com a média foi determinado o diâmetro máximo do agregado e seu módulo de finura.

Tabela 2 – Resultado das percentagens retidas da amostra 1

AMOSTRA 1				
Peneiras		Amostra 1	% Retida	% Retida
(mm)	Número	(g)		Acumulada
9,5	-	0,00	0,00	0,00
6,3	-	0,00	0,00	0,00
4,75	Nº 4	0,20	0,03	0,03
2,36	Nº 8	5,60	0,93	0,97
1,18	Nº 16	16,40	2,73	3,70
0,6	Nº 30	46,40	7,74	11,44
0,3	Nº 50	380,60	63,45	74,89
0,15	Nº 100	143,20	23,87	98,77
Fundo		7,40	1,23	100,00
	Total	599,8	100,00	

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 3 – Resultado das percentagens retidas da amostra 2

AMOSTRA 2				
Peneiras		Amostra 2	% Retida	% Retida
(mm)	Número	(g)		Acumulada
9,5	-	0,00	0,00	0,00
6,3	-	0,00	0,00	0,00
4,75	Nº 4	0,20	0,03	0,03
2,36	Nº 8	6,00	1,00	1,03
1,18	Nº 16	16,30	2,72	3,75
0,6	Nº 30	48,20	8,04	11,79
0,3	Nº 50	359,60	59,98	71,78
0,15	Nº 100	161,20	26,89	98,67
Fundo		8,00	1,33	100,00
	Total	599,5	100,00	

Fonte: Elaboração própria.

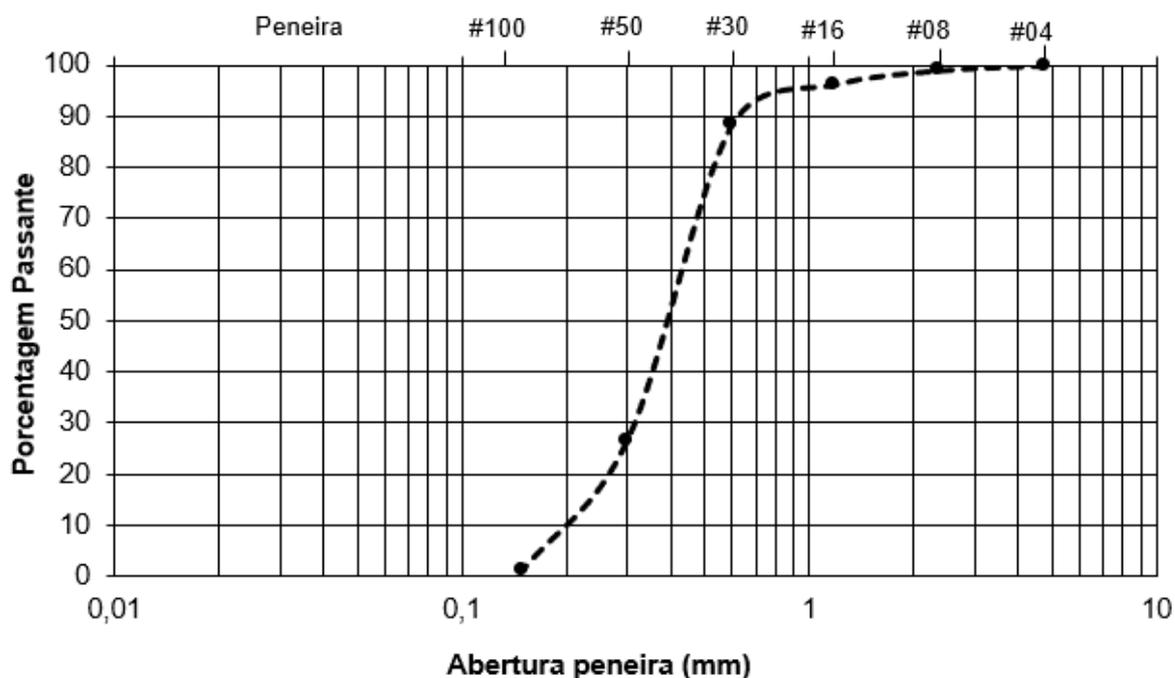
Tabela 4 – Média dos resultados das amostras 1 e 2 e resultado do diâmetro máximo e módulo de finura.

RESULTADO				
Peneiras (mm)	Número	% Retida Média	% Retida Acumulada Média	Módulo de Finura
9,5	-	0,00	0,00	0,00
6,3	-	0,00	0,00	
4,75	Nº 4	0,03	0,03	0,03
2,36	Nº 8	0,97	1,00	1,03
1,18	Nº 16	2,73	3,73	4,76
0,6	Nº 30	7,89	11,62	16,38
0,3	Nº 50	61,72	73,33	89,71
0,15	Nº 100	25,38	98,72	188,43
Fundo		1,28	100,00	
Total		100		
Diâmetro máximo (mm)				1,18
Módulo de Finura				1,88

Fonte: Elaboração própria.

A partir dos dados da Tabela 4, foi possível desenvolver a curva granulométrica do material, a qual está ilustrada na figura 6.

Figura 6 – Curva granulométrica da areia



Fonte: Elaboração própria.

3.3.2 Massa unitária dos componentes da argamassa

Outro ensaio realizado para a caracterização física dos materiais componentes da argamassa é o ensaio de massa unitária. Este procedimento, igualmente ao anterior, foi realizado para areia, cimento e cal hidratada.

Como especifica a NBR NM 45 (2006), a massa unitária do agregado corresponde a relação entre a massa do agregado lançado num recipiente, especificado na norma, e o volume deste recipiente.

Para a realização deste ensaio, tanto para areia como para o cimento e cal hidratada, foram seguidas as especificações da NBR NM 45 (2006). Como resultado foi encontrado 1,57 Kg/dm³ para areia, 1,10 Kg/dm³ para o cimento e 0,78 Kg/dm³ para a cal.

3.4 Preparação da argamassa

Foram preparados dois diferentes traços de argamassa, seguindo as recomendações da NBR 16541 (2016). Durante o preparo foi cuidado para que a relação água/cimento (a/c) definida resulte em um índice de consistência de 260 ± 5 mm.

Cada traço de argamassa foi preparado em duas amostras, para ter quantidade suficiente para a moldagem de todos os corpos de provas. As medidas utilizadas nos dois traços são as mostradas nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Medidas do traço I.

Traço I				
	Cimento	Cal	Areia	Água
Volume	1,00	0,50	4,00	1,10
Peso	1,00	0,35	5,71	1,00

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 6 – Medidas do traço II.

Traço II				
	Cimento	Cal	Areia	Água
Volume	1,00	1,00	6,00	1,65
Peso	1,00	0,71	8,56	1,50

Fonte: Elaboração própria.

A verificação do índice de consistência foi realizada para cada amostra preparada conforme a NBR 13276 (2016). No fim de cada ensaio foram feitas medidas diametralmente opostas (figura 6) e calculada a média delas como resultado.

Figura 7 – Verificação do índice de consistência.



Fonte: Elaboração própria.

As amostras do traço I (1:0,5:4) tiveram o resultado de índice de consistência igual a 262 mm e 263 mm. As amostras do traço II (1:1:6) tiveram o resultado de índice de consistência igual a 262 mm e 261 mm.

3.5 Comportamento mecânico da argamassa

3.5.1 Resistência à tração na flexão e à compressão

Foram ensaiados seis corpos de provas prismáticos por traço de argamassa (1:0,5:4 e 1:1:6), com dimensões de 4 cm x 4 cm x 16 cm (Figura 8), seguindo as especificações contidas na NBR 13279 (2005). Os ensaios foram realizados aos 28 dias de idade dos corpos de provas.

Figura 8 – Molde dos corpos de provas prismáticos.



Fonte: Elaboração própria.

Para a realização dos ensaios de resistência à tração na flexão foi utilizada uma máquina universal Shimadzu (modelo AGS-X), com capacidade de carga de 5 kN, sendo a velocidade de aplicação de carga de 50 N/s. Já o ensaio de resistência à compressão foi realizado na máquina universal INSTRON (modelo 5590-HVL), com uma célula de carga de 50 kN acoplada, sendo a velocidade de aplicação de carga de 500 N/s.

3.5.2 Comportamento tensão-deformação, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson

Foram ensaiados cinco corpos de provas cilíndricos (Figuras 9 e 10), com 50 mm de diâmetro, para cada traço de argamassa (1:0,5:4 e 1:1:6) e para cada altura do corpo de prova (33 mm e 100 mm). Para a realização deste ensaio foram seguidas as especificações contidas na NBR 8522 (2017). Os mesmos foram ensaiados aos 28 dias de idade, com cura em ambiente de laboratório e com capeamento realizado com pasta de cimento CP V.

Figura 9 – Molde dos corpos de provas cilíndricos



Fonte: Elaboração própria.

Figura 10 – Corpo de prova cilíndrico com altura de 100 mm



Fonte: Elaboração própria.

Os ensaios foram realizados na máquina universal INSTRON (5590-HVL) com uma célula de carga de 50 kN acoplada, sendo a velocidade utilizada de 0,03 MPa/s.

Foram realizados dois ciclos de carga até aproximadamente 30% da carga de ruptura de forma a realizar uma uniformização das deformações.

Para a medição das deformações específicas verticais e horizontais foram utilizados extensômetros elétricos (*strain gauges*), com bases de medida de 10 e 5 mm, respectivamente. Foram utilizados dois *strain gauges* verticais e dois horizontais por corpo de prova, sendo posicionados em pares (vertical e horizontal) em lados diametralmente opostos. Eles foram colados no dia anterior ao ensaio, utilizando-se cola instantânea do tipo cianocrilato.

Os strain gauges e a célula de carga foram conectados a um equipamento de aquisição de dados HBM spider 8 (figura 11 e 12), sendo a frequência de leitura de dois pontos por segundo.

Figura 11 – Equipamentos utilizados para o ensaio.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 12 – Posicionamento do corpo de prova, célula de carga e fios que conectam os *strain gauges* com o HBM spider 8.



Fonte: Elaboração própria.

Após a realização dos ensaios foram feitas as análises dos resultados encontrados e a comparação entre os diferentes traços e as diferentes relações diâmetro/altura (d/h), buscando contribuir para aprofundar o conhecimento do comportamento mecânico das argamassas de assentamento.

4. RESULTADOS

4.1. Resistência à tração na flexão e à compressão

Os resultados foram obtidos através dos ensaios realizados nos corpos de provas prismáticos. Onde foram ensaiadas seis amostras a tração na flexão e doze amostras a compressão por traço de argamassa, sendo os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Na Tabela 7 é apresentado o resultado dos ensaios realizados nos corpos de provas com traço mais forte (1:0,5:4). Pode-se observar que o mesmo apresentou uma média de tensões de 3,23 MPa na tração na flexão e de 12,38 MPa na compressão.

Tabela 7 – Resultados da resistência a tração na flexão e a compressão - Traço I (1:0,5:4) – CP's Prismáticos.

TRAÇO 1 (1:0,5:4)					
Amostra	CP	Tração na Flexão		Compressão	
		Carga (N)	Tensão (MPa)	Carga (N)	Tensão (MPa)
1	1	1300	3,05	21565	13,48
				19584	12,24
	2	1550	3,63	21959	13,72
				18057	11,29
	3	1290	3,02	18294	11,43
				19360	12,10
2	4	1280	3,00	21463	13,41
				18396	11,50
	5	1370	3,21	20507	12,82
				20608	12,88
	6	1320	3,09	21260	13,29
				20004	12,50
	Média	1351,7	3,17	20088,1	12,56
	Desv. pad.	102,3	0,24	1361,5	0,85
	Coef. Var.	7,57%	7,57%	6,78%	6,78%

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 8 é apresentado o resultado dos ensaios realizados nos corpos de provas com traço mais fraco (1:1:6). Pode-se observar que o mesmo

apresentou uma média de tensões de 2,04 MPa na tração na flexão e de 7,66 MPa na compressão.

Tabela 8 – Resultados da resistência a tração na flexão e a compressão - Traço II (1:1:6) – CP's Prismáticos.

TRAÇO 2 (1:1:6)					
Amostra	CP	Tração na Flexão		Compressão	
		Carga (N)	Tensão (MPa)	Carga (N)	Tensão (MPa)
1	1	875	2,05	13185	8,24
				13178	8,24
	2	909	2,13	11929	7,46
				12445	7,78
	3	828	1,94	11597	7,25
				11163	6,98
2	4	1010	2,37	12642	7,90
				12418	7,76
	5	916	2,15	12452	7,78
				12662	7,91
	6	998	2,34	11325	7,08
				10918	6,82
Média		923	2,16	12160	7,60
Desv. pad.		70,4	0,16	763,3	0,48
Coef. Var.		7,63%	7,63%	6,28%	6,28%

Fonte: Elaboração própria.

A média dos resultados encontrados em ambos os traços estão condizentes com a resistência esperada em cada um deles.

4.2. Comportamento tensão-deformação, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson

Os resultados foram obtidos através dos ensaios realizados nos corpos de provas cilíndricos, com 50 mm de diâmetro. Onde foram ensaiadas dez amostras por traço de argamassa, sendo cinco amostras com 100 mm de altura e as outras cinco com 33 mm.

Cada *strain gauge* forneceu um resultado de deformação do corpo de prova ensaiado, sendo dois posicionados verticalmente e outros dois horizontalmente em cada corpo de prova.

4.2.1 Comportamento tensão-deformação

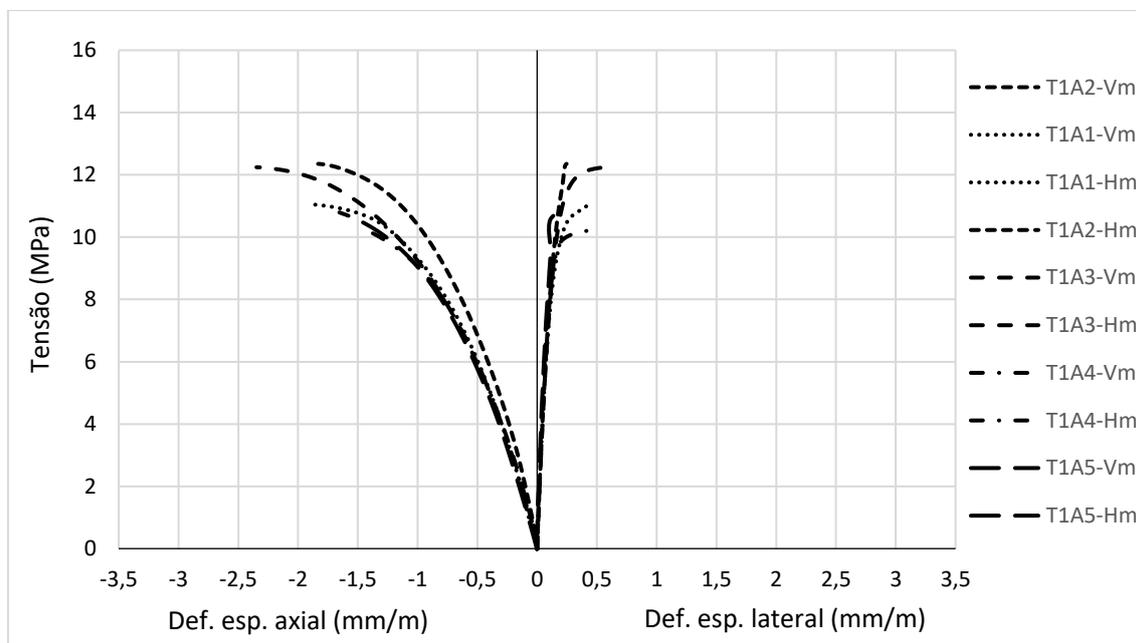
Com os resultados dos *strain gauges*, fez-se a média das deformações horizontais e a média das deformações verticais para cada amostra e as mesmas foram dispostas graficamente nas Figuras 13, 14, 15 e 16.

Sendo as legendas utilizadas nas figuras com os seguintes significados:

- T_x = traço ensaiado;
- A_x = Amostra Alta (100 mm) ensaiada;
- B_x = Amostra Baixa (33 mm) ensaiada;
- V_m = Média das leituras dos *strain gauges* verticais;
- H_m = Média das leituras dos *strain gauges* horizontais.

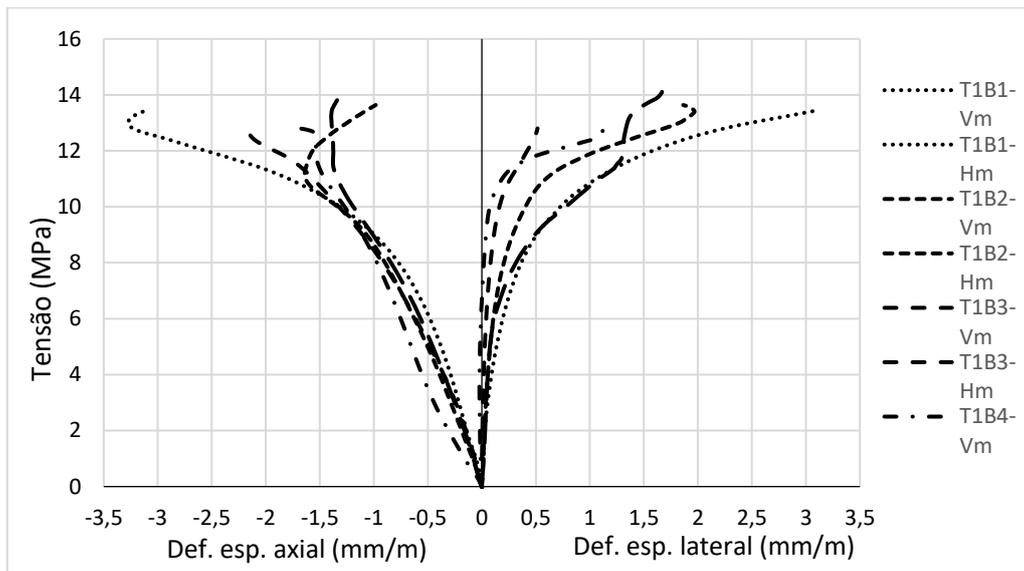
Nas figuras 13 e 14, são apresentados os resultados obtidos para o traço I de argamassa (1:0,5:4), diferindo apenas na altura das amostras, sendo respectivamente, 100 mm e 33 mm.

Figura 13 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova de prova com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).



Fonte: Elaboração própria.

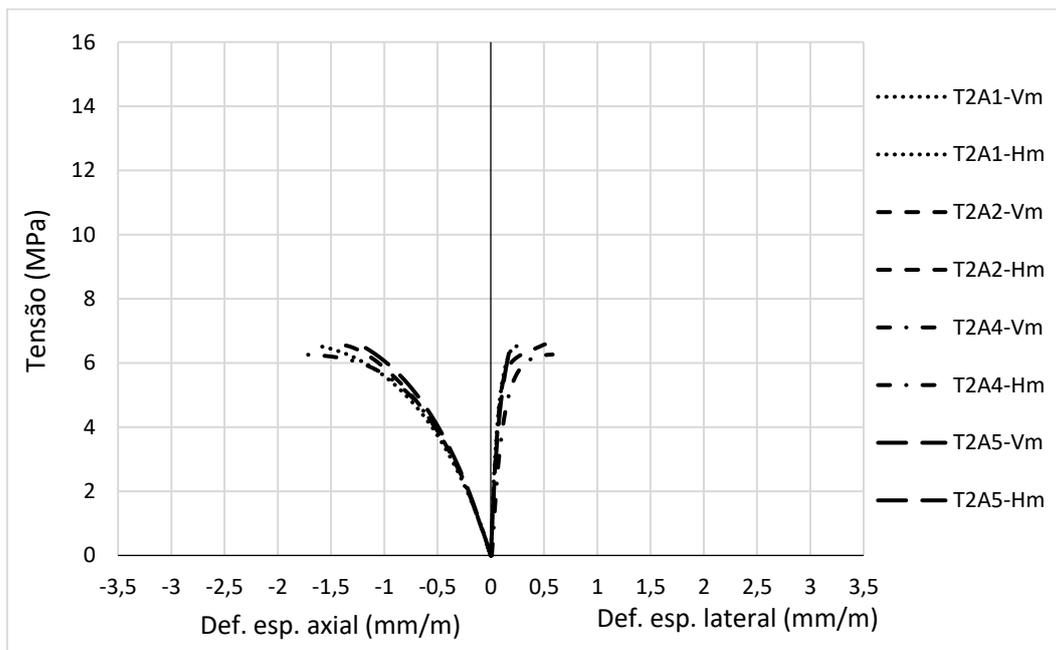
Figura 14 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova de prova com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).



Fonte: Elaboração própria.

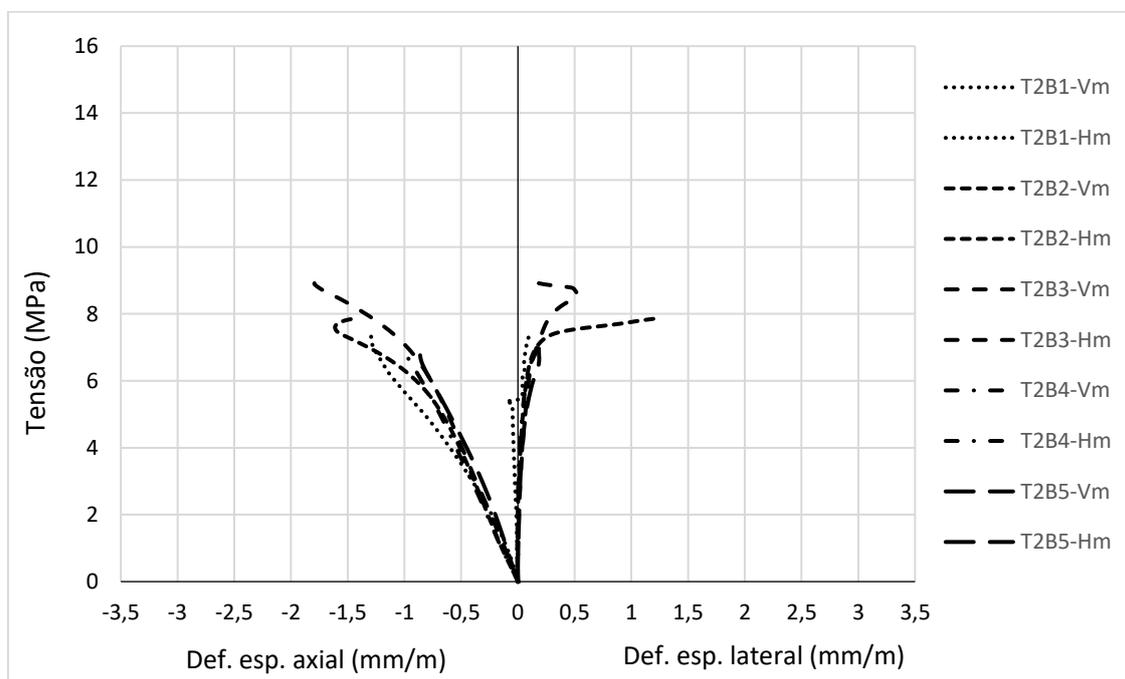
Nas figuras 15 e 16, são apresentados os resultados obtidos para o traço 2 de argamassa (1:1:6), diferindo apenas na altura das amostras, sendo respectivamente, 100 mm e 33 mm.

Figura 15 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova de prova com altura de 100 mm e traço II de argamassa (1:1:6).



Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 – Comportamento tensão-deformação dos corpos de prova de prova com altura de 33 mm e traço II de argamassa (1:1:6).



Fonte: Elaboração própria.

Ao analisar as figuras acima é possível verificar que o comportamento dos corpos de prova de mesma resistência foi bastante semelhante, porém os valores se tornaram menos confiáveis próximo a ruptura devido ao aumento considerável na propagação das fissuras. Nas figuras 13 e 14, as quais correspondem a argamassa de maior resistência, percebe-se uma pequena diferença, onde os corpos de provas com menor altura (figura 14) possuem uma deformação axial maior, ou seja, com o aumento do confinamento existe um aumento de deformação.

4.2.2. Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade foi obtido para um nível de 30% da tensão de ruptura dos corpos de provas e é apresentado na tabela 9, juntamente com as resistências máximas de compressão de cada amostra.

Tabela 9 – Resultados da resistência máxima de compressão e módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados.

Traço	h (mm)	Amostra	f_c (MPa)	E_c	E_c / f_c
1:0,5:4	100	1	11,058	13,997	1,266
		2	12,355	15,395	1,246
		3	12,247	14,089	1,150
		4	10,258	13,862	1,351
		5	10,797	12,686	1,175
		Média	11,343	14,006	1,238
		Desv. Pad.	0,922	0,962	0,080
	Coef. Var.	8,12%	6,87%	6,43%	
	30	1	14,151	14,283	1,009
		2	13,871	13,158	0,949
		3	13,690	10,523	0,769
		4	12,926	7,198	0,557
		5	14,436	10,957	0,759
		Média	13,815	11,224	0,808
Desv. Pad.		0,572	2,733	0,178	
Coef. Var.	4,14%	24,35%	22,07%		
1:1:6	100	1	6,527	8,751	1,341
		2	6,581	9,321	1,416
		3	6,342	9,036	1,425
		4	6,263	9,304	1,486
		5	7,081	9,531	1,346
		Média	6,559	9,189	1,403
		Desv. Pad.	0,320	0,301	0,060
	Coef. Var.	4,87%	3,28%	4,31%	
	30	1	8,180	6,829	0,835
		2	8,014	7,911	0,987
		3	9,319	8,038	0,863
		4	8,120	6,422	0,791
		5	7,573	10,076	1,331
		Média	8,241	7,855	0,961
Desv. Pad.		0,648	1,421	0,219	
Coef. Var.	7,86%	18,09%	22,78%		

Fonte: Elaboração própria.

Dentre os resultados apresentados na tabela acima, a máxima resistência a compressão foi de 14,436 MPa para o traço I e altura de 33 mm e a mínima foi de 6,263 MPa para o traço II e altura de 100 mm. Nota-se que o aumento do

confinamento gera um aumento na resistência dos traços e uma diminuição nos módulos de elasticidade.

4.2.3 Coeficiente de Poisson

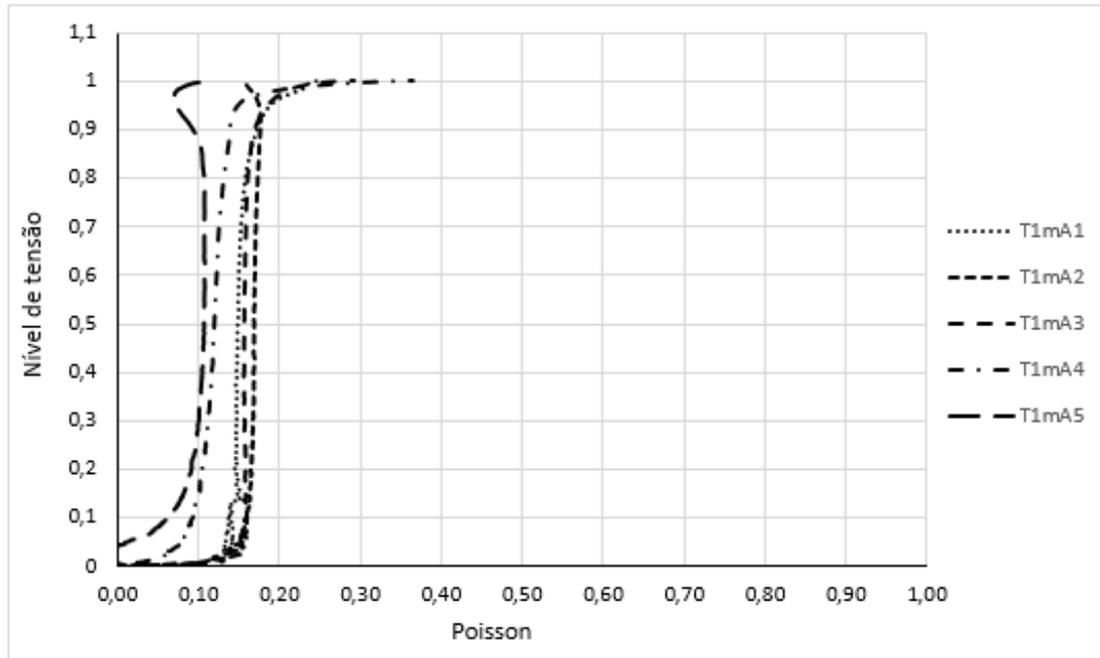
Para os resultados do coeficiente de Poisson foram calculados dois coeficientes por corpo de prova, devido aos quatro *strain gauges* em cada amostra e com estes resultados foram calculados os coeficientes de Poisson médios de cada amostra. Foi calculado também o nível de tensão aplicado em cada ponto de deformação medido, para que seja possível analisar a variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão.

As Figuras 17, 18, 19 e 20 apresentam a variação do coeficiente de Poisson em função do nível de carregamento em cada ponto medido. Essas medidas foram registradas após dois ciclos de cargas com um nível de tensão de 30% da tensão última da argamassa.

Sendo que as legendas utilizadas nas figuras significam:

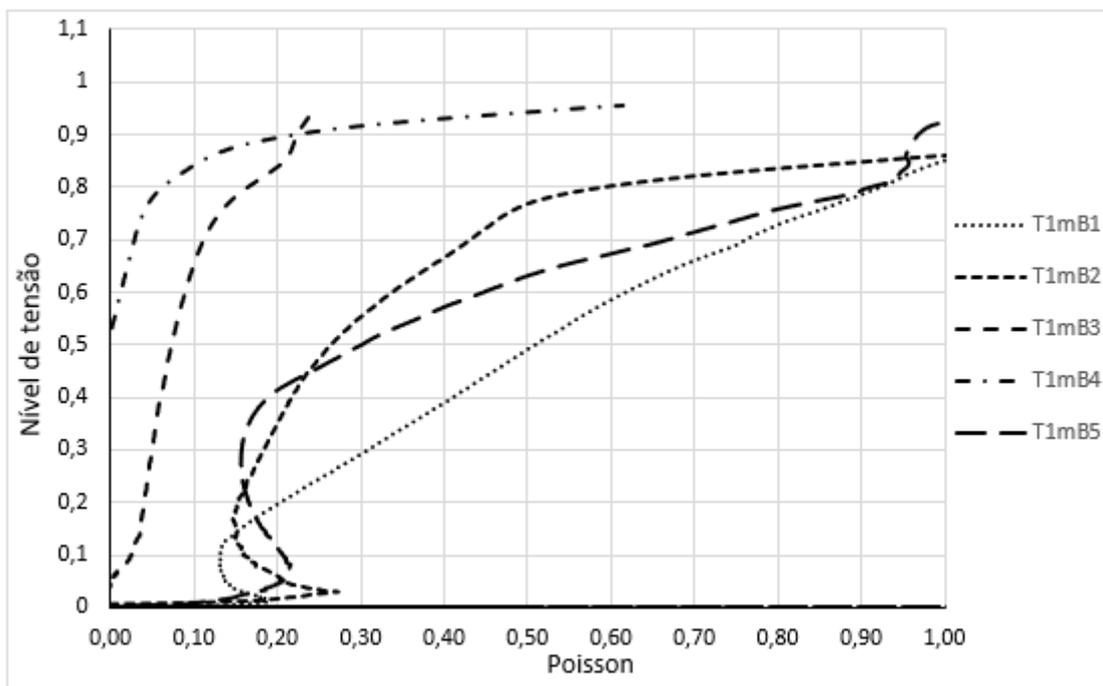
- T_x = traço ensaiado;
- m = média dos resultados;
- A_x = Amostra Alta (100 mm) ensaiada;
- B_x = Amostra Baixa (33 mm) ensaiada.

Figura 17 – Variação do coeficiente de Poisson médio em função do nível de tensão aplicado, traço I (1:0,5:4) – altura de 100 mm.



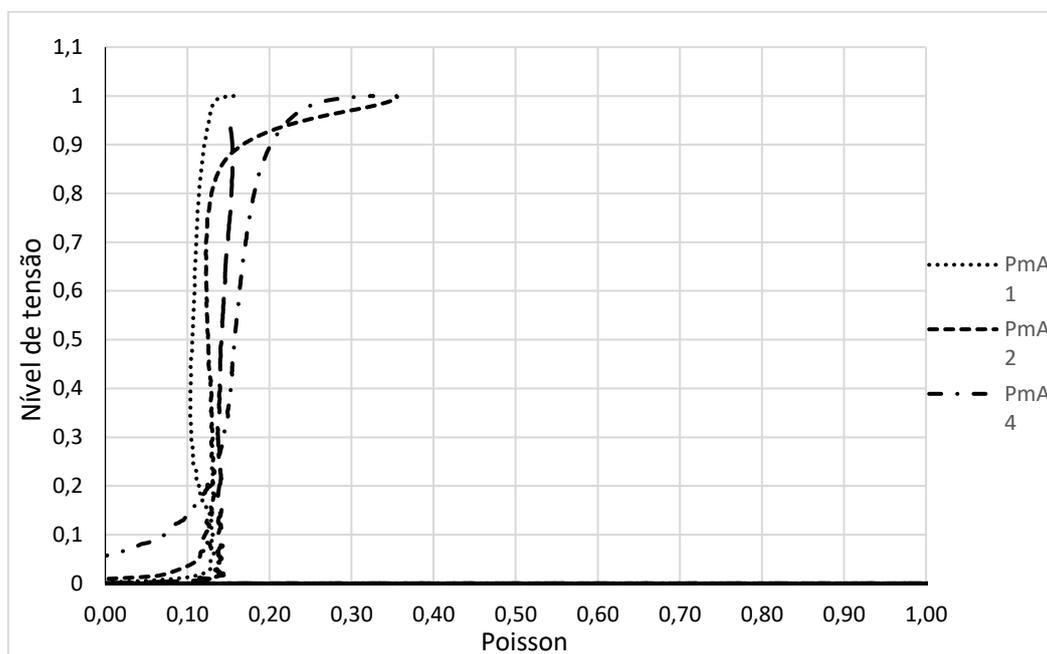
Fonte: Elaboração própria.

Figura 18 – Variação do coeficiente de Poisson médio em função do nível de tensão aplicado, traço 1 (1:0,5:4) – altura de 33 mm.



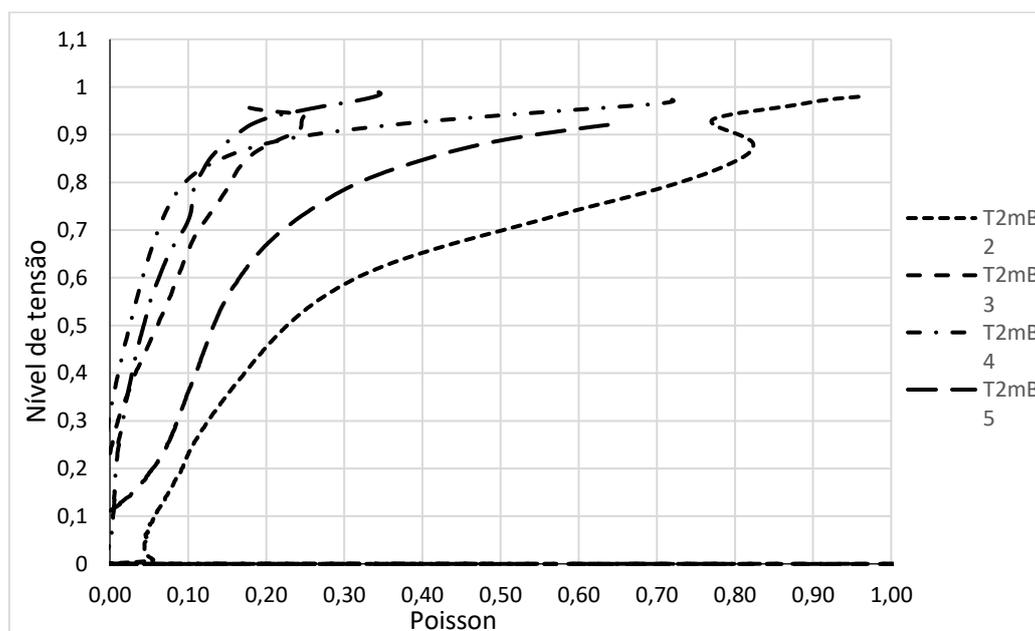
Fonte: Elaboração própria.

Figura 19 – Variação do coeficiente de Poisson médio em função do nível de tensão aplicado, traço 2 (1:1:6) – altura de 100mm.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 20 – Variação do coeficiente de Poisson médio em função do nível de tensão aplicado, traço 2 (1:1:6) – altura de 33 mm.



Fonte: Elaboração própria.

As Figuras 17, 18, 19 e 20 diferem em função da resistência e grau de confinamento aplicado. No resultado gráfico apresentado nas Figuras 17 e 19 é notável que os formatos das curvas se assemelham aos encontrados nos estudos de Shah e Chandra (1968), onde numa tensão inicial o coeficiente de Poisson tem uma variação pouco significativa e após o aumento de tensão até a tensão a crítica, ocorre aumento de volume do material ensaiado em função do avanço da fissuração.

O coeficiente de Poisson variou em função do grau de confinamento, sendo nas amostras menos confinadas ele se manteve constante apresentando apenas pequenas variações, já nas amostras com maior grau de confinamento ele apresentou variações mais bruscas em função do nível de tensão crítica, que varia de acordo com o tipo de argamassa.

4.2.4 Ruptura das amostras

Nas Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30 são apresentados os registros de algumas amostras depois de ensaiadas e seus modos de ruptura.

Nas Figuras 21 a 25 são apresentados os corpos de prova de traço I (1:0,5:4) ensaiados. E nas figuras de 26 a 30 são apresentados os corpos de prova de traço II (1:1:6).

Figura 21 – Corpos de prova ensaiados - Traço I (1:0,5:4), altura 100 mm.



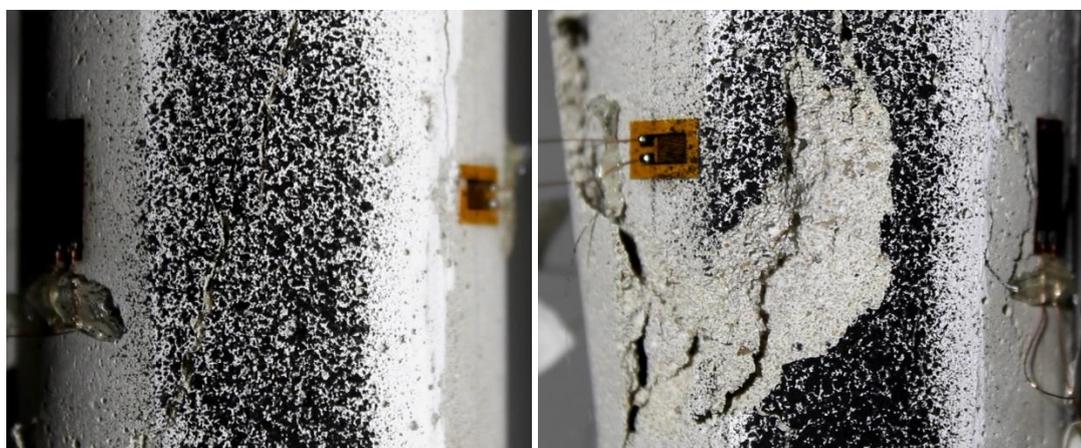
Fonte: Elaboração própria.

Figura 22 – Corpos de prova ensaiados - Traço I (1:0,5:4), altura 33 mm.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 23 – Corpos de prova ensaiados - Traço II (1:1:6), altura 100 mm.



Fonte: Elaboração própria;

Figura 24 – Corpos de prova ensaiados - Traço II (1:1:6), altura 33 mm.



Fonte: Elaboração própria.

Fazendo uma análise das figuras apresentadas, pode-se perceber que as amostras de argamassa mais resistente apresentaram uma ruptura mais brusca, onde todas as amostras ensaiadas, quando atingiram sua a tensão máxima resistida resultaram em grandes fissuras e esfarelamento do material. Enquanto que as argamassas de traço menos resistente apresentaram como resultado um estado de fissuração mais brando.

Aliando isso aos demais resultados obtidos neste trabalho é possível afirmar que a resistência da argamassa influencia no modo de ruptura do material. Assim como nos estudos de Mohamad (1998), o traço de maior resistência resultou em um comportamento frágil na ruptura, apresentando sinais aparentes apenas instantes antes de alcançar a carga máxima da argamassa.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou caracterizar o comportamento dos corpos de prova de argamassa quanto a sua tensão-deformação, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson em função de diferentes resistências e graus de confinamento.

Nos ensaios realizados utilizaram-se dois diferentes traços de argamassa para análise da influência de diferentes resistências. E duas diferentes alturas de corpos de provas para avaliação da influência do grau de confinamento da argamassa.

Com os resultados obtidos foi possível analisar que a resistência da argamassa influencia no quanto ela se deforma, de acordo com os gráficos de tensão deformação, quanto mais resistentes mais se deformam e conseqüentemente maiores coeficientes de elasticidade. Notou-se também, que quanto maior o grau de confinamento menor o módulo de elasticidade, ou seja, quanto menor o corpo de prova maior a capacidade de absorver as deformações.

Nos resultados gráficos do coeficiente de Poisson, verificou-se que os corpos de provas com menor grau de confinamento tiveram uma pequena variação inicial, depois se mantiveram constantes até aproximadamente 80% da tensão resistida pelas argamassas e depois tiveram um aumento no coeficiente. Já nos corpos de provas com maior grau de confinamento a variação dos resultados foi grande, sendo no traço de maior resistência apresentando um decréscimo inicial e depois grande aumento de coeficiente e no traço de menor resistência houve aumento de coeficiente desde os primeiros níveis de carregamento.

Em conclusão ao estudo realizado e aos resultados obtidos pode-se afirmar que ao variar a resistência e o grau de confinamento da argamassa de assentamento comprida axialmente será verificada a variação nas propriedades mecânicas da mesma.

REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7215**: Concreto – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 2019.

_____. **NBR 8522**: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e deformação à compressão. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 15961-1**: Alvenaria Estrutural - Blocos de Concreto. Parte 1: Projeto. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.

_____. **NBR 16605**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2017.

_____. **NBR NM 45**: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR NM 52**: Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

AMRHEIN, J. E. (1978), **Reinforced Masonry Engineering Handbook**. Masonry Institute of America.

AFSHARI, F.; KALDJIAN, M. J. (1989). **Finite element analysis of concrete masonry prisms**. American Concrete Institute- ACI Materials Journal, Set./Out., v. 86, n. 5, p. 525-530.

ATKINSON, R. H.; NOLAND, J. L.; ABRAMS, D. P. **A deformation failure theory for stack-bond brick masonry prism in compression**. In: International Brick Masonry Conference, 7, 1985, Melbourne, Proceedings. v. 1, Melbourne: IBMAC, 1985. p. 577-592.

BS. BRITISH STANDARD. **BS 5628-1**: Code of practice for use of masonry - Part 1: Structural use of unreinforced masonry. Londres, 2005.

COSTA, F. B. P. (2015), **Avaliação do desempenho de argamassas de assentamento modificadas polimERICAMENTE para alvenaria estrutural**. In: Science & Engineering Journal, p. 43-51, 2015.

HAYEN, R.; VAN BALEN, K., VAN GEMERT, D. **The mechanical behaviour of mortars in triaxial compression**. In: Proceedings of the 6th International Conference on Materials Science and Restoration, Karlsruhe, p. 295-302. 2003.

HILSDORF, H. K. **Investigation into the failure mechanism of brick masonry loaded in axial compression**, In: Johnson FH (ed) Designing, engineering and constructing with masonry products Gulf Publishing Company. Houston, Texas. p. 34-41, 1969.

JUSTE, A. E. **Estudo da resistência e da deformabilidade da alvenaria de blocos de concreto submetida a esforços de compressão**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

KNUTSSON, H.H. The stress-strain relationship for masonry. **Masonry International**, v. 7, n. 1, p. 31-33, 1993.

LÜBECK, A. **Comportamento mecânico e influência da argamassa no modo de ruptura da alvenaria estrutural**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2016.

MOHAMAD, G. **Comportamento mecânico na ruptura de prismas de blocos de concreto**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

MOHAMAD, G. & ROMAN, H. **Estudo do comportamento triaxial de argamassa.** In: III Simpósio Brasileiro de Tecnologia de Argamassas. Vitória – ES, 1999.

MOHAMAD, G. **Mechanism failure of concrete block masonry under compression.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2007.

MOHAMAD, G.; LOURENÇO, P. B.; ROMAN, H. R. **Mechanics of hollow concrete block masonry prisms under compression: Review and prospects.** Cement & Concrete Composites, v. 29, n. 2, p. 181-192, 2007.

MOHAMAD, G.; NETO, A. B. S. S.; PELISSER, F.; LOURENÇO, P. B.; ROMAN, H. R. **Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural – previsão e modo de ruptura.** Revista Matéria, v. 14, n. 2, p. 824-844, 2009.

MOHAMAD, G.; FONSECA, F. S.; ROMAN, H. R.; VERMELTFOORT, A. T.; RIZZATTI, E. **Behavior Of Mortar Under Multi-Axial Stress.** In.: Proceedings of 12th North American Masonry Conference. Denver, Colorado. 2015.

MOHAMAD, G.; FONSECA, F. S.; VERMELTFOORT, A. T.; LUBECK, A. **Stiffness plasticity degradation of masonry mortar under compression: preliminar results.** In.: Ibracon Structures and Materials Journal, v. 11, n. 7, p. 279-295, 2018.

MULLER, M. S. K.; AGOPYAN, V. **Estudo de correlações entre resistência à compressão de paredes e prismas de alvenaria estrutural cerâmica não armada submetidos a esforços de compressão axial.** Relatório Técnico. São Paulo: Universidade de São Paulo; Relatório no: BT/PCC/40. 1991.

OTTOSEN, N. S. **Constitutive model for short-time loading of concrete.** Journal of the Engineering Mechanics Division. v. 105, n. 1, p.127-141. 1979.

PARSEKIAN, G. A.; SOARES, M. M. **Alvenaria Estrutural em Bloco Cerâmico Projeto, execução e controle.** São Paulo. Editora Nome da Rosa. 2010.

PASQUALI, I. **Influência do tipo de argamassamento na resistência a compressão de pequenas paredes de alvenaria estrutural cerâmica.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2007.

PRUDENCIO JR, L. R.; OLIVEIRA, A. L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto**. Florianópolis. Editora Gráfica Palloti, 2003.

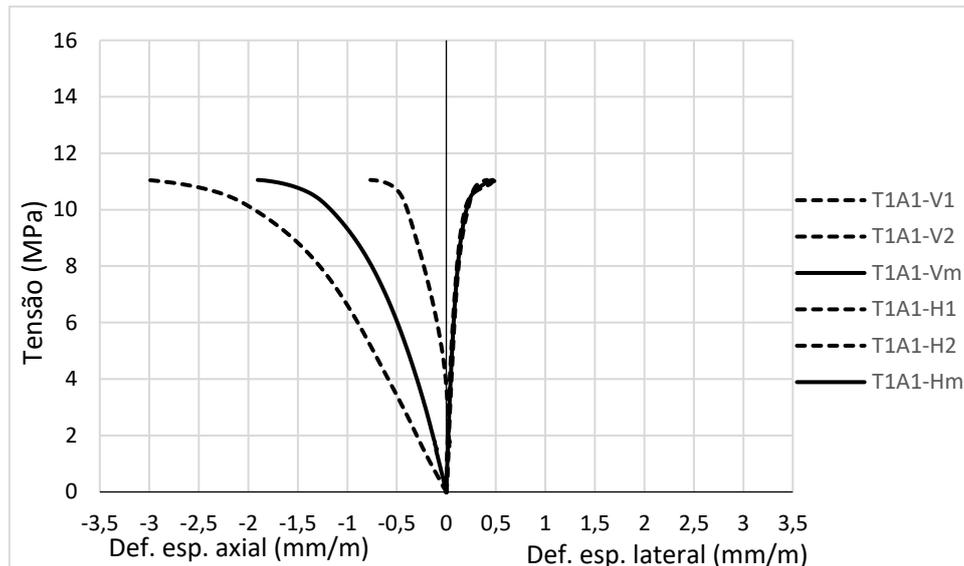
SILVA, A. F. **Avaliação da resistência à compressão da alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira – SP, 2007.

SHAH, S.; CHANDRA, S. **Critical Stress, Volume Change, and Microcracking of Concrete**. American Concrete Institute - ACI Journal. v.65, n.9, p. 770-780. 1968.

TALY, N. **Design of Reinforced Masonry Structures**. The McGraw-Hill Companies, 2010.

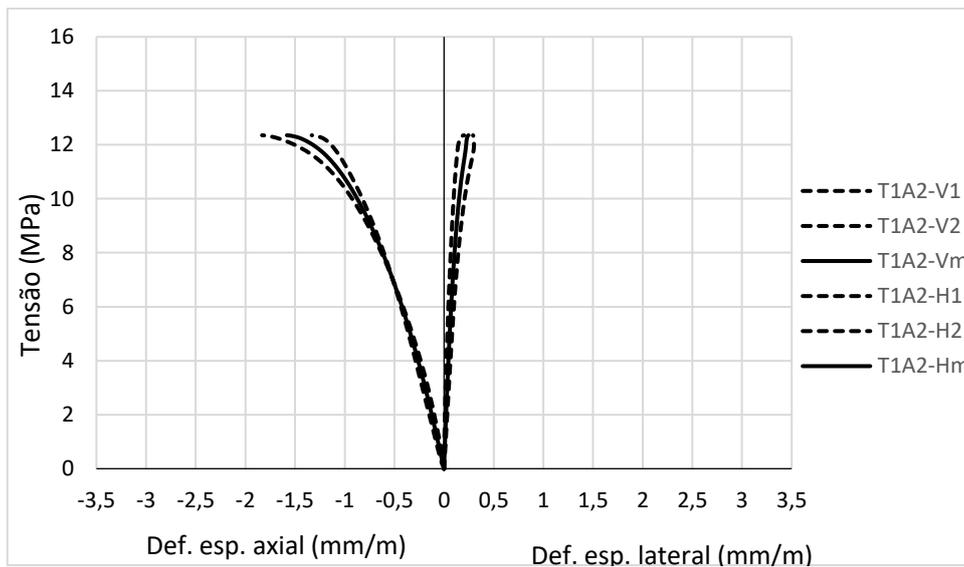
**APÊNDICE A – Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:0,5:4),
altura 100mm**

Figura A1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1,
com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).



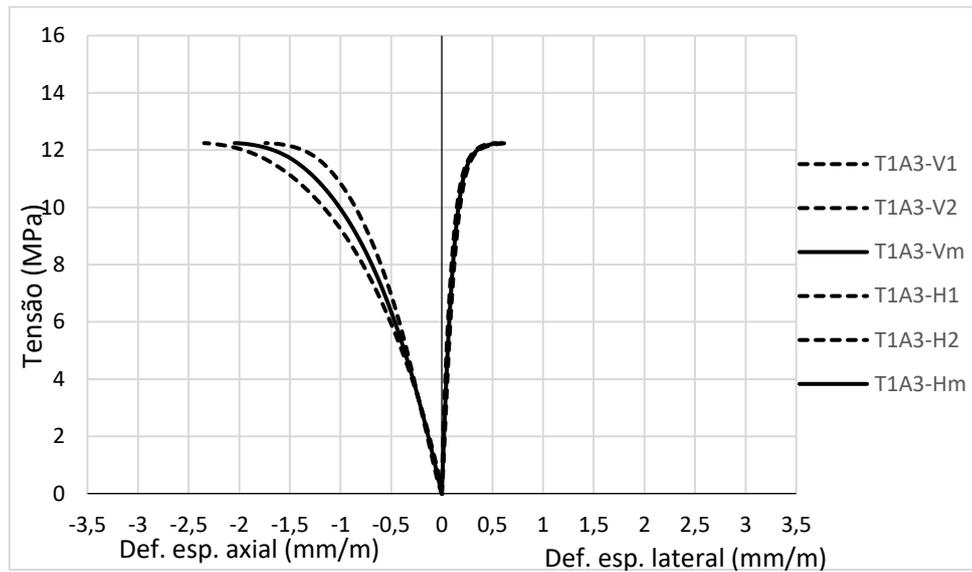
Fonte: Elaboração própria.

Figura A2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2,
com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).



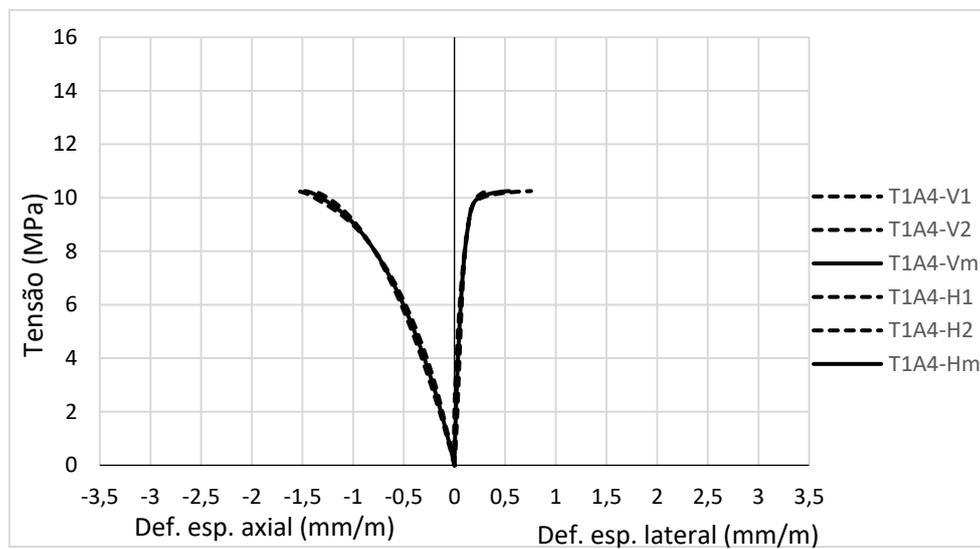
Fonte: Elaboração própria.

Figura A3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).



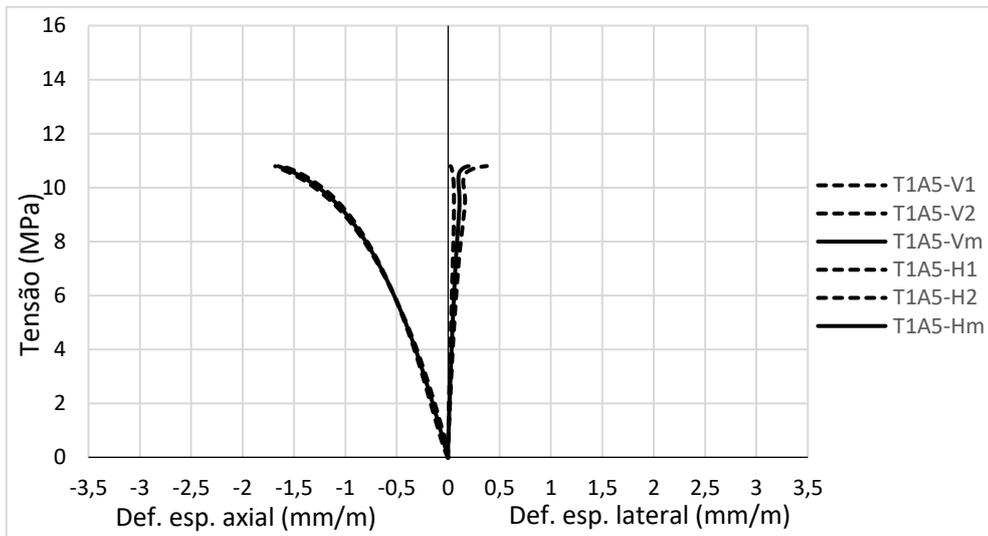
Fonte: Elaboração própria.

Figura A4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).



Fonte: Elaboração própria.

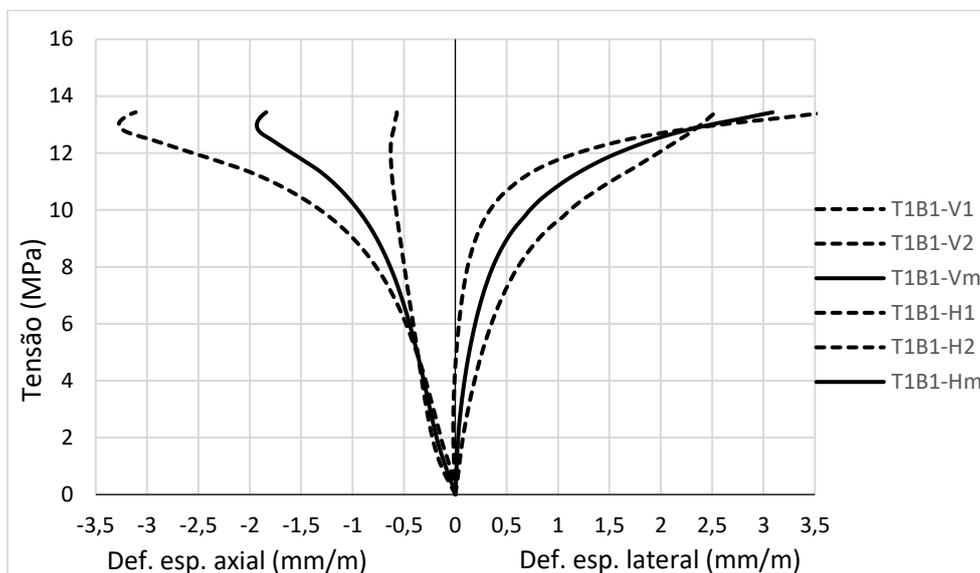
Figura A5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4).



Fonte: Elaboração própria.

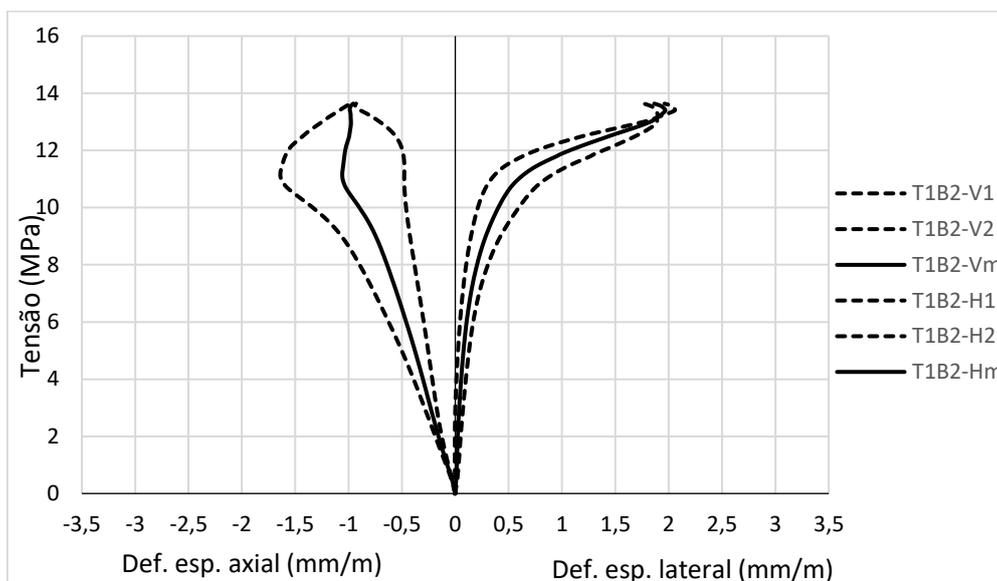
APÊNDICE B - Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:0,5:4),
altura 33 mm

Figura B1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1,
com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4)



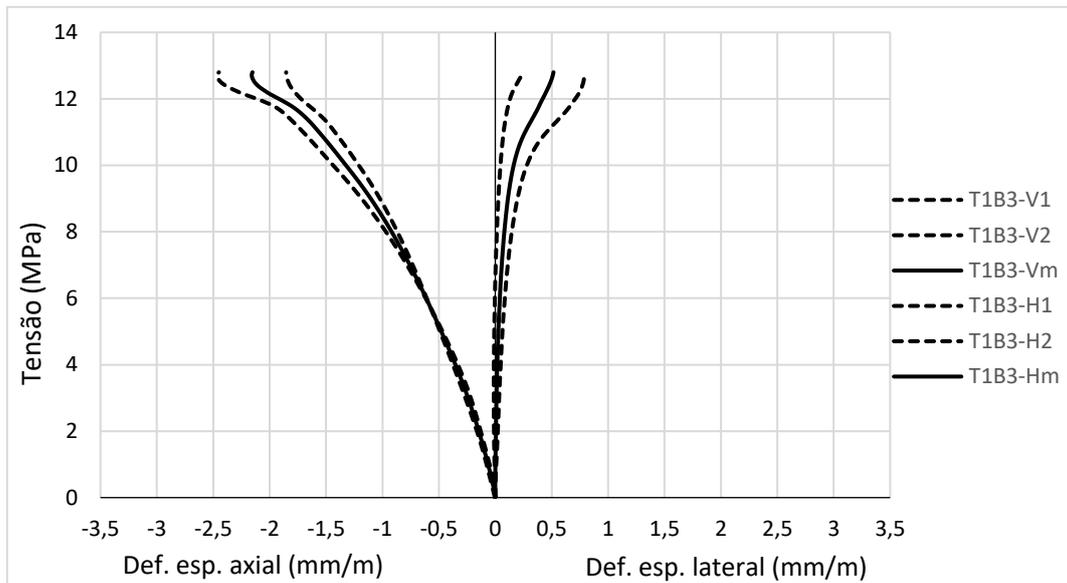
Fonte: Elaboração própria.

Figura B2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2,
com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4)



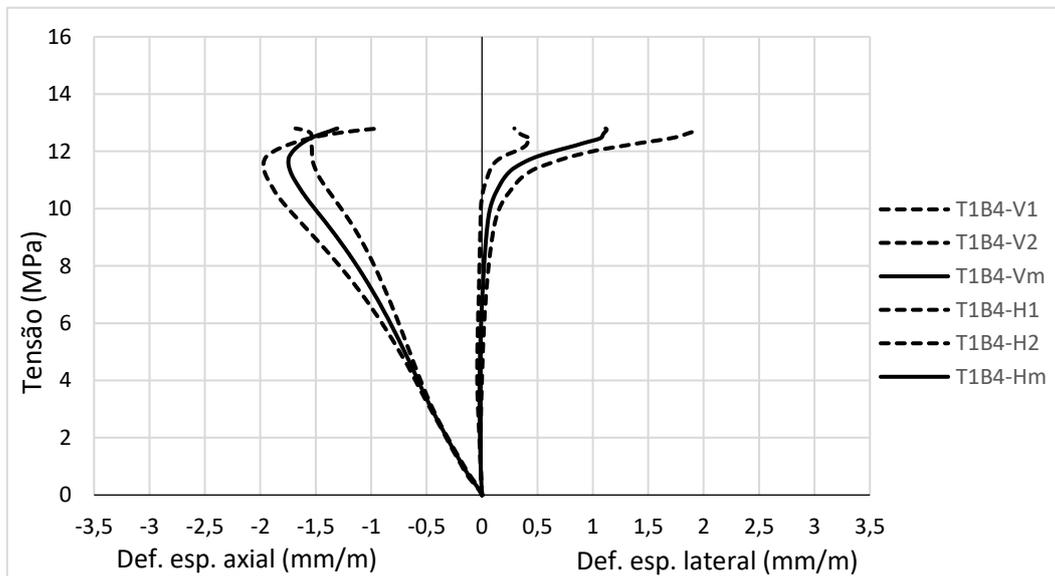
Fonte: Elaboração própria.

Figura B3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4)



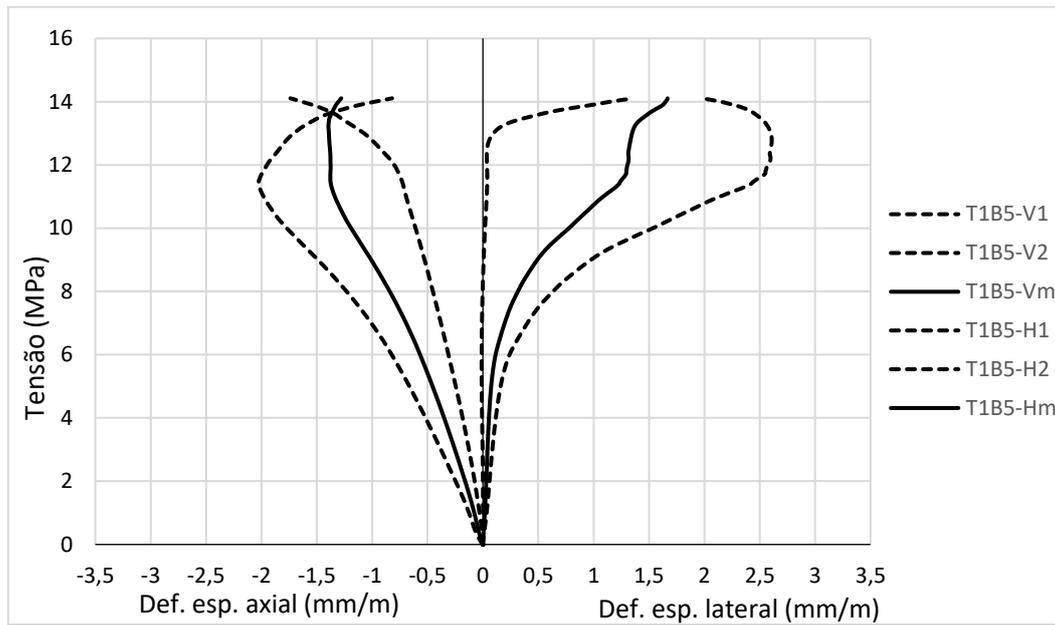
Fonte: Elaboração própria.

Figura B4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4)



Fonte: Elaboração própria.

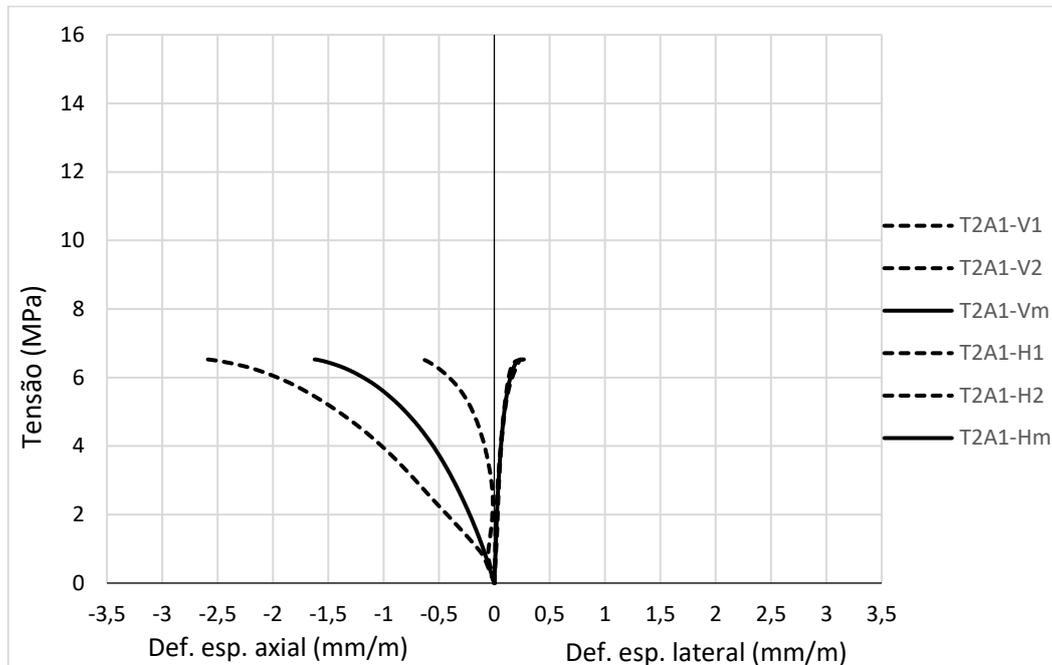
Figura B5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:0,5:4)



Fonte: Elaboração própria.

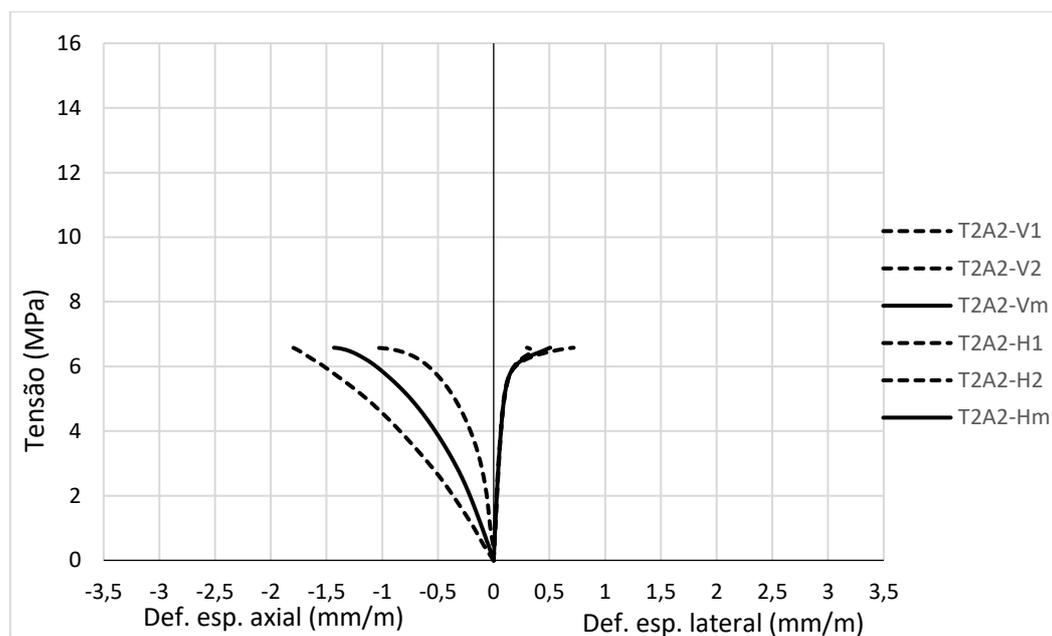
**APÊNDICE C- Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:1:6),
altura 100mm**

Figura C1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



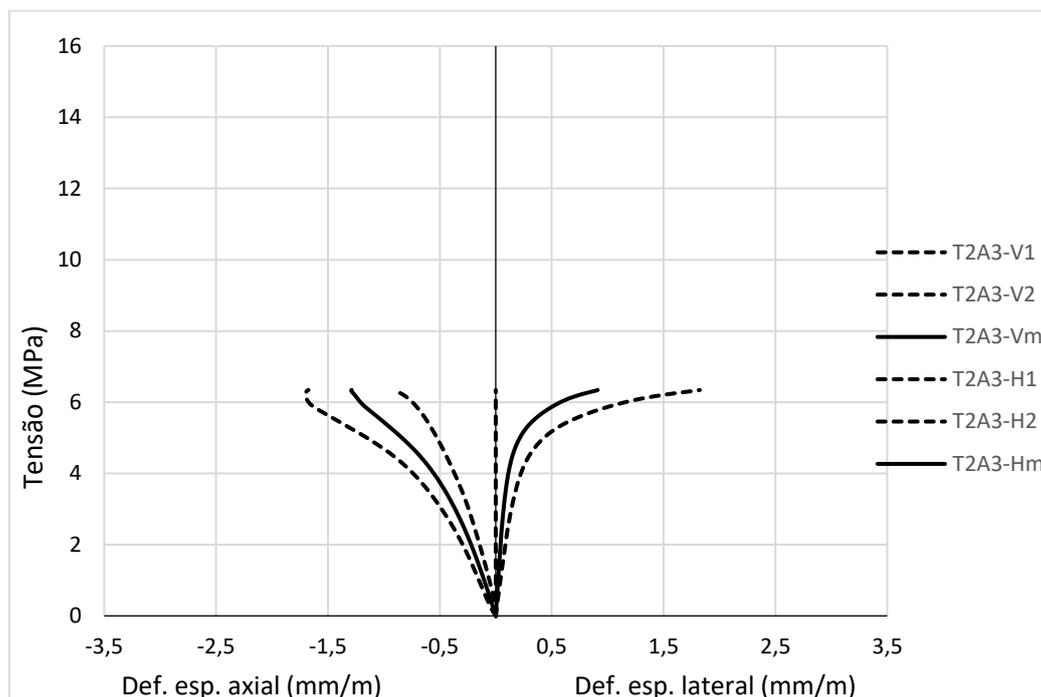
Fonte: Elaboração própria.

Figura C2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



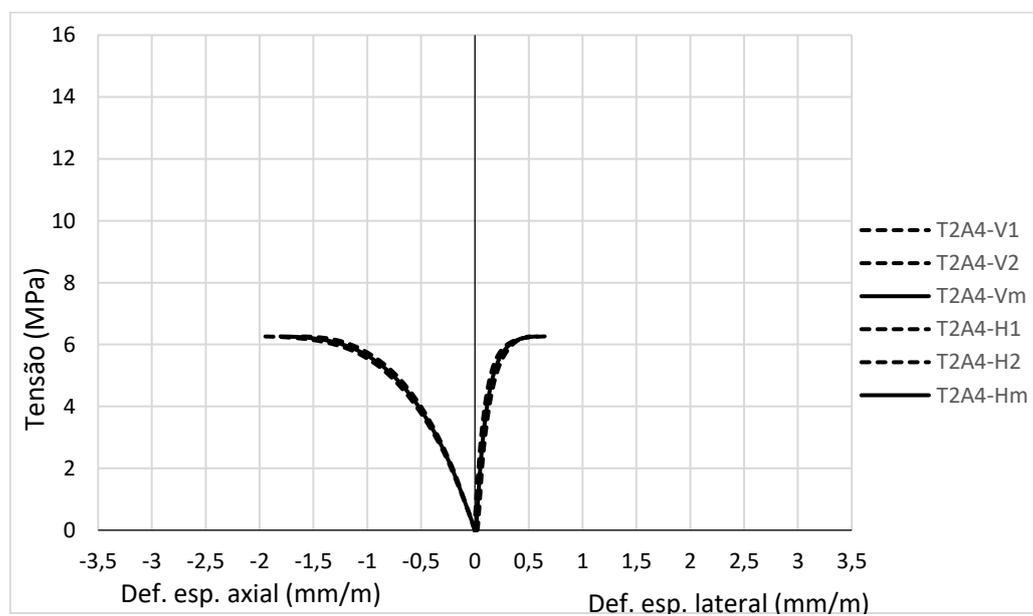
Fonte: Elaboração própria.

Figura C3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



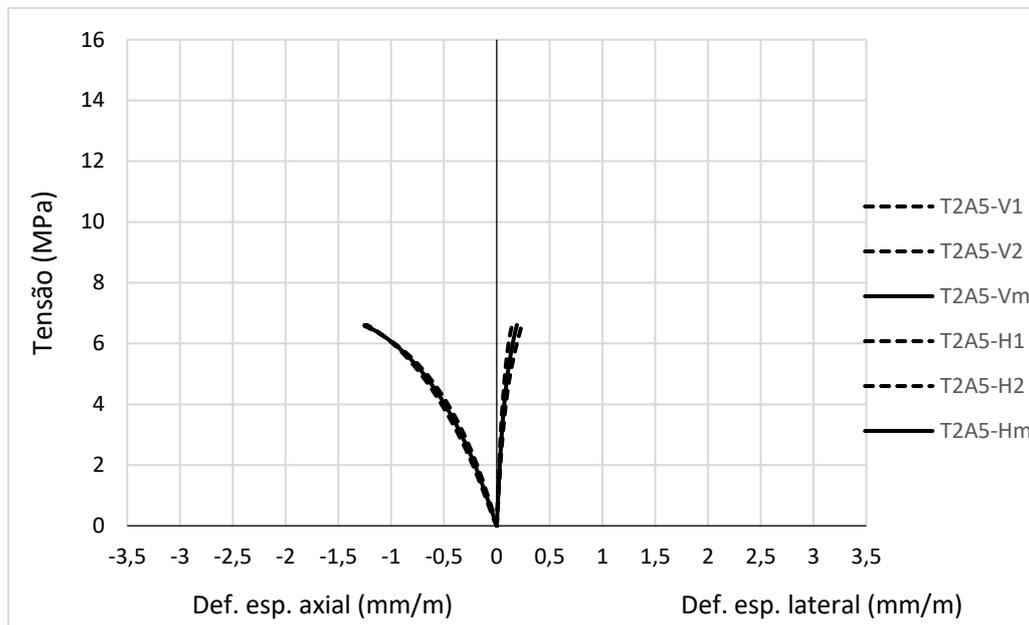
Fonte: Elaboração própria.

Figura C4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



Fonte: Elaboração própria.

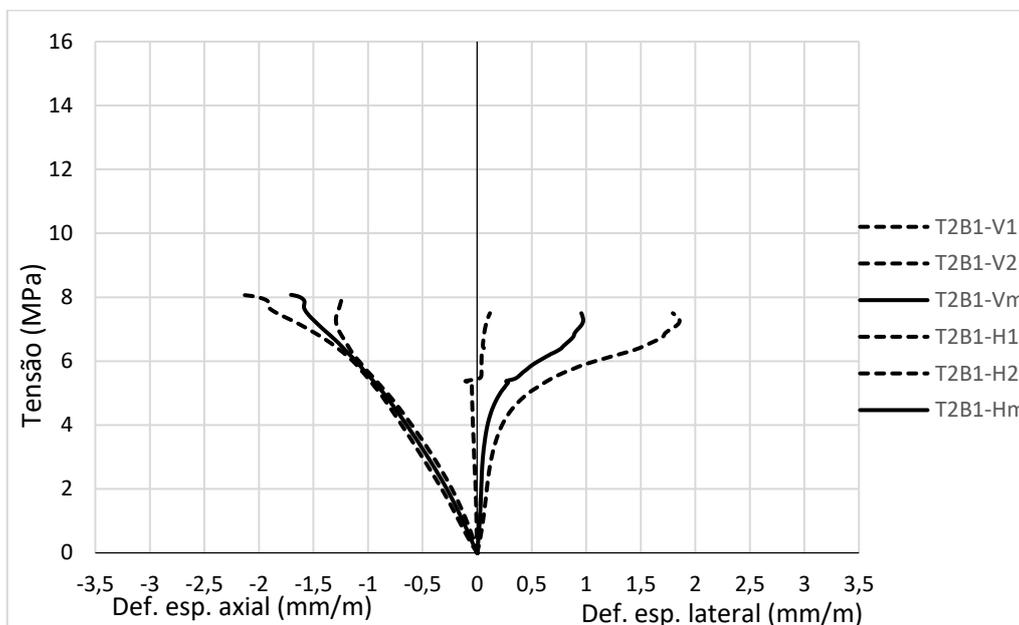
Figura C5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 100 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



Fonte: Elaboração própria.

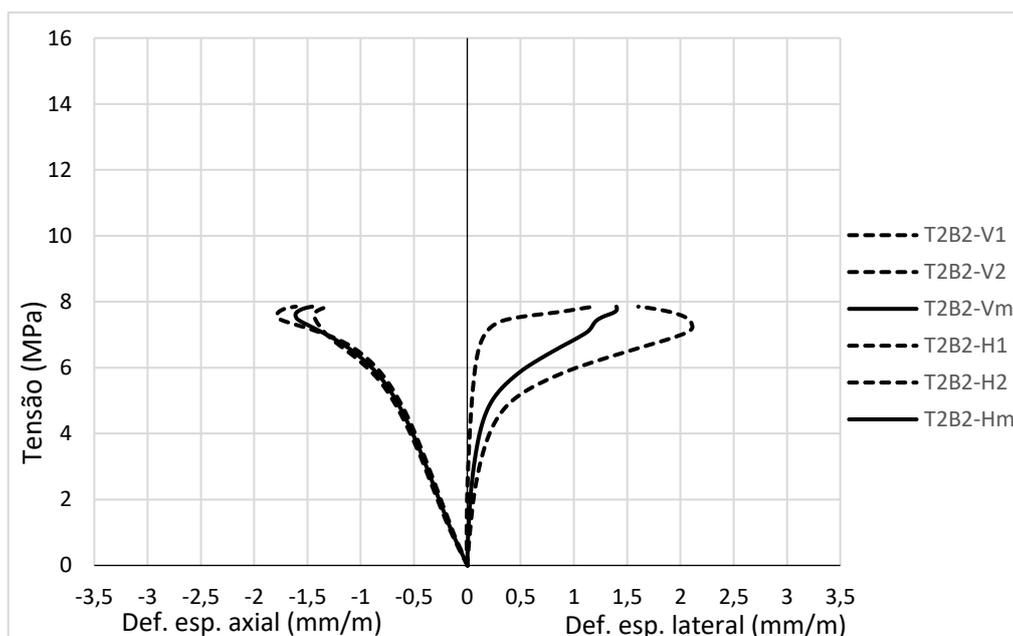
**APÊNDICE D - Resultados individuais – tensão-deformação, traço (1:1:6),
altura 33 mm**

Figura D1 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 1,
com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



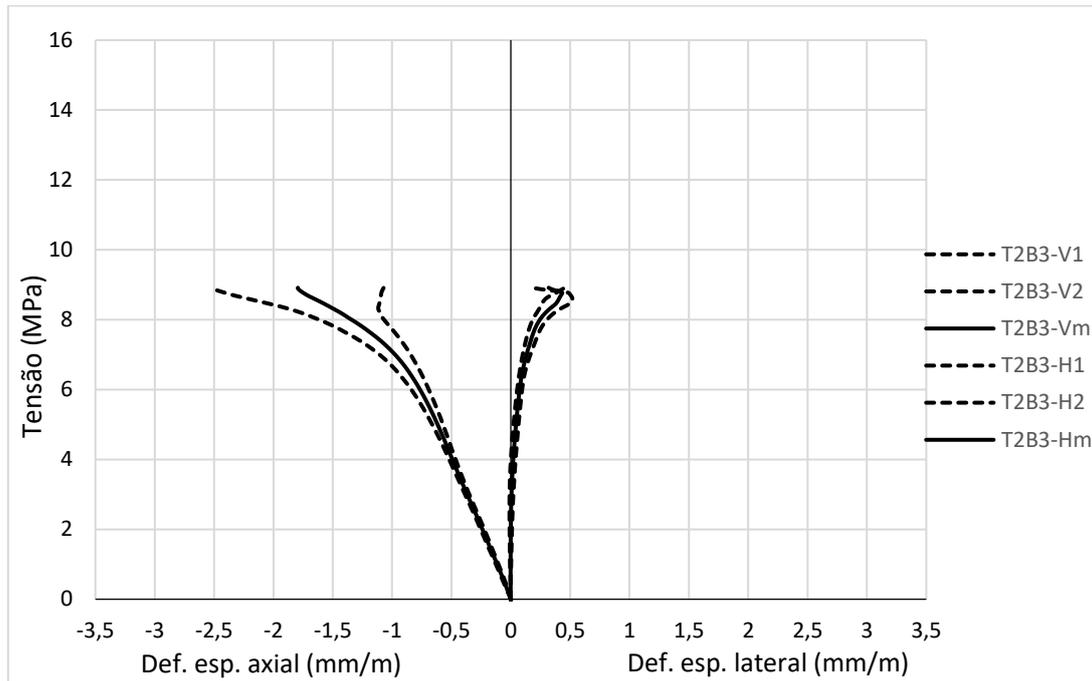
Fonte: Elaboração própria.

Figura D2 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 2,
com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



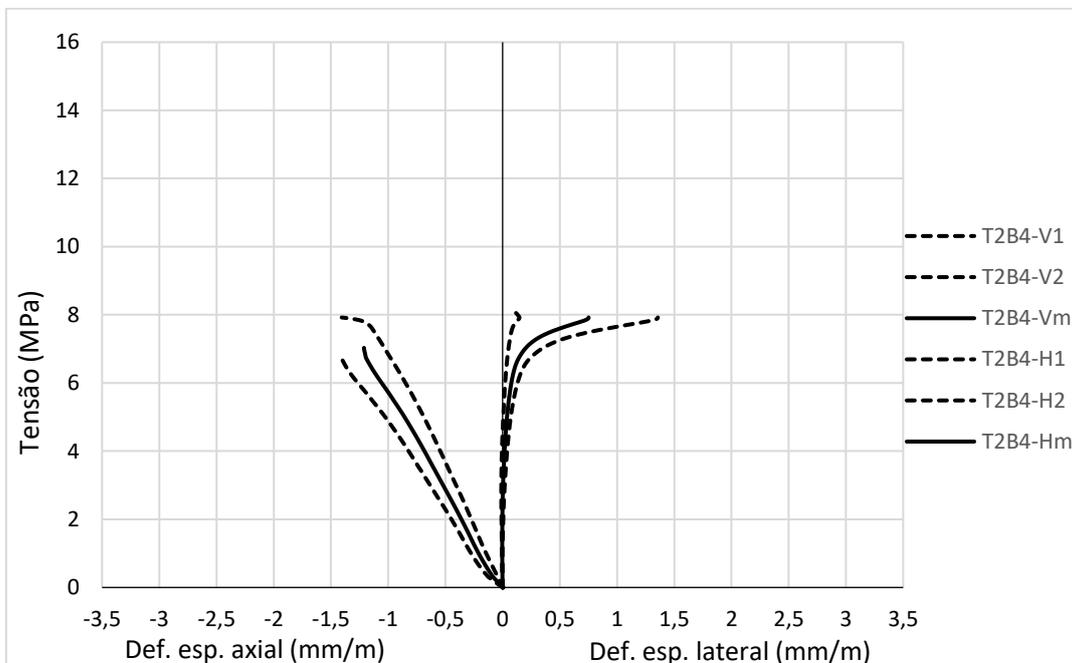
Fonte: Elaboração própria.

Figura D3 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 3, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



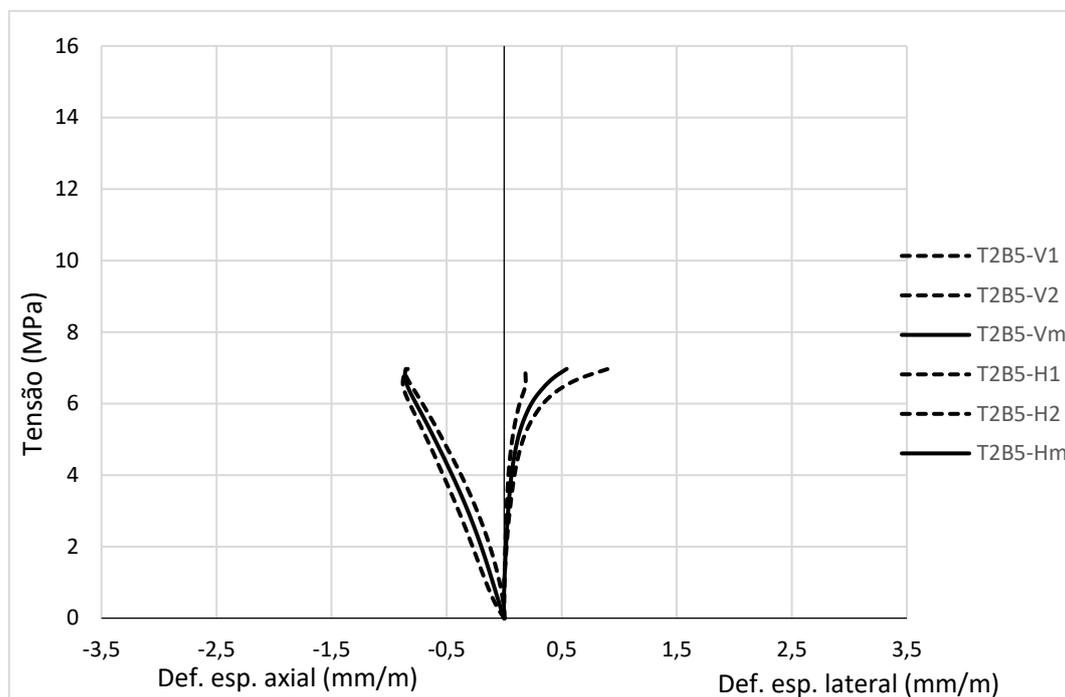
Fonte: Elaboração própria.

Figura D4 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 4, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



Fonte: Elaboração própria.

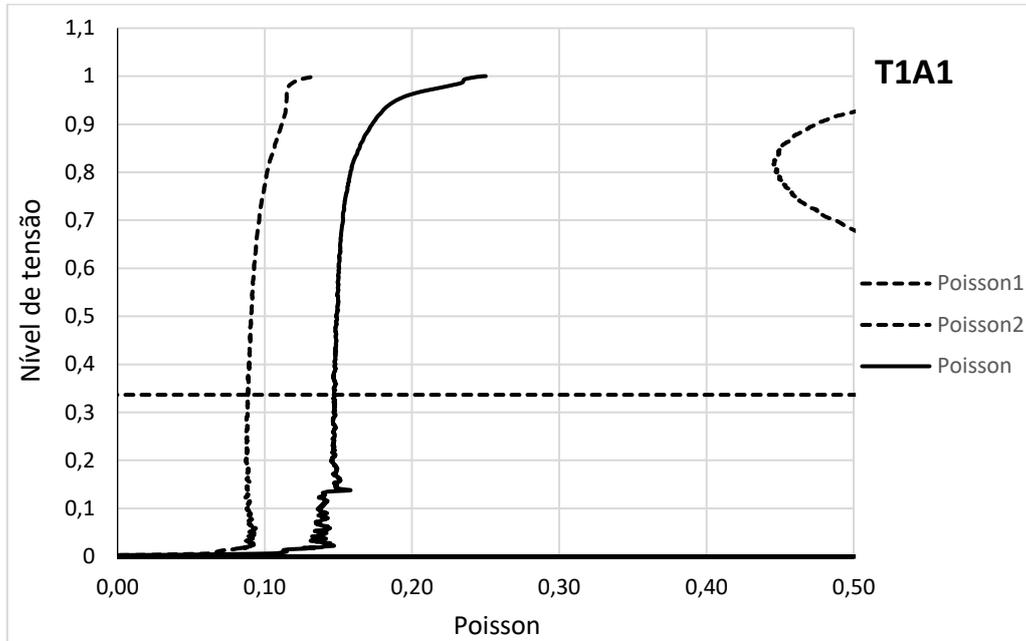
Figura D5 – Comportamento tensão-deformação do corpo de prova de prova 5, com altura de 33 mm e traço I de argamassa (1:1:6).



Fonte: Elaboração própria.

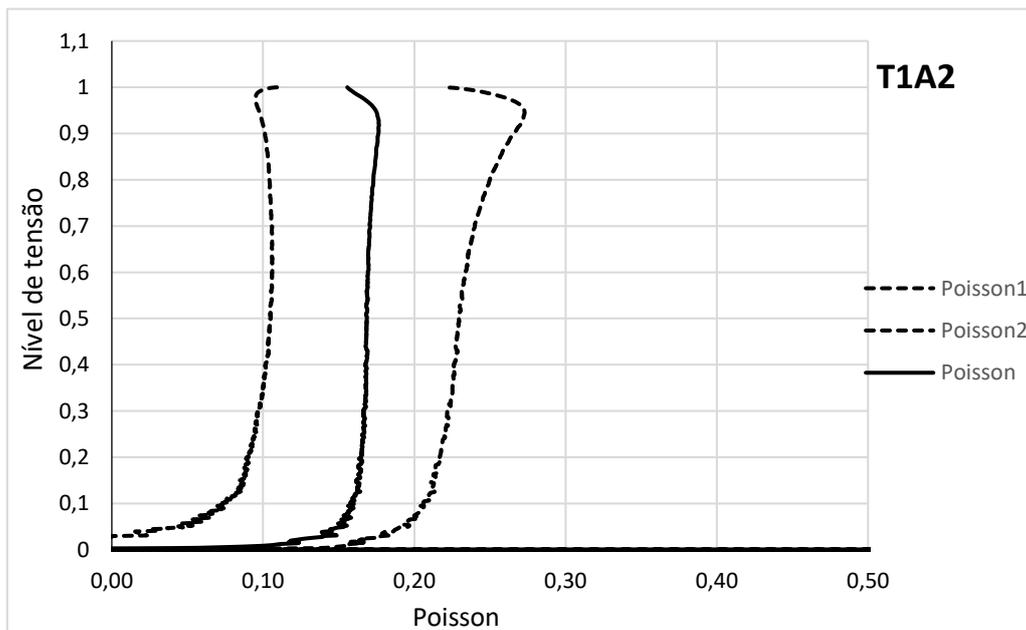
**APÊNDICE E - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:0,5:4),
altura 100 mm**

Figura E1 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 1, traço (1:0,5:4), altura de 100mm.



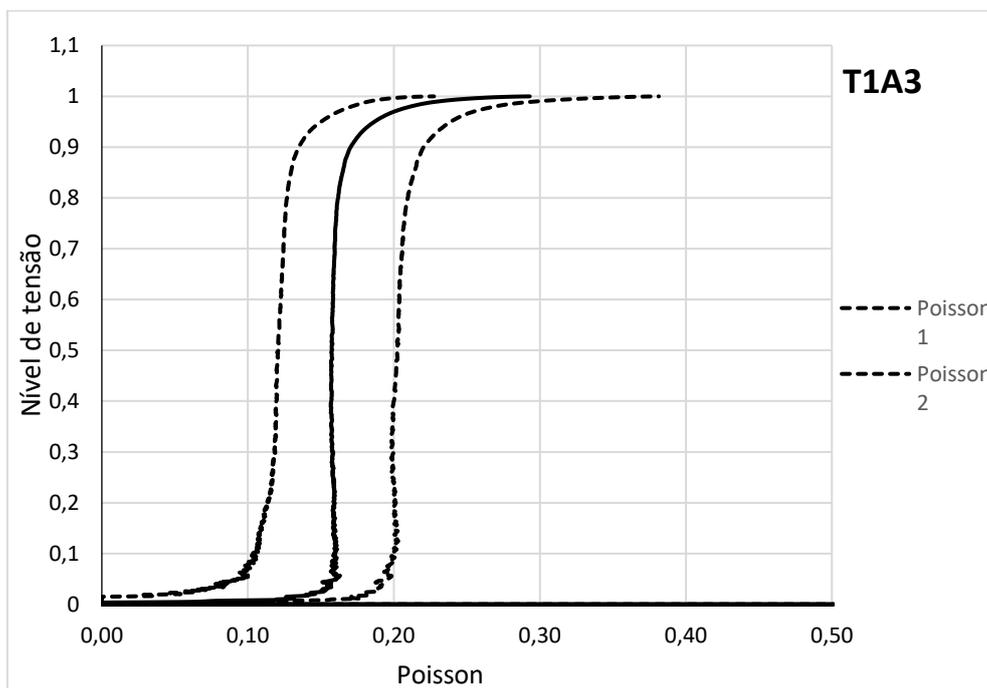
Fonte: Elaboração própria.

Figura E2 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:0,5:4), altura de 100mm.



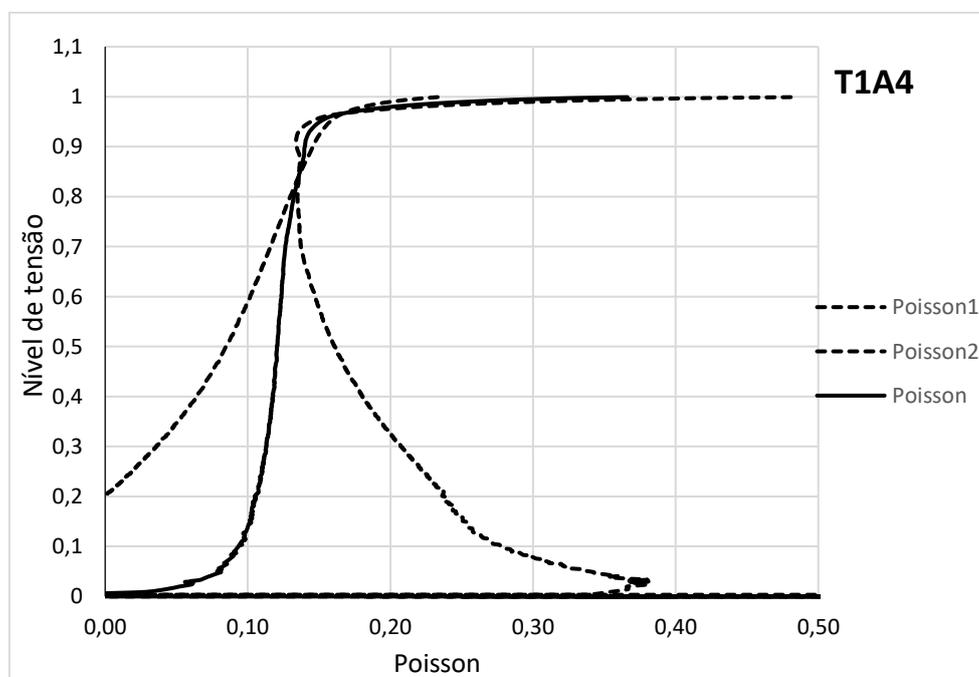
Fonte: Elaboração própria.

Figura E3 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:0,5:4), altura de 100mm.



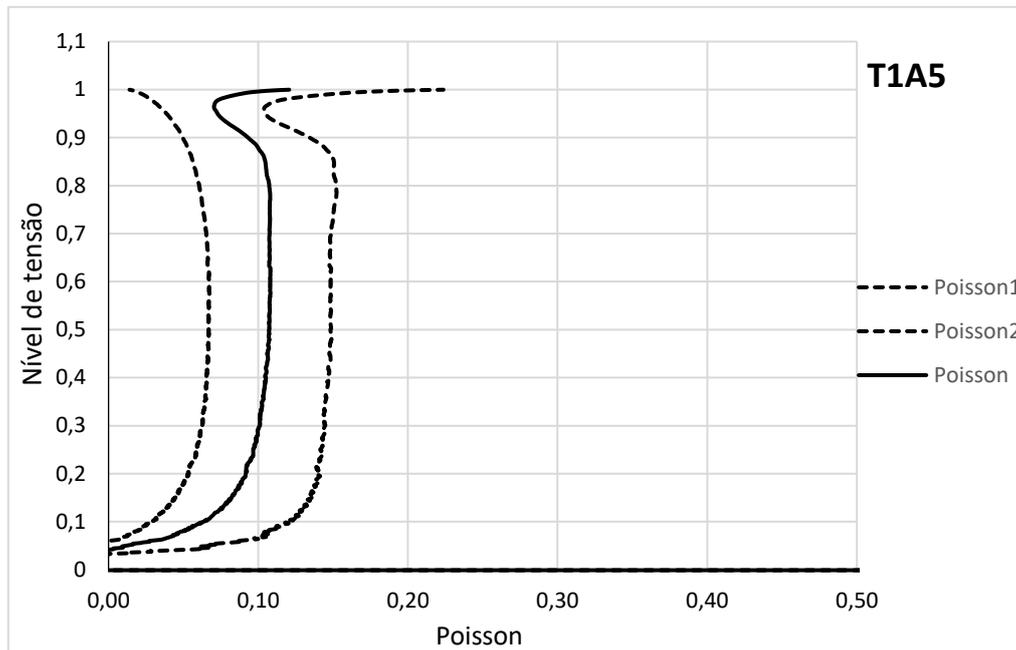
Fonte: Elaboração própria.

Figura E4 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:0,5:4), altura de 100mm.



Fonte: Elaboração própria.

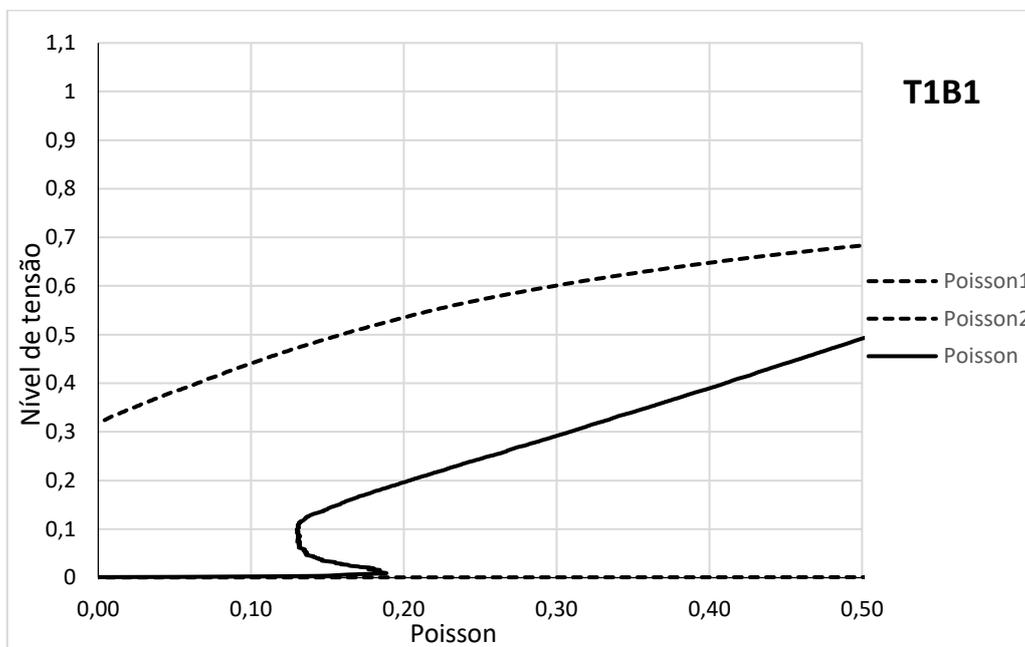
Figura E5 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:0,5:4), altura de 100mm.



Fonte: Elaboração própria.

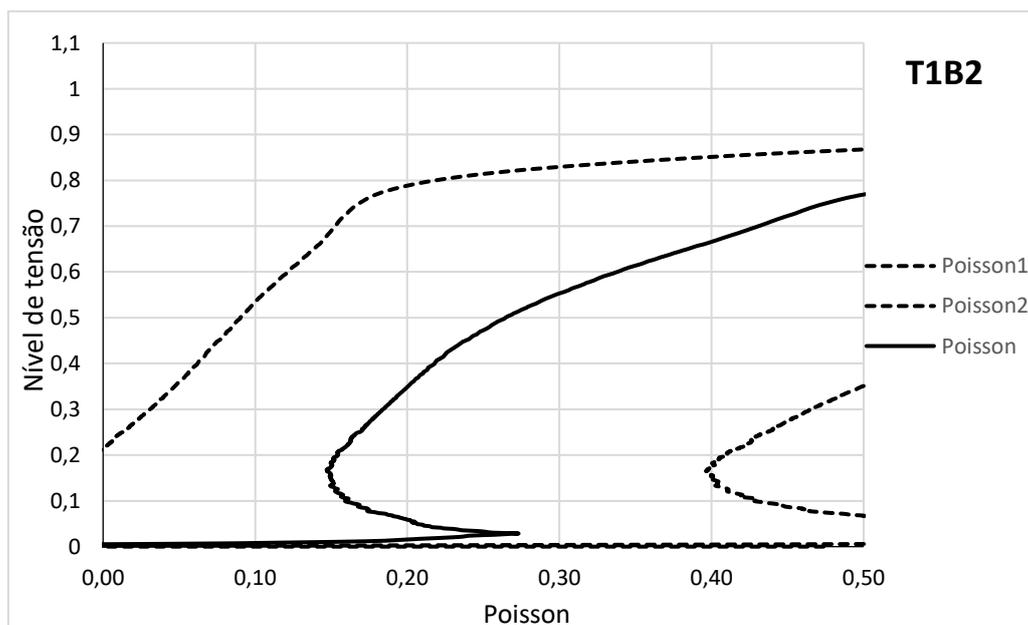
**APÊNDICE F - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:0,5:4),
altura 33 mm**

Figura F1 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 1, traço (1:0,5:4), altura de 33mm.



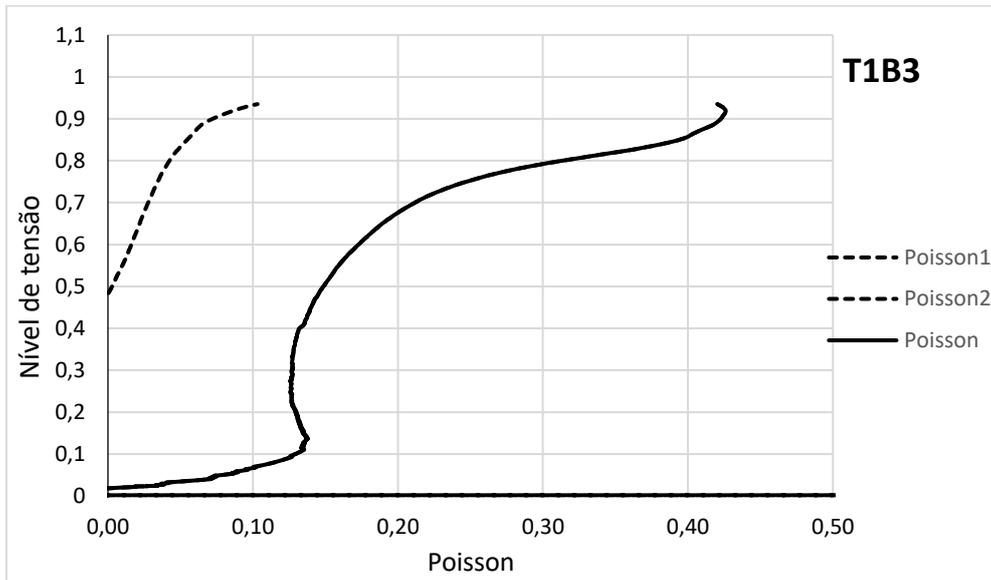
Fonte: Elaboração própria.

Figura F2 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:0,5:4), altura de 33mm.



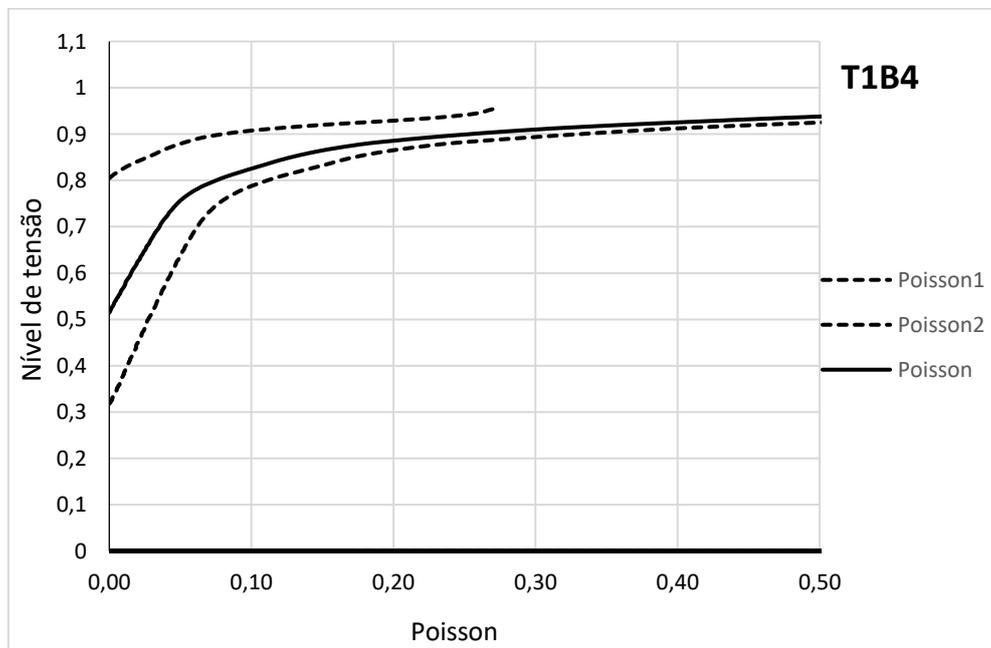
Fonte: Elaboração própria.

Figura F3 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:0,5:4), altura de 33mm.



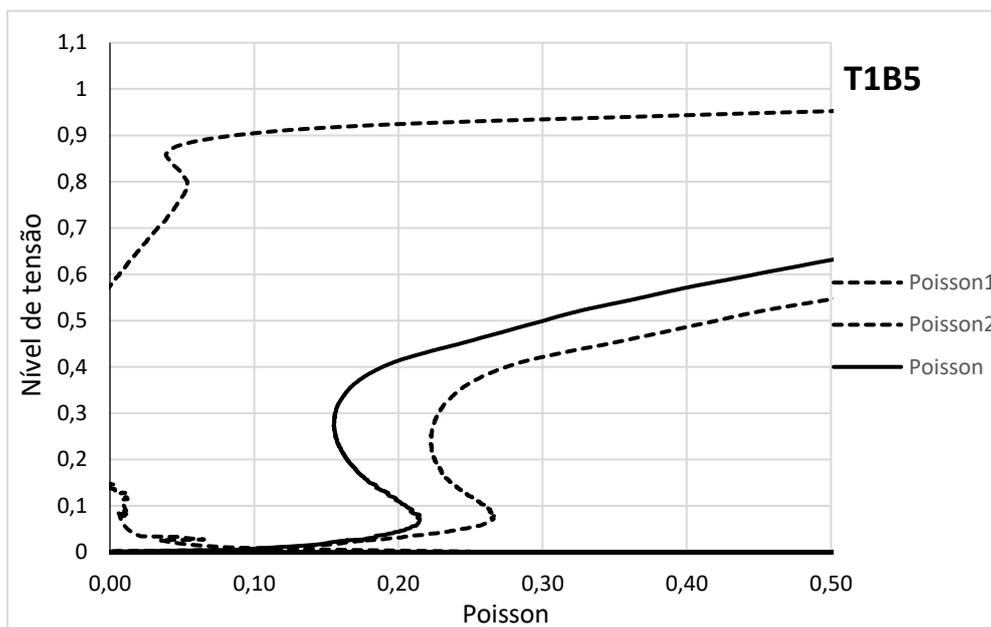
Fonte: Elaboração própria.

Figura F4 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:0,5:4), altura de 33mm.



Fonte: Elaboração própria.

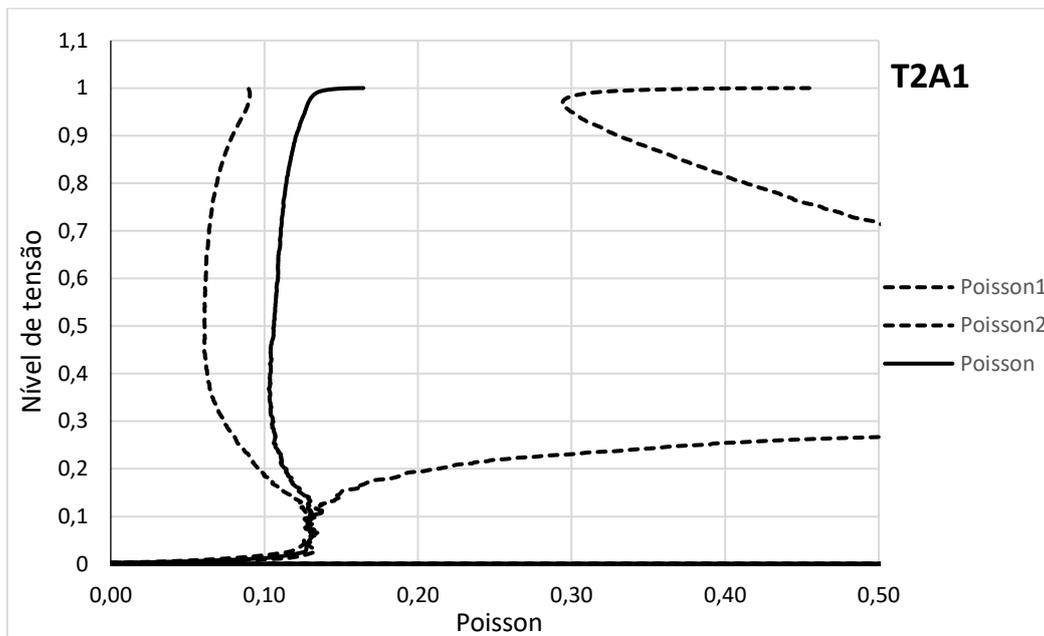
Figura F5 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:0,5:4), altura de 33mm.



Fonte: Elaboração própria.

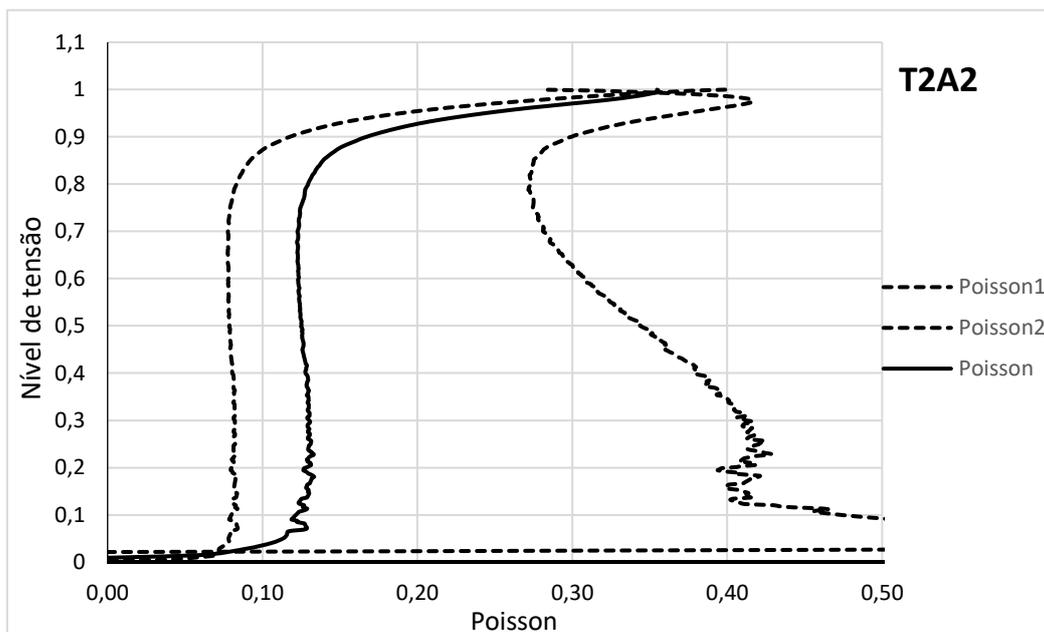
APÊNDICE G - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:1:6),
altura 100 mm

Figura G1 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 1, traço (1:1:6), altura de 100mm.



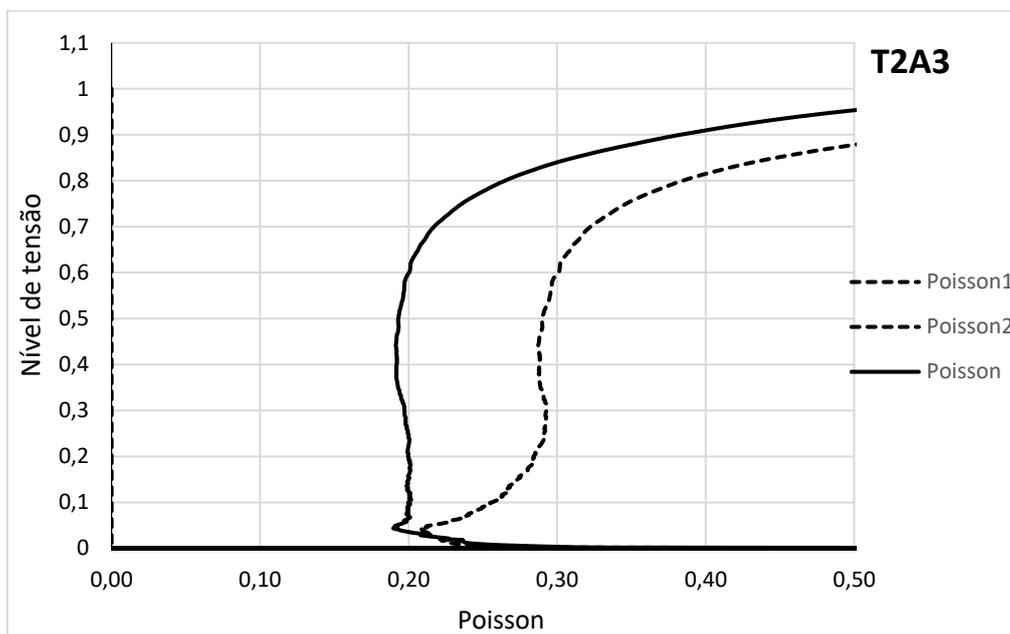
Fonte: Elaboração própria.

Figura G2 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:1:6), altura de 100mm.



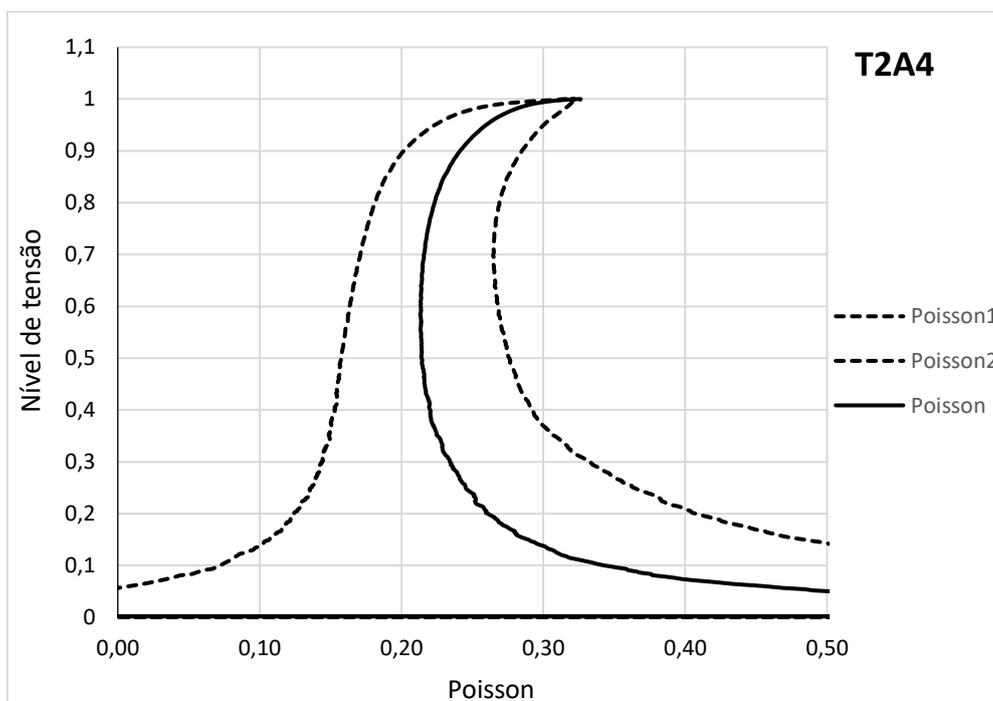
Fonte: Elaboração própria.

Figura G3 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:1:6), altura de 100mm.



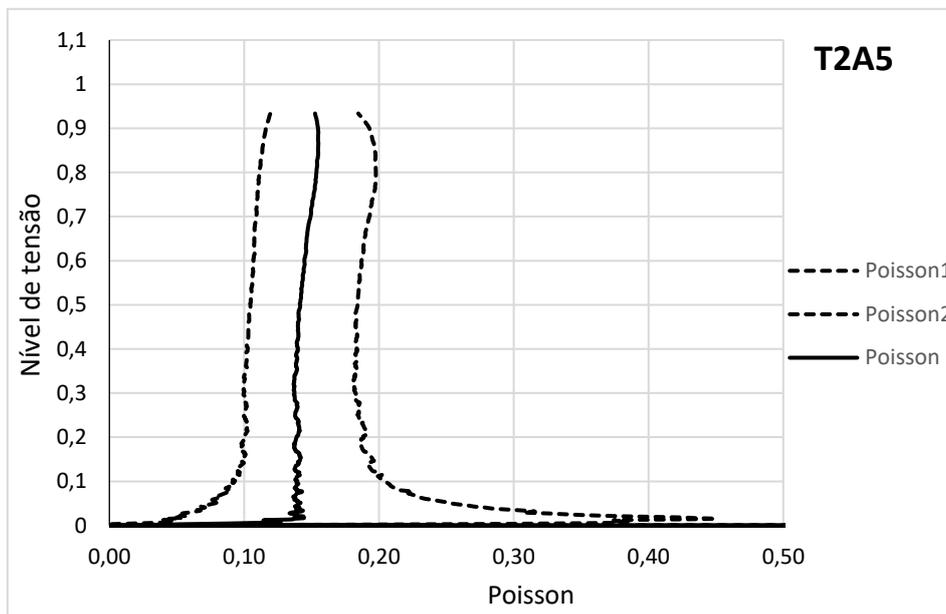
Fonte: Elaboração própria.

Figura G4 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:1:6), altura de 100mm.



Fonte: Elaboração própria.

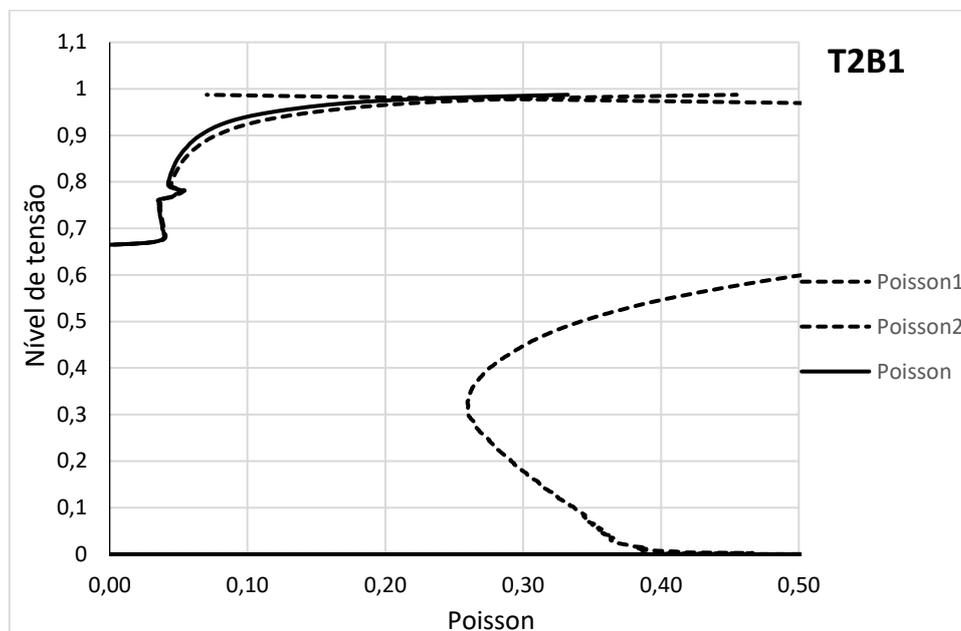
Figura G5 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:1:6), altura de 100mm.



Fonte: Elaboração própria.

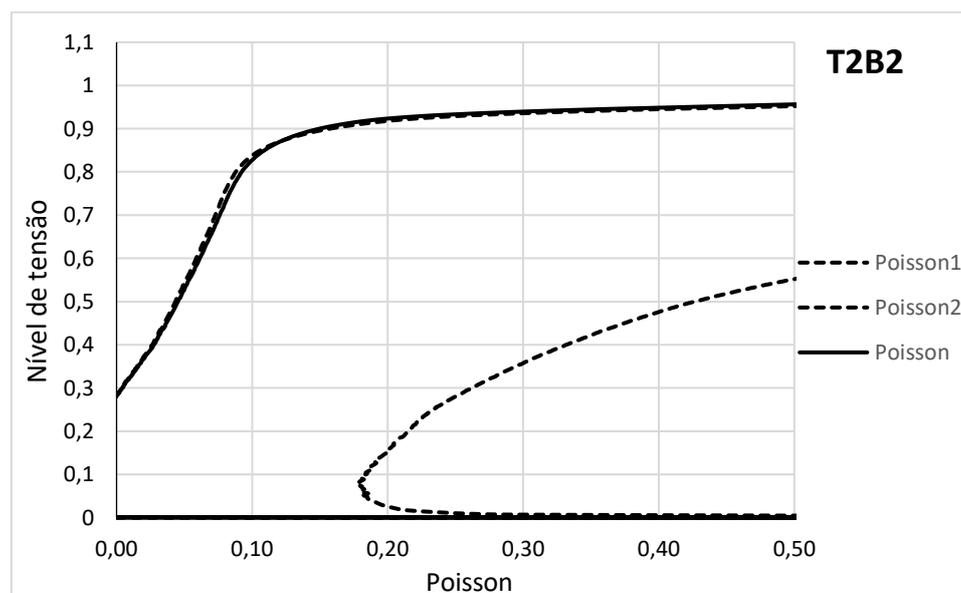
**APÊNDICE H - Resultados individuais – coeficiente de Poisson, traço (1:0,5:4),
altura 33 mm**

Figura H1 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 1, traço (1:1:6), altura de 33 mm.



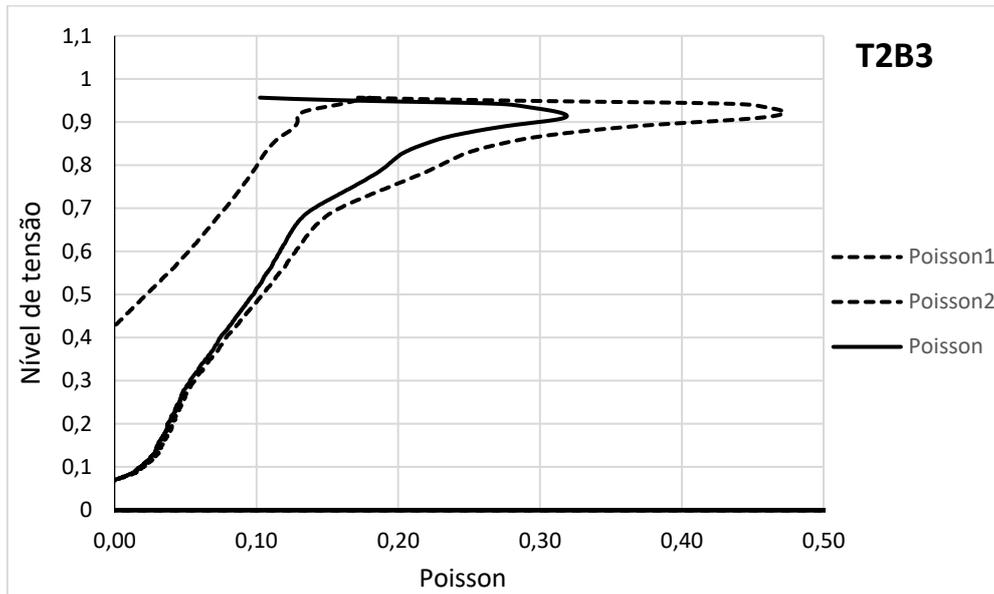
Fonte: Elaboração própria.

Figura H2 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 2, traço (1:1:6), altura de 33 mm.



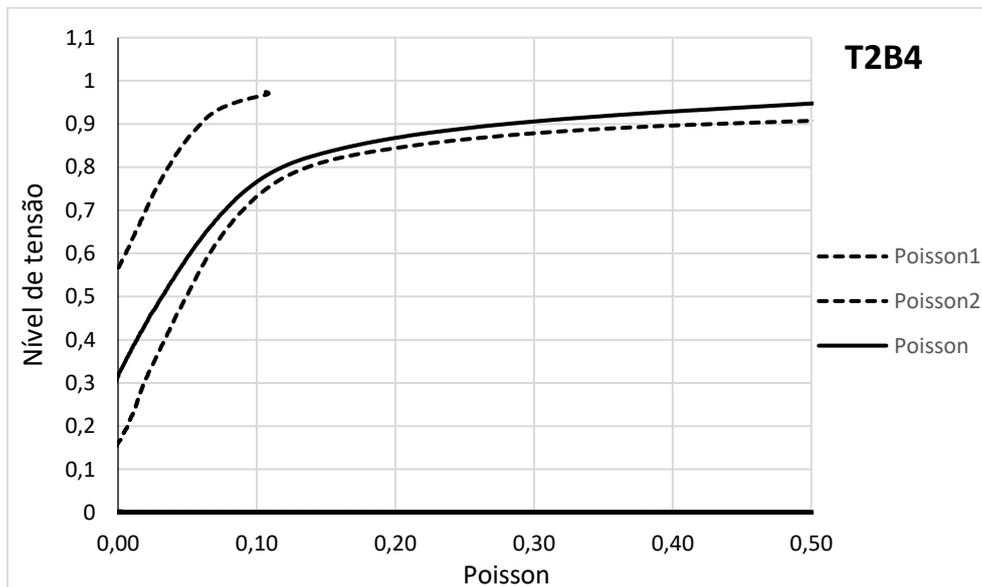
Fonte: Elaboração própria.

Figura H3 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 3, traço (1:1:6), altura de 33 mm.



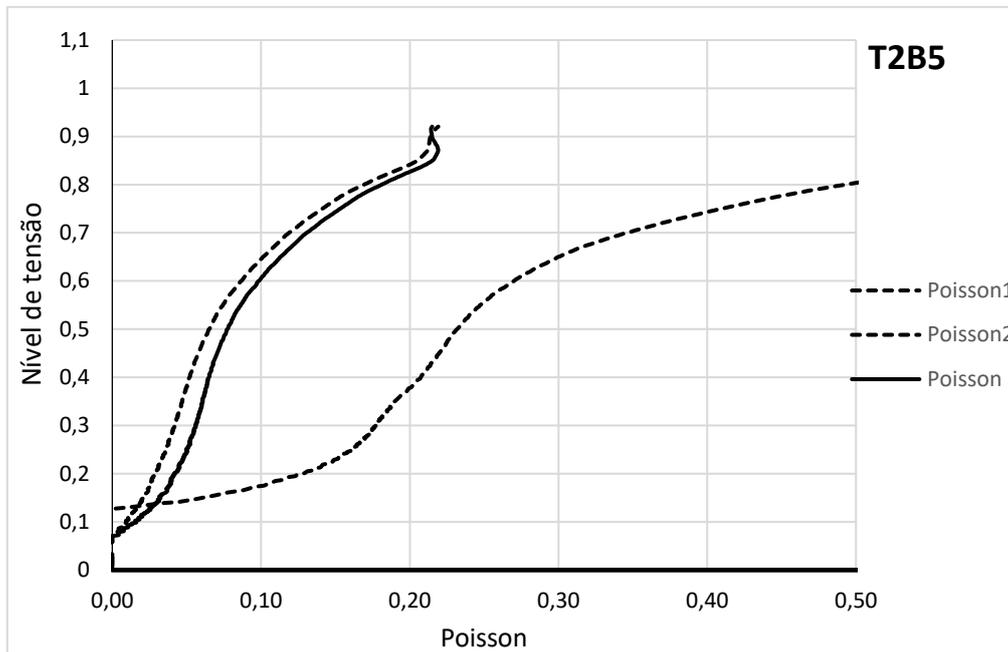
Fonte: Elaboração própria.

Figura H4 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 4, traço (1:1:6), altura de 33 mm.



Fonte: Elaboração própria.

Figura H5 – Variação do coeficiente de Poisson em função do nível de tensão aplicado do corpo de prova 5, traço (1:1:6), altura de 33 mm.



Fonte: Elaboração própria.