ESTUDO DA REOLOGIA DAS ARGAMASSAS NO SEU ESTADO FRESCO CONTENDO VERMICULITA

Tema: Tecnologia dos materiais

Grupo: 1

KÁSSIA S. SINHORELLI[1], JOÃO S. A. FILHO[2,] ALINE F. N. AZEREDO[3], GIVANILDO A. AZEREDO[4]

[1]Mestranda do curso de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba/UFPB, kassiasinhorelli@hotmail.com

[2]Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba/UFPB, joaosergio52@gmail.com

[3]Profª Drª, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande/UFCG, *alinefnobrega@hotmail.com*

[4]Profº Drº, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba/UFPB, *givanildoazeredo@hotmail.com*

RESUMO

Neste trabalho foi avaliada a reologia das argamassas contendo cimento Portland, cal hidratada, vermiculita, areia e adição de metacaulim ou resíduo de tijolo cerâmico. Substituiu-se parcialmente a areia pela vermiculita na proporção de 40%, e nas adições a proporção foi de 10% e 20%, o traço utilizado foi de 1:1:6, em volume, e a quantidade da água foi determinada pelo espalhamento obtido através da mesa de consistência. Utilizou-se o método do Squeeze-flow possibilitando um comparativo com a mesa de consistência. Os resultados mostraram que as argamassas contendo adições de 20% apresentaram o comportamento reológico mais próximo da argamassa de referência.

Palavras-chave: argamassa térmica, reologia, vermiculita, *squeeze-flow*.

STUDY OF THE REOLOGY OF MORTARS IN THE FRESH CONDITION CONTAINING VERMICULITE

ABSTRACT

In this work the rheology of mortar containing Portland cement, hydrated lime, vermiculite, sand and addition of metakaolin or ceramic brick residue was evaluated. The sand was partially replaced by vermiculite in the proportion of 40%, and in the additions the ratio was 10% and 20%, the trace used was 1: 1: 6 by volume, and the amount of water was determined by scattering obtained through the table of consistency. The Squeeze-flow method was used, allowing a comparison with the table flow. The results showed that mortar containing additions of 20% presented the rheological behavior closest to the reference mortar.

Key-words: thermal mortar, rheology, vermiculite, squeeze-flow.

1. INTRODUÇÃO

Diversos trabalhos como os de Shoukry et al. (2016)[1], Silva et al. (2010)[2] e Palomar, Barluenga e Puertes (2015)[3] investigaram a utilização da vermiculita em argamassas de revestimento com a finalidade de contribuir para o conforto térmico nos ambientes das edificações. A vermiculita vem sendo usada em argamassas nas construções atuais, porém a dificuldade na trabalhabilidade sempre é um problema relatado por aqueles que a usam nas argamassas dosadas em obra. Além disso, há a limitação imposta pela utilização de agregado leve, como a elevada absorção de água em relação aos agregados convencionais e a diminuição da resistência devido à diminuição da densidade das argamassas, uma alternativa para compensar essas limitações é adição de minerais.

Com o intuito de melhorar o desempenho mecânico das argamassas, Shoukry et al. (2016)[1] incorporou nano metacaulim em argamassa de cimento Portland e vermiculita, com a substituição de 70%, em volume, foi possível obter um melhor desempenho mecânico e minimizar a absorção capilar do compósito. Outro material que se tornou foco de várias pesquisas é o resíduo do tijolo da cerâmica vermelha, Carneiro, Moura e Leite (2009)[4] utilizaram o resíduo como substituição do cimento na argamassa, onde a argamassa com 10% de substituição apresentou um ganho de resistência da ordem de 19%, enquanto o teor de 20% resultou num decréscimo de 5% na resistência mecânica.

No Brasil, o comportamento reológico das argamassas é tradicionalmente caracterizado pelo ensaio da mesa de consistência prescrito pela NBR 13276 (ABNT, 2016)[5], que avalia a consistência do material por um conceito de trabalhabilidade através de níveis de consistência pré-estabelecido. Porém, diversos pesquisadores (CAVANI; ANTUNES; JOHN, 1997[6]; KOEHLER; FOWLWE, 2003[7]; BANFILL, 1991[8]) argumentam que a mesa não possui sensibilidade para medir a reologia da argamassa.

Nesse contexto, estudos reológicos utilizando o squeze-flow vêm ganhando espaço por não apresentar problemas comuns dos demais ensaios reológicos, como a perda de contato entre o material e o elemento cisalhante, entupimento de capilares ou restrição por capacidade de torque. A sua utilização para a caracterização de argamassas foi desenvolvido por Cardoso (2009)[9], e posteriormente prescrito pela NBR 15839 (ABNT, 2010)[10].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As argamassas mistas produzidas são compostas por cimento Portland CP V – ARI MAX, cal hidratada, areia (agregado miúdo), vermiculita, resíduo do tijolo cerâmico moído (RTM), metacaulim (MC) e água. O RTM foi obtido através do beneficiamento do resíduo do tijolo cerâmico realizado através da fragmentação em um britador de mandíbula e, posteriormente, pela moagem fixada em 30.000 rotações através de um moinho de bolas,

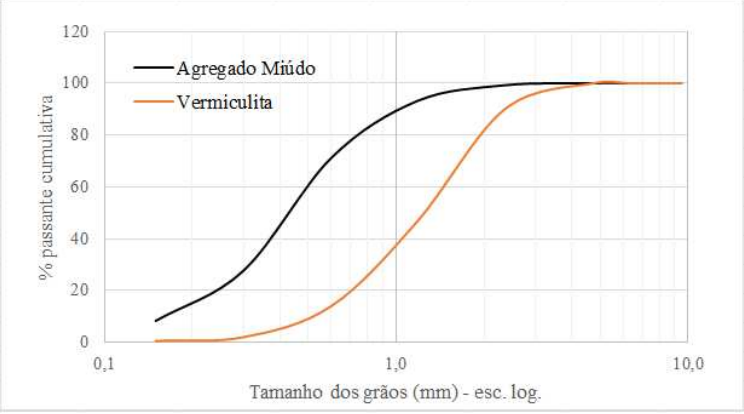
por apresentar uma boa relação entre finura do material e o gasto energético para sua obtenção como demonstrado por CARVALHO (2016)[11].

As características físicas dos materiais utilizados são apresentadas na Tabela 1. A distribuição granulométrica do agregado miúdo e da vermiculita pode ser visualizada na Figura 1, ainda é possível verificar a distribuição granulométrica do CP V – ARI MAX, Cal, RTM e MC obtida pelo método de difração de raios Laser, através de um granulômetro a laser, na Figura 2, assim como o seu histograma representado na Figura 3. A análise da composição química dos materiais finos foi determinada de forma semiquantitativa através do espectrômetro de fluorescência de raios-x (Tabela 2).

Tabela 1 – Características Físicas dos Materiais

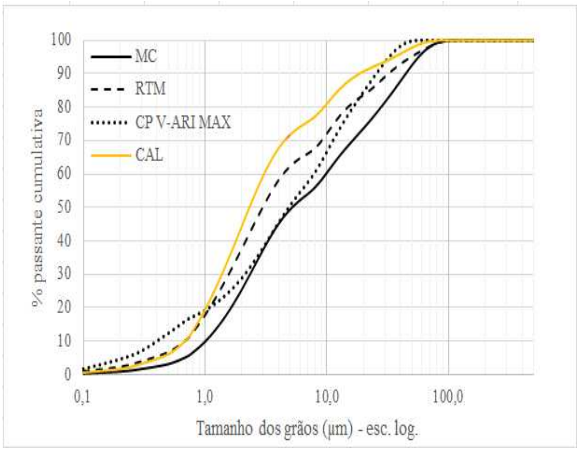
Material	Massa Específica (g/cm³)	Massa Unitária (g/cm³)
CPV	3,060	0,920
Cal	2,471	0,644
RTM	2,579	0,730
MC	2,584	0,491
Areia	2,650	1,498
Vermiculita	0,731	0,147

Figura 1 – Granulometria do agregado miúdo e da vermiculita



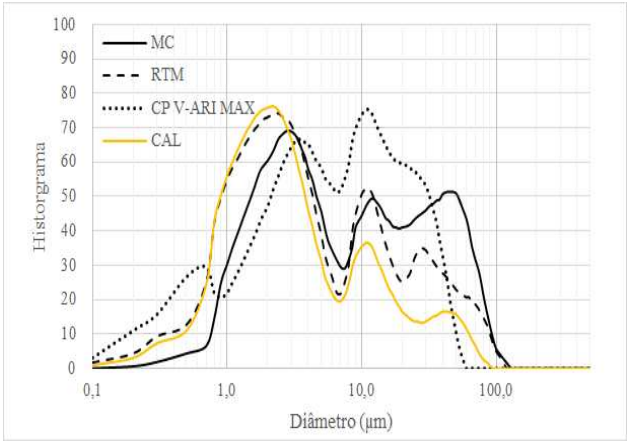
Fonte: Autor

Figura 2 – Curva granulométrica dos materiais finos MC, RTM, CP V – ARI MAX, Cal



Fonte: Autor

Figura 3 – Volume das partículas dos materiais finos: MC, RTM, CAL e CPV-ARI MAX



Fonte: Autor

Tabela 2 – Composição química dos materiais (Fluorescência de Raio-X)

Material	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO_3 (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	Outros (%)
CPV	25,286	3,885	4,346	58,190	3,014	3,384	0,331	0,452	0,414	0,698
Cal	4,248	1,429	1,951	84,959	6,537	0,246	0,234	0,090	0,197	0,109
RTM	56,487	24,176	12,149	0,208	2,398	-	1,351	0,740	2,067	0,424
MC	53,655	31,790	9,895	0,122	1,172	0,083	0,203	0,655	1,844	0,581

O RTM e o MC, de acordo com a NBR 12653 (2014)[12], podem ser classificados como material pozolânico Classe N, pois apresentam teor de $S0_3$ menor que 4%, e a soma do SiO_2, Al_2O_3 e Fe_2O_3 maior que 70%. Em relação à cal, a soma do CaO e MgO equivale à 91,5% podendo ser classificada como CH-I com base na NBR 7175 (2003)[13]. O CP V obedece aos critérios da NBR 16697 (2018)[14], apresentando os valores de MgO abaixo do limite de 6,5% e o valor de $S0_3$ menor que 3,5%.

As argamassas apresentam traço, em volume, de 1:1:6 e as pozolanas foram adicionadas nas proporções de 10% e 20% em relação à massa do cimento formando assim o grupo de misturas presente na Tabela 3.

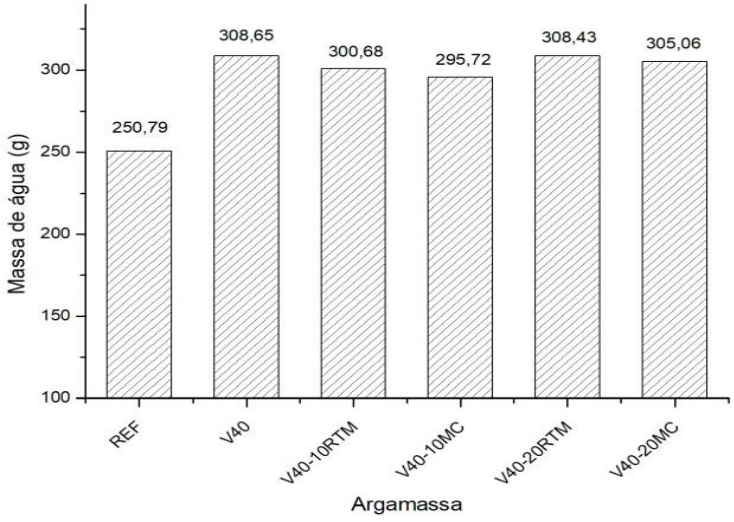
ISSN 1984-8757

Tabela 3 – Identificação das misturas analisadas

Argamassa	Cimento (g)	Cal (g)	Areia (g)	Vermiculita (g)	RTM (%)	MC (%)	a/c
REF	138	96,6	1348,4	-	-	-	1,82
V 40	138	96,6	809,1	53,1	-	-	2,24
V40–10RTM	138	96,6	809,1	53,1	13,8	-	2,18
V40-10MC	138	96,6	809,1	53,1	-	13,8	2,14
V40-20RTM	138	96,6	809,1	53,1	27,6	-	2,24
V40-20MC	138	96,6	809,1	53,1	-	27,6	2,21

A quantidade de água em cada mistura (Figura 4), foi definida através do índice de consistência padrão proposto pela NBR 13276 (ABNT, 2016)[15]. Foi realizado o ensaio da mesa de consistência estabelecendo um espalhamento pré-definido de 260 mm.

Figura 4 – Massa de água nas argamassas



Fonte: autor

Foi adotado o procedimento de mistura utilizado por Silva (2010)[2], no qual, incialmente, foi realizada a homogeneização do material seco por 30 segundos na velocidade baixa, em seguida foi adicionada água de modo contínuo até 20 segundos e permaneceu o processo de mistura por mais 90 segundos. Em estudos realizados por Antunes (2005)[16] mostra que esse processo de adição de água resulta em uma argamassa mais homogênea, influenciando na reologia da mistura.

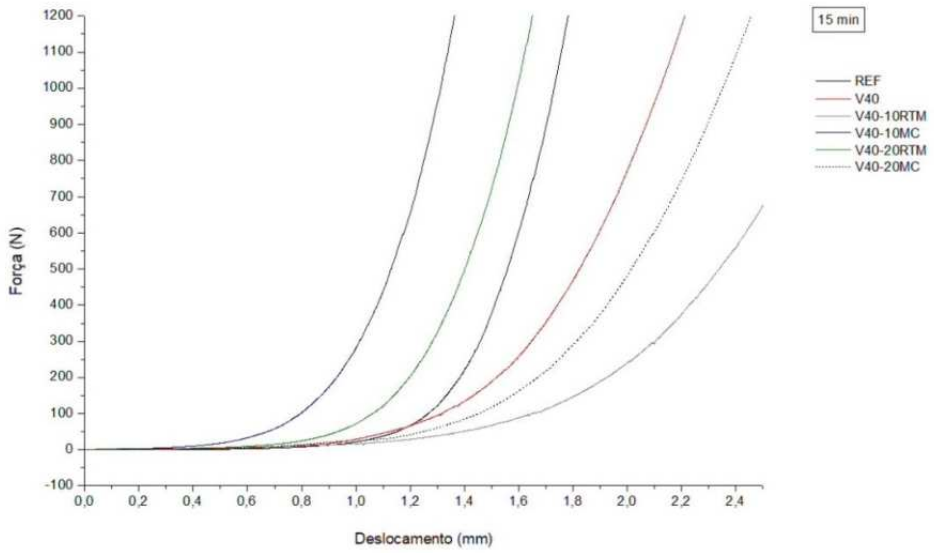
A análise reológica das argamassas foi avaliada tanto pelo método da mesa de consistência quanto pelo squeeze flow. O ensaio de squeeze-flow foi realizado, de acordo com a norma NBR 15839 (ABNT 2010)[17] em uma máquina universal de ensaios INSTRON utilizando células de carga de 10kN, com uma taxa de cisalhamento constante de 0,1 mm/s, após 15 minutos da mistura, repetindo o procedimento após 65 minutos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base no ensaio da mesa de consistência, a substituição do agregado pela vermiculita na proporção de 40% fez com que a mistura demandasse um aumento de água em torno de 23%. Ao analisar a interferência das adições minerais nas argamassas, é possível notar que, a adição de MC fez com que mistura necessitasse de uma menor quantidade de água para alcançar a consistência pré-definida em relação à adição RTM, o que confirma o esperado, visto que pela análise da granulometria (Figura 2) o RTM apresenta uma maior proporção de partículas finas.

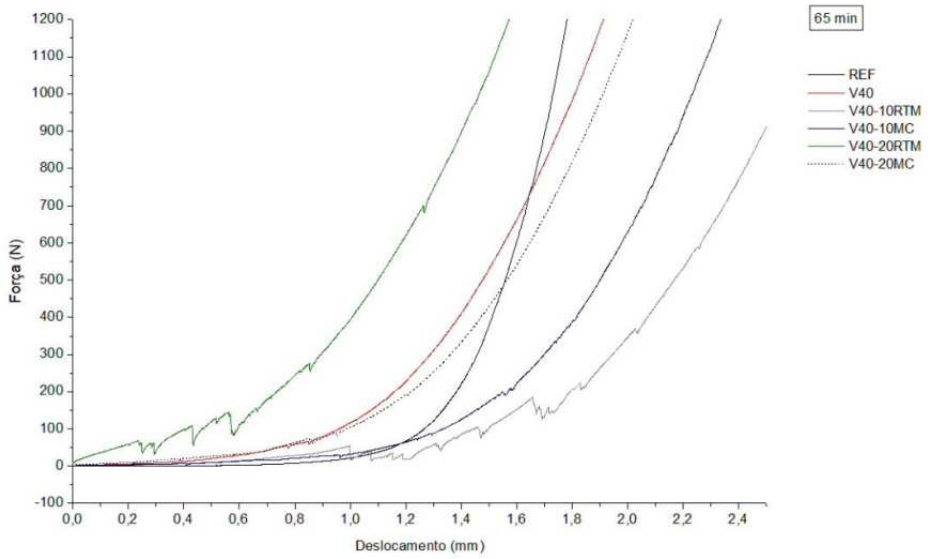
Como mencionado anteriormente, a mesa de consistência não possui sensibilidade para medir a reologia da argamassa, apesar da sua utilização ser tradicional, pois não possibilita a diferenciação entre a contribuição da tensão de escoamento e da viscosidade na resistência ao fluxo da argamassa. Com isso, a utilização do ensaio de Squeeze-flow vem crescendo por conseguir realizar essa diferenciação, preenchendo assim essa lacuna. Nas figuras 5 e 6, constam os resultados do ensaio de squeeze-flow das misturas estudadas.

Figura 5 – Resultado do Squeeze-Flow para as argamassas após 15 min da mistura



Fonte: autor

Figura 6 – Resultado do Squeeze-Flow para as argamassas após 65 min da mistura



Fonte: autor

Como o valor do índice de consistência foi pré-fixado para todas as argamassas, partimos da premissa que, de acordo com o ensaio de mesa de consistência, todas as misturas apresentam um comportamento similar quanto à trabalhabilidade. No entanto, ao analisar os resultados do Squeeze Flow é possível constatar que as argamassas apresentaram comportamentos distintos entre si.

Observando as curvas de cada mistura é possível perceber que para o grupo formado pelas argamassas REF, V40-10RTM, V40-10MC a carga necessária para a deformação do material é inferior no tempo de 65 minutos, isso se deve ao rompimento do material, pois há um aumento da viscosidade da pasta e uma redução da sua capacidade plástica. Nas curvas formadas pelo ensaio no tempo de 65 minutos é possível notar o comportamento da argamassa V40-20RTM diferente das demais, pois para que apresentasse um deslocamento de 0,2 mm foi necessária uma carga em torno de 50N, sob essa carga as outras argamassas apresentaram um deslocamento em torno de 1 mm. Com esse comportamento, a V40-20RTM apresenta um enrijecimento por deformação, mostrando ser inviável a sua utilização nesse tempo.

A curva V40-10RTM encontra-se abaixo da curva REF e deslocada pra direita, isso mostra que a quantidade de água demandada para a mistura através da mesa de

consistência foi superior à necessária, fazendo com que a argamassa permanecesse no estágio plástico. De acordo com Stolz (2011)[18], o resultado do squeeze flow pode apresentar indícios da aplicabilidade das argamassas estudadas, sendo assim, o estágio plástico é o desejável para que se tenha uma boa aplicabilidade, no entanto, é necessário um equilíbrio para que haja um enrijecimento adequado da argamassa e ela não venha a escorregar durante a aplicação.

4. CONCLUSÕES

Através da análise dos materiais é possível constatar a similaridade entre as características físicas MC e do RTM utilizando, apresentando uma massa específica em torno de 2,58 g/cm³. De acordo com o ensaio da mesa de consistência, as misturas com adição RTM necessitaram de uma quantidade maior de água para obter a consistência pré-fixada de 260 mm em relação às com MC.

Como era de se esperar, as misturas com vermiculita demandaram um teor de água superior à referência, visto que a relação a/ms na argamassa de referência foi 0,16 e para as argamassas com vermiculita essa relação subiu para, aproximadamente, 0,28. Com base no ensaio da mesa de consistência, todas as misturas deveriam apresentar um comportamento reológico similar, pois foi adicionado o teor de água necessário para que todas obtivessem o mesmo espalhamento. No entanto, esse comportamento não foi validado através do ensaio do Squeeze flow, essa diferença entre os resultados dos ensaios se deve ao fato de que a mesa de consistência não considera a natureza multifásica e reativa da argamassa, esbarrando em limitações conceituais e acaba por não representar o comportamento do material.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SHOUKRY, H., KOTKATA, M. F., ABO-EL-ENEIN, S.A., MORSY, M.S., SHEBL, S.S. (2016) **Enhanced physical, mechanical and microstructural properties of lightweight vermiculite cement composites modified with nano metakaolin**. Construction and Building Materials 2016:112: 276–283

2. SILVA, L. M., RIBEIRO, R. A., LABRINCHA, J. A., FERREIRA, V. M. (2010). **Role of lightweight fillers on the properties of a mixed-binder mortar**. Cement and Concrete Composites 32(1): 19-24.

3. PALOMAR, I., BARLUENGA, G., PUENTES, J., (2015) **Lime–cement mortars for coating with improved thermal and acoustic performance**. Construction and Building Materials 2015:75: 306-314

4. CARNEIRO, V. L.; MOURA, W. A.; LEITE, M. B. **Influência do uso de resíduo de cerâmica vermelha e finos de RCD como substituição parcial de cimento para produção de**

argamassas. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO, Feira de Santana, 2009. **Anais...** Feira de Santana: UEFS, 2009

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

6. CAVANI, G. R.; ANTUNES, R. P. N.; JOHN, V. **Influência do Teor de Ar Incorporado na Trabalhabilidade de Argamassas Mistas.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 2., Salvador, 1997. Anais... Salvador, 1997.

7. Koehler, E. P., and Fowler, D. W., 2003, **Summary of Concrete Workability Test Methods**, ICAR Report 105-1, International Center for Aggregates Research, the University of Texas at Austin, Austin, Tex., 83 pp

8. BANFILL, P. F. G. **The rheology of fresh mortar.** Magazine of Concrete Research, 43 (154), p 13-21, 1991

9. CARDOSO, F. A. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico.** Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. São Paulo (SP). 2009

10. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15839:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.

11. CARVALHO, C. M., (2016) **Caracterização de resíduos da indústria cerâmica e seu emprego em argamassas de cimento Portland** Dissertação (Mestrado), Universidade Federal da Paraíba – UFPB, João Pessoa, 2016

12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12653:** Materiais pozolânicos – Requisitos. Rio de Janeiro, 2014.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7175:** Cal hidratada para argamassas – Requisitos. Rio de Janeiro, 2003.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

16. ANTUNES, R. P. N. **Influência da reologia e da energia de impacto na resistência de aderência de revestimentos de argamassa**. Tese Doutorado, Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2005.

17. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15839:** Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.

18. STOLZ, C. M.; (2011). **Influência da interação entre os parâmetros reológicos de argamassas e a área potencial de contato de substratos na aderência de argamassas de revestimento** . Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2011.