

## ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE OBJETOS DE BARRO SOBRE A UMIDADE RELATIVA E TEMPERATURA APÓS INCIDÊNCIA DE AR POR VENTILAÇÃO FORÇADA

Gerbison Ferreira de Sousa, Werbeson da Silva Freitas

Rubens Damiglê Alves Marreira, Francisco Geraldo de Melo Pinheiro

*Universidade Estadual do Ceará - UECE.* [gerbison.ferreira@aluno.uece.br](mailto:gerbison.ferreira@aluno.uece.br), [werbeson.freitas@aluno.uece.br](mailto:werbeson.freitas@aluno.uece.br),  
[rubens.damigle@aluno.uece.br](mailto:rubens.damigle@aluno.uece.br), [francisco.pinheiro@uece.br](mailto:francisco.pinheiro@uece.br).

**Resumo:** Em ambientes fechados, onde a presença humana é constante e que não possui condicionadores de ar seja por razões econômicas ou técnicas, rapidamente se torna um ambiente termicamente desconfortável, mesmo considerando-se a utilização de ventiladores. Uma forma de reduzir este desconforto é permitir a renovação do ar. Ocorre que este novo ar pode ter ainda uma condição de temperatura ainda desconfortável. Em muitas cidades do interior do Brasil é muito comum a utilização de quartinhas de barro para armazenar água. Estas quartinhas devido ao processo de fabricação, possui características físicas que permitem a manutenção da temperatura da água armazenada em níveis agradáveis para consumo. O objetivo deste trabalho foi investigar a viabilidade de utilização de objetos de barro, associados a uma ventilação forçada para melhorar o conforto térmico de ambientes fechados. O princípio baseia-se no processo redução da temperatura do ar a partir da evaporação de moléculas de água da superfície de um reservatório de barro. Para tal foi realizado dois experimentos em ambiente controlado. No primeiro foi utilizado um copo de barro contendo água. No segundo foi utilizada uma panela também contendo água. Em ambos os experimentos se forçou um fluxo de ar ao redor das superfícies externas dos reservatórios. A temperatura e a umidade do ar antes e depois de passar pelos reservatórios foram registradas por um sistema de aquisição de dados. Os resultados iniciais indicaram uma faixa de redução de temperatura de -0,6 a -1,1 °C e um aumento da umidade relativa de +4,9% a +7% no caso do copo. No caso da panela apresentou faixa de -0,7 a -1,3 °C e de +6,6% a +8,7%. O tempo de realização do experimento foi de 2 horas em dois dias para cada reservatório.

**Palavras-chave:** Objetos de barro, Umidade Relativa, Temperatura, Ventilação Forçada.

## Introdução

Um fenômeno comum em ambientes que reúnem um determinado número de pessoas é o desconforto térmico devido a quantidade de geradores de calor no caso os próprios indivíduos. Para solucionar este problema, existem algumas alternativas como a utilização de equipamentos para a climatização de ambientes como os ventiladores, o ar condicionado entre outros. Ocorre que existem objetos que realizam o processo de resfriamento através da evaporação de moléculas de água pela interação do ar com a superfície externa do objeto como no caso do pote de barro, o filtro de barro.

Em locais como as escolas em especial as públicas o sistema de climatização ainda é o ventilador, sendo o ar condicionado instalados apenas nos laboratórios e biblioteca, em que o isolamento térmico é diferente das salas de aulas. No entanto, a estrutura base é a mesma: alvenaria com tijolos de barro.

O tijolo maciço cerâmico é fabricado com argila, conformado por extrusão e prensagem queimado à uma temperatura que permite ao produto final atender às condições determinadas (resistência e durabilidade). A variedade de cores encontradas nos tijolos decorre da quantidade de óxido de ferro. O barro deve ser limpo, sem muitos detritos orgânicos, que dão porosidade excessiva, e podem ser facilmente deteriorados pela ação de micro-organismos. (D.M.N. Freitas; R.M. Bittencourt, 2004).

Em ambientes com a presença de potes ou filtros de barro os parâmetros atmosféricos como umidade relativa e temperatura são diferentes por consequência das propriedades argilosas destes objetos.

A qualidade dos objetos de barro no que diz respeito a climatização está ligada aos materiais utilizados bem como aos diferentes processos de produção. Um dos aspectos importantes é a distribuição da água nos produtos antes da secagem. (VLACK, 1964).

Os objetos de estudo apresentam o fenômeno de transporte de moléculas de água do interior para a superfície externa. Este processo de movimentação do líquido com velocidade do volume de água  $dv/dt$  é expressa:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{AK(C_d - C_w)}{nL}$$

Onde  $K$  é o coeficiente de permeabilidade,  $A$  é constante de movimentação do líquido para a superfície onde ocorre a volatilização,  $n$  é a viscosidade,  $C_d$  e  $C_w$  são as densidades com concentrações do líquido, nas zonas de maior secagem e umidade, respectivamente. (VLACK, 1964).

Os materiais de argila são utilizados com um líquido que apresenta características que são alteradas com a variação de temperatura. Uma delas é a viscosidade para a principal substância utilizada no caso a água, este fator é influenciado na faixa entre 20°C a 100°C na escala absoluta é descrita aproximadamente pela equação abaixo:

$$\log n = -4,56 + \frac{750}{T}$$

Nas argilas que contém montmorilonita (mineral expansivo) pode acontecer uma retenção de água, e conseqüentemente, maior variação dimensional do tijolo. (D.M.N. Freitas; R.M. Bittencourt, 2004). A presença de minúsculos poros na parede do pote de barro permite que moléculas de água atravessem a cerâmica e evaporem. A evaporação é um processo endotérmico. A água que evapora pela superfície externa do pote retira calor da vizinhança, fazendo com que a temperatura da água no interior deste diminua. (A.V. Santos; M.M. Viana, 2016).

No pote de barro a região da sua superfície é ocupada por poros e é preenchida com ar. Neste caso, o estado de agregação é muito diferente do estado de um sólido não poroso (Gregg; Sing, 1997). O volume de poros em um material tem grande influência sobre a densidade.

Os poros e a densidade influenciam importantes propriedades mecânicas, ópticas e elétricas, entre outras. As propriedades dependem dos formatos, dos tamanhos e de onde se encontram os poros: se interna ou externamente (A.V. Santos; M.M. Viana, 2016).

Os argilo-minerais mais conhecidos são: argila, quartzo, caolinita, montmorillonita entre outros. Apresentam fórmula química e propriedades de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  e  $4\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , plasticidade, resistência ao calor, endurecimento, respectivamente a plasticidade destes materiais aumenta com a diminuição da espessura da argila até ser destruída pelo calor por desidratação (Abreu, 1960).

As argilas são aplicadas na produção de: cimento, sondagens de petróleo, refinação de óleos, indústria do papel, borracha, inseticidas, tendo a caolinita emprego no tratamento de pele, cosméticos, sabões, abrasivos finos e produtos farmacêuticos. O quartzo é utilizado na produção de cerâmicas, pasta de porcelana, refratários, metalúrgica, abrasivos naturais e artificiais e vidros. Os produtos refratários são resistentes a altas temperaturas e apresentam pequeno coeficiente de dilatação térmica (Abreu, 1960).

O aumento da umidade relativa deve-se à carga superficial (ou capacidade de troca de cargas positivas) de minerais de argila que é expressa em termos de taxas negativas imobilizadas distribuídas uniformemente. O entupimento da interface depende da relação entre difusão das espécies individuais e precipitação de fase cinética (A. Jenni, 2017).

Ambas as argilas apresentam microestrutura, onde a durabilidade dos elementos de tijolo de argila utilizados na construção, particularmente em aplicações ao ar livre, é muito importante, pois a perda das propriedades do sistema como, resistência à água, proteção solar direta entre outras, causam rachaduras e desprendimento dos elementos (Marco D’Orazio, 2013).

A formação de poros durante as transformações mineralógicas não eliminar a anisotropia. O comportamento anisotrópico associado às folhas de porosidade não é eliminado durante a sinterização. Os poros gerados durante as transformações mineralógicas são então os poros mais pequenos da cerâmica à base de argila (Nigay P.M., 2016).

A viscosidade da água e a densidade afetam a condutividade hidráulica da amostra de argila, mas também afetam o comportamento da mudança de volume térmico (W.Z. Chen, 2017). O diâmetro médio dos poros aumenta com a temperatura de sinterização acompanhado de densificação e formação de fase vítrea que diminui a porosidade, em que a permeabilidade depende da pressão aplicada (Mahassen Ben Ali, 2016).

O presente estudo avalia o impacto na atmosfera de um recinto devido à presença de um copo e ou uma panela de barro sob a incidência de ar por ventilação forçada comparando os resultados obtidos. Para tal, foi construído um sistema de aquisição de dados utilizando a plataforma de desenvolvimento FRDM-K64F com os sensores de temperatura e umidade relativa RHT22 – AMS2302.

## Materiais

Os materiais utilizados neste experimento são: copo de barro, panela de barro, caixa de sorvete de 2 litros, cooler chipsce ref:075-8080, dissipador utilizado como direcionador de ar, plataforma de desenvolvimento FRDM-K64F e dois sensores de umidade e temperatura RHT22 – AMS2302. Os materiais são apresentados nas Tabela 1 e 2 e nas Figuras 1, 2 e 3.

Tabela 1: Materiais do experimento.

Materiais	Tipo	Figura 1
Copo de barro	Argila	A
Panela de barro	Argila	B
Cooler	Elétrico	C
Direcionador de Ar	Alumínio	D
Caixa de sorvete	Plástico	E



Figura 1: A- Copo de barro. B- Panela de barro. C- Cooler. D- Direcionador de ar. E- Caixa de sorvete.

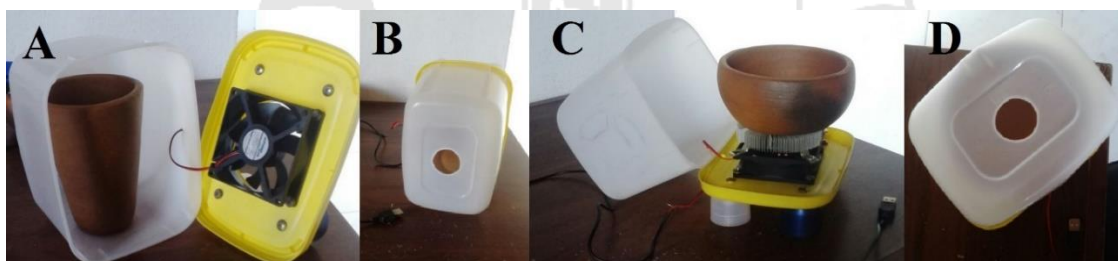


Figura 2: A- Copo de barro com caixa e cooler. B- Caixa fechada para experimento com o copo. C- Panela de barro sob o Direcionador de ar montado no Cooler. D- Caixa fechada para experimento com a panela.

Tabela 2: Materiais de aquisição de dados.

Sensores	Modelo	Figura 3
Umidade relativa e Temperatura	RHT22 – AMS2302	A
GPS	MR-1000 W	B
Plataforma de Desenvolvimento	FRDM-K64F	C

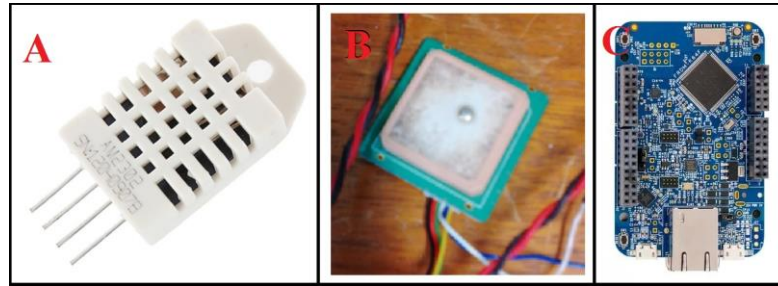


Figura 3- Materiais, A- sensor de umidade e temperatura. B- GPS. C- Plataforma de Desenvolvimento.

Especificações do cooler: 80x80x25, 12 VDC, velocidade 3000 RPM, SLEEVE. Os reservatórios de argila possuem capacidade de armazenamento de aproximadamente 320 ml de água, foram utilizados 310 ml em cada dia do experimento, com um total de 1240 ml de água.

Uma característica importante neste estudo é geometria da superfície do copo de barro com ênfase na parte externa onde ocorre as interações ar poros, com dimensões de: 13,2 cm de altura, raio menor 2,8 cm, raio maior 4,8 cm e 0,8 de espessura da parede. Calculando a área de superfície externa ou lateral ( $A_{se}$ ) onde  $r = 2,8$ ,  $R = 4,8$ :

$$A_{se} = \int_0^{R+r} \pi 14,02 dr$$

Volume interno do tronco de cone ( $V_{int}$ ) tendo a relação  $r = hR/H$  em um elemento de área  $\pi r^2 dh$ :

$$V_{int} = \int_3^{13} \pi \frac{4,8^2}{13^2} h^2 dh$$

A superfície da panela de interação com o ar é:

$$A_s = \int_{4,6}^{6,5} dr \int_{-29,44}^{29,44} d\theta \int_0^{2\pi} r d\varphi$$

O volume da panela de barro ( $V_p$ ) é dado pela expressão:

$$V_p = \int_{2,8}^{4,8} \pi(4,8^2 - h^2) dh$$

Tabela 3 – Informações Geométricas da Panela de Barro

Informações	Ângulo graus	Ângulo radianos
Ângulo interno	29,44	0,5138
Ângulo externo	35,35	0,6169
	Centímetros	Milímetros
Diâmetro	13	130
Raio interno	5,5	55
Raio externo	6,5	65
Raio menor	4,6	46
Altura	5,8	58

### Resultados e discursões

O levantamento de dados ocorreu no período de 17/08/2017 a 22/08/2017. Cada objeto de barro foi utilizado durante 2 horas em dois dias. Os parâmetros atmosféricos observados foram a temperatura e umidade relativa do ar antes e depois do processo. A eficiência em relação a climatização do ar ambiente devido a evaporação de moléculas de água através da porosidade dos diferentes formatos das argilas é representada nas figuras 4, 5, 6 e 7.

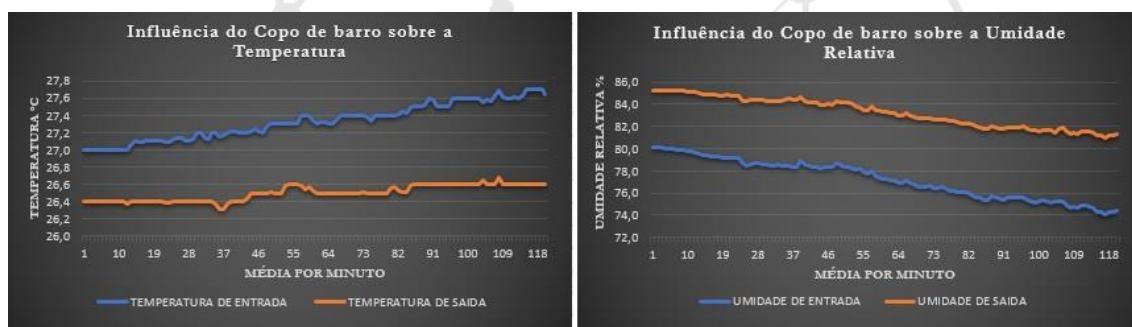


Figura 4 - 17/08/2017. Registros de Temperatura e Umidade Relativa.

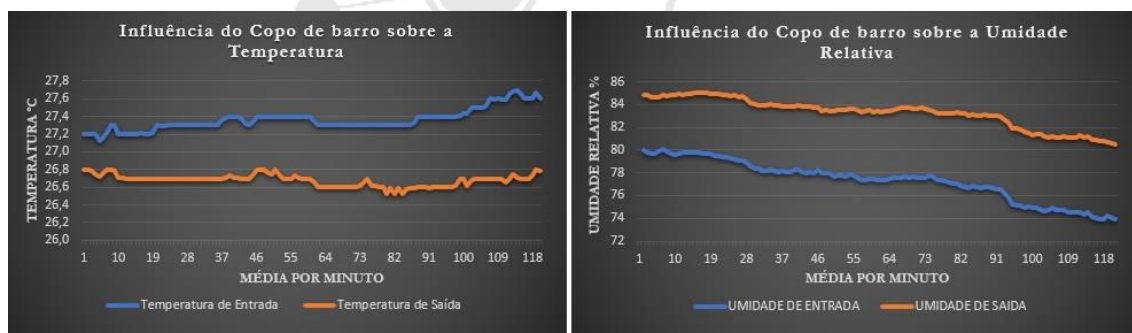
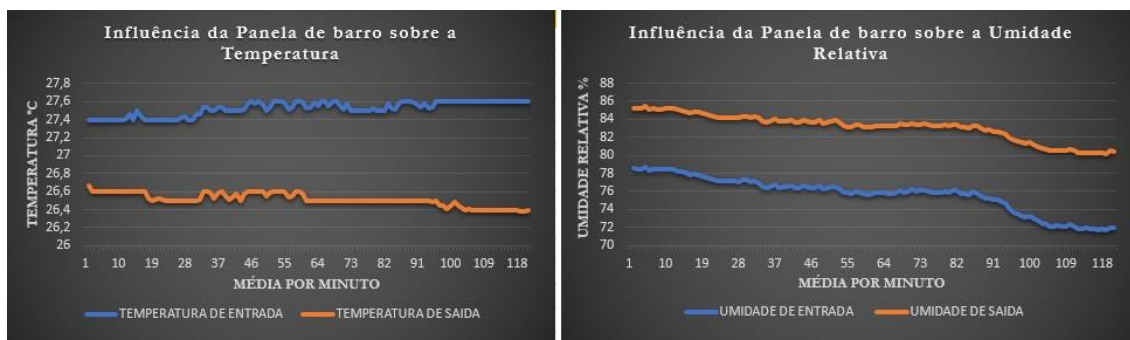
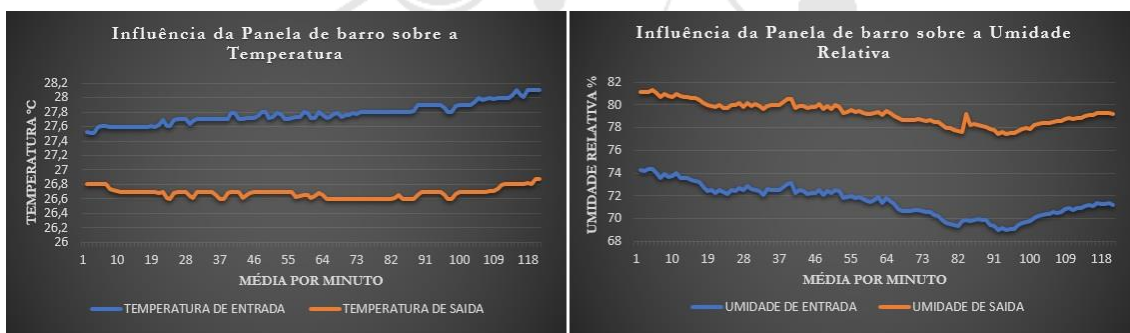


Figura 5 - 18/08/2017. Registros de Temperatura e Umidade Relativa.



*Figura 6 - 19/08/2017. Registros de Temperatura e Umidade Relativa.*



*Figura 7 - 22/08/2017. Registros de Temperatura e Umidade Relativa.*

Observa-se que em todos os gráficos uma tendência da temperatura de saída em permanecer aproximadamente constante após o processo de interação com a superfície de argila, durante o passar do tempo a redução para manter este efeito é crescente, ou seja, a variação aumenta conforme a temperatura vai se elevando.

A umidade relativa presente na atmosfera da sala diminui ao longo do período do experimento, este efeito relaciona-se diretamente com a temperatura do ar, ambos os objetos de argila apresentam influência transformando o ar mais úmido conforme ilustrado nas figuras 4 a 7, com faixa de crescimento de 4% a 8,7% de aumento na umidade.

Na tabela 3 é apresentado as faixas de impacto nos parâmetros atmosféricos devido a presença do copo e da panela de argila. Assim como as medias obtidas em cada dia de experimento.



Data	Objeto	Intervalo de Diminuição da Temperatura de °c	Intervalo de Aumento da Umidade relativa %	Média de Redução da Temperatura °C	Média de Aumento da Umidade Relativa %
17/08/2017	Copo de Barro	-0,6 < média < -1,1	+5,1 < média < +6,9	- 0,8	+ 6,0
18/08/2017	Copo de Barro	-0,4 < média < -1	+4,9 < média < +6,8	- 0,7	+ 5,9
19/08/2017	Panela de Barro	-0,7 < média < -1,2	+6,6 < média < +8,7	- 1,0	+ 7,5
22/08/2017	Panela de Barro	-0,7 < média < -1,3	+6,9 < média < +8,9	-1,1	+8,4

Durante o experimento houve a presença de apenas uma pessoa na sala de 14m<sup>2</sup> de área. Durante o tempo decorrido no experimento realizado não houve chuva. A utilização do método de ventilação forçada retrata a realidade dos objetos de uso comum entre os cidadãos que possuem pequenas criações de animais principalmente de aves. Onde os materiais são empregados com o objetivo de disponibilizar água em estado termodinâmico mais propício ao consumo.

A tabela 3 mostra o intervalo de variação do fator de impacto sob os parâmetros atmosféricos estudados, possibilitando assim uma comparação entre os objetos de maneira a identificar qual é mais eficiente em diminuir a temperatura e aumentar a umidade relativa, alterações nestes parâmetros são de alta importância para a saúde das pessoas que permanecem trabalhando ou estudando no ambiente.

### Conclusão

Diante dos resultados apresentados na tabela 3, e representados nas figuras 4 a 7 o objeto de formato Panela mostrou-se mais eficaz no processo de climatização. Ambos os formatos geométricos impactam na atmosfera do ambiente, atingindo níveis próximos e acima de 80% de umidade relativa, estado comum de dias chuvosos, em que ocorre saturação do ar.

Identificou-se a capacidade de resfriamento do ar no caso do copo nas faixas aproximadas de -0,4 a -1,1 °C e +4,9% a +6,9% e no caso da panela de -0,7 a -1,2 °C e de +6,6% a +8,7% na umidade. Portanto, a utilização dos objetos de barro contribui com o aumento da eficiência de climatização dos ventiladores. No entanto, faz-se necessário outros estudos sobre a dispersão do ar umedecido após o processo de evaporação das moléculas de água pela superfície de argila.

## Referências

1. D.M.N. Freitas; R.M. Bittencourt. INFLUÊNCIAS DA QUALIDADE DO PRODUTO NA CONSTRUÇÃO: ESTUDO DOS TIJOLOS MACIÇOS. Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá - UNESP 2004. <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbc/2004/artigos/48cbc-5-53.pdf>.
2. Amanda V. Santos, Marcelo M. Viana, Fernando H. A. Medeiros e Nelcy D. O Incrível Mundo dos Materiais Porosos – Características, Propriedades e Aplicações. S. Mohallem. Quím. nova esc. – São Paulo-SP, BR. Vol. 38, Nº 1, p. 4-11, <http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20160002>, FEVEREIRO 2016
3. GREGG, S.J.; SING, K.S.W. Adsorption, surface area and porosity. 4. ed. Londres: Academic Press, 1997.
4. LOWELL, S.; SHIELDS, J.E. Powder surface area and porosity. 3. ed. Londres: Chapman and Hall, 1998. <https://ecivilufes.files.wordpress.com/2011/04/nbr-7170-tijolo-macic3a7o-cerc3a2mico-para-alvenaria.pdf>
5. LAWRENCE H. VAN VLACK. Physical Ceramics for engineers. Addison- Wesley Publishing Company, Inc. Propriedades dos Materiais cerâmicos. Capítulos 5, 6, 13 e 14. Tradução de Eng.º CID Silveira, Eng.º Shiroyuki Oniki, instituto de pesquisas tecnológicas-São Paulo. Editora Edigard blucher ltda. 1964. 342 paginas.
6. W.Z. Chen, Y.S. Ma, H.D. Yu, F.F. Li, X.L. Li, X. Sillen. Effects of temperature and thermally-induced microstructure change on hydraulic conductivity of Boom Clay. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering 9 (2017) 383e395. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.03.006> 1674-7755 2017 Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences. Production and hosting by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
7. Mahassen Ben Ali, Noureddine Hamdi, Miguel A. Rodriguez, Ezzedine Srasra. Macroporous ceramic supports from natural clays. Improvement by the use of active ted clays. Ceramics International 43 (2017) 1242–1248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.10.071>. Received 10 August 2016; Received in revised form 7 October 2016; Accepted 11 October 2016 Ceramics International 43 (2017) 1242–1248 0272-8842/ © 2016 Elsevier Ltd and Techna Group S.r.l. All rights reserved.
8. Sylvio Fróes Abreu. Recursos Minerais do Brasil. Capitulo 7. Editora Edgard blucher ltda. 1960. Vol 1. 471 páginas.
9. A. Jenni a, T. Gimmi a,b, P. Alt-Epping a, U. Meader a, V. Cloet c. Interaction of ordinary Portland cement and Opalinus Clay: Dual porosity modelling compared to experimental data. Physics and Chemistry of the Earth 99 (2017) 22e37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2017.01.004>. 1474-7065/© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.
10. Marco D’Orazio, Stefano Lenci, Lorenzo Graziani. Relationship between fracture toughness and porosity of clay brick panels used in ventilated façades: Initial investigation. Engineering Fracture Mechanics 116 (2014) 108–121. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfracmech.2013.12.003>. 0013-7944/\$ - see front matter \_ 2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.
11. Nigay P.M., Cutarda.T, Nzihoub A. The impact of heat treatment on the microstructure of a clay ceramic and its thermal and mechanical properties. Ceramics International 43 (2017) 1747–1754. Received 3 June 2016; Received in revised form 12 October 2016; <http://dx.doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.10.084> Accepted 13 October 2016.