

Influência de aditivos na produção de blocos cerâmicos

(Influence of additives on the production of ceramic bricks)

R. S. Macedo, R. R. Menezes, G. A. Neves, H. C. Ferreira

Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Campina Grande, Av. Aprígio Veloso 882, Bodocongó, Campina Grande, PB 58109-970
reginaldo@dema.ufcg.edu.br, heber@dema.ufcg.edu.br

Resumo

A indústria oleira nacional possui uma grande importância econômica e social, movimentando bilhões de reais e empregando milhões de pessoas. No entanto, apresenta uma grande defasagem tecnológica, o que se reflete na produção de peças de baixa qualidade e em uma grande quantidade de perdas na produção. Assim, visando melhorar a qualidade dos blocos cerâmicos esse trabalho tem por objetivo analisar a influência de aditivos no comportamento de plasticidade de massas para produção de blocos cerâmicos e nas propriedades físicas dos corpos produzidos com as massas aditivadas. Foram utilizados cinco massas industriais e dez aditivos durante o estudo. Foi analisada a influência dos aditivos nos limites de Atterberg das massas e selecionados os aditivos que reduziam os limites de plasticidade. Foram preparadas formulações com os aditivos selecionados e conformados corpos de prova por extrusão. Determinou-se o módulo de ruptura à flexão após secagem e queima e a absorção de água após queima desses corpos de prova. Com base nos resultados pode-se concluir que alguns aditivos reduzem o limite de plasticidade das massas e melhoram significativamente o comportamento mecânico após secagem e após queima.

Palavras-chave: blocos cerâmicos, plasticidade, aditivos, extrusão.

Abstract

The Brazilian ceramic brick industry has an important economic and social role, with a billionaire market and generating millions of jobs. However, this industry presents an outdated technology, which causes the production of low quality bodies and high production losses. Objecting improve the quality of ceramic brick this work evaluated the influence of additives on the plasticity of formulations used for the production of ceramic bricks and on the physical properties of samples produced with additive formulations. Five formulations and ten additives were studied. The influence of additives on the Atterberg limits was analyzed. Additives that reduced the plasticity limit were selected, formulations were produced and test specimens were obtained by extrusion. The flexural strength of the dried and fired bars was measured. The water absorption of the fired bars was also determined. The results indicated that some additives could be used to reduce the formulations plasticity limit and improve the flexural strength.

Keywords: ceramic bricks, plasticity, additives, extrusion.

INTRODUÇÃO

A indústria cerâmica de materiais de construção brasileira é constituída atualmente por aproximadamente 12 mil olarias, de pequeno e médio porte, que são responsáveis por 650 mil empregos diretos, 2 milhões de empregos indiretos e um faturamento anual em torno de R\$ 6 bilhões [1, 2]. A grande maioria desse setor industrial utiliza técnicas de produção ultrapassadas, com um atraso tecnológico de aproximadamente 50 anos, não havendo controle eficaz das variáveis de processo. O que provoca a produção de peças de baixa qualidade e imensas perdas em todas as fases de produção, ocasionando aumentos nos custos e não

atendimento as novas exigências normativas da área.

A indústria oleira nacional utiliza processos de moldagem manual, por prensagem e por extrusão, conforme a natureza da argila, do produto cerâmico e do forno utilizado, bem como das condições locais [3]. No entanto, observa-se a predominância da extrusão na grande maioria das indústrias do país. As argilas ideais para a fabricação dos produtos de cerâmica vermelha devem, de modo geral, ser de fácil desagregação, apresentar distribuição granulométrica conveniente, adequada combinação entre materiais plásticos e não plásticos e possuir teor de matéria orgânica que possa conferir, juntamente com a granulometria, boa plasticidade e resistência mecânica suficiente para evitar deformações e

permitir o manuseio das peças cruas [4], utilizando-se a menor quantidade possível de água no processo de conformação. A redução no teor de água utilizado no processo de extrusão, sem prejuízo da plasticidade e trabalhabilidade das massas cerâmicas e das propriedades cerâmicas das peças úmidas, secas e após queima, acarretará uma redução diretamente proporcional nos gastos energéticos com a secagem [5]. A redução no teor de água também implicará diretamente na diminuição dos problemas de trincas e empenamentos que ocorrem na etapa de secagem e que são, atualmente, a maior fonte de perdas nas olarias do Estado da Paraíba.

A plasticidade de um sistema pode ser definida com a propriedade de se deformar pela aplicação de uma força e manter essa deformação após a retirada dessa força. No sistema argila-água a plasticidade é função da granulometria das partículas, da força de atração entre as partículas de argilominerais, da presença de matéria orgânica e da ação lubrificante da água. As características de plasticidade de uma argila podem ser estimadas através dos limites de Atterberg, destacando-se os limites de plasticidade, liquidez e índice de plasticidade. De forma geral a plasticidade se desenvolve quando a argila apresenta água suficiente para cobrir toda a superfície acessível dos argilominerais com uma água não orientada, que age como meio lubrificante facilitando o deslizamento das placas dos argilominerais umas sobre as outras quando uma tensão tangencial é aplicada. Essa água expressa percentualmente em relação à massa da argila seca, é o limite de plasticidade de Atterberg. O limite de liquidez é o teor de água expresso em porcentagem de argila seca, acima do qual a massa flui como um líquido, enquanto o índice de plasticidade é a diferença entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade [3, 5].

Com a evolução na tecnologia de fabricação, vários aditivos passaram a ser utilizados nas formulações cerâmicas a fim de auxiliar desde o processo de moagem até etapas posteriores à queima, podendo agir como defloculantes, floculantes, lubrificantes, etc. [6]. Vários aditivos podem ser utilizados para alterar as características de plasticidade das massas, produzindo um comportamento de fluxo e propriedades adequadas para a conformação. O emprego desses aditivos facilita o uso da massa e pode melhorar o desempenho mecânico do produto final [7]. Em geral, os “aditivos” (adições) utilizados em cerâmica vermelha para alterar a plasticidade das massas são chamados de “emagrecedores” ou de “plastificantes”, conforme reduzam ou aumentem a plasticidade do sistema, respectivamente. Dentre os emagrecedores é comum o uso de areias, rochas carbonadas, resíduos da própria produção (após moagem) e até resíduos industriais como as cinzas volantes e do beneficiamento mineral [7-10]. Como “aditivos” plásticos é comum a adição de argilas com alta plasticidade à massa cerâmica, sendo muito pouco difundido e utilizado aditivos químicos na indústria de cerâmica vermelha. Essas adições são utilizadas em teores que variam de 5 até 30%, mas podendo atingir até 50% da massa, o que faz com que esses materiais não se comportem como aditivos propriamente ditos e sim, como componentes da massa formulada. Nesse

sentido, trabalhos [7] indicam a utilização de lignosulfurados como aditivos para melhorar a capacidade de extrusão e aumentar a resistência a seco de peças de cerâmica vermelha, sendo utilizados em pequenas quantidades, inferiores a 3%. Entretanto indicam também que esses aditivos não trazem benefícios para a resistência do produto após a queima. Estudos [11-14] evidenciaram que vários aditivos, tais como carbonato de sódio, cloreto de cálcio, carbonato e hidróxido de cálcio, fosfato de cálcio, ácido clorídrico, hexametáfosfato de sódio, etc. podem ser utilizados no processamento de cerâmicas vermelhas, influenciando significativamente o limite e o índice de plasticidade das massas, o que terá implicações diretas no comportamento de processamento e de secagem do material. Ademais, esses estudos observaram que a utilização dos aditivos poderia diminuir o consumo de energia elétrica na extrusora entre 10 e 20%, diminuir defeitos de extrusão, podendo reduzir custos e defeitos associados ao processamento, bem como, que o efeito de cada aditivo varia qualitativa e quantitativamente conforme a argila, o que impenderia a extrapolação dos resultados para outras argilas. Por outro lado, apenas alguns desses estudos [11, 14] analisaram a influência dos aditivos não apenas com relação ao comportamento de plasticidade das massas, mas também nas propriedades físicas das peças após conformação. Esses estudos, utilizando apenas o carbonato e o silicato de sódio, verificaram que os aditivos possibilitavam um ganho de propriedades mecânicas tanto a verde como após queima, melhorando significativamente a resistência mecânica do material. Nesse sentido, deve-se reforçar, tal como mencionado anteriormente, que a influência de qualquer que seja o aditivo utilizado vai está estreitamente relacionada às características mineralógicas da argila aditivada. Conforme os tipos e teores de argilominerais presente no material (ilita, esmectita, caulinita, etc.) em análise ter-se-á comportamentos distintos da massa cerâmica frente ao aditivo utilizado.

Assim, esse trabalho tem por objetivo analisar a influência de aditivos no comportamento de plasticidade de massas para produção de blocos cerâmicos do Estado da Paraíba e nas propriedades físicas dos corpos produzidos, visando melhorar o seu comportamento mecânico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa pesquisa foram utilizadas massas industriais fornecidas por cinco indústrias de cerâmica vermelha do Estado da Paraíba. As massas foram identificadas por amostra A, B, C, D e E. As massas foram caracterizadas em trabalho anterior [15]. Foram utilizados dez aditivos durante a pesquisa, visando analisar a influência no comportamento da plasticidade da massa e, em seguida, na resistência após secagem dos corpos de prova e nas propriedades físicas dos corpos após queima. Buscou-se utilizar aditivos com funções distintas na massa, floculantes, defloculantes, ligantes, etc., sendo escolhidos com base em estudos preliminares e dados da literatura [11, 14, 16]. Os aditivos utilizados e suas denominações foram amido solúvel A1 (Vetec, PA),

bentonita cálcica A2 (Bentonit União Nordeste), bentonita sódica A3 (Bentonit União Nordeste), carbonato de sódio A4 (Vetec, PA), carboximetilcelulose A5 (Synth), cloreto de magnésio hexahidratado A6 (Nuclear, PA), detergente em pó comercial A7 (agente tensoativo alquil benzeno sulfonato de sódio), dextrina branca A8 (Vetec, PA), hexametáfosfato de sódio A9 (Vetec, PA), silicato de sódio A10 (Vetec, PA). Todos os aditivos foram utilizados na forma de pó.

As amostras foram secas em estufa a 110 °C e em seguida submetidas a um processo de moagem em moinho tipo galga, até passar totalmente em ABNT N° 80 (0,177 mm). Após moagem, foram determinados os limites de Atterberg das amostras: limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e índice de plasticidade (IP), segundo a NBR 6459 [17] e NBR 7180 [18]. As amostras foram, em seguida, tratadas com os dez aditivos utilizados nos teores de 0,5, 1,0 e 1,5% em massa, utilizando-se masseira mecânica com capacidade de 30 L, rotação 90 rpm para homogeneização. Após aditivação, foram determinados os limites de Atterberg das massas. Após a escolha dos aditivos e teores mais adequados para a redução do limite de plasticidades das massas estudadas, foram preparadas massas aditivadas utilizando-se gotejamento de solução de água e aditivo, em masseira com capacidade de 30 L, rotação 90 rpm, de modo a obter umidade igual ao limite de plasticidade das massas aditivadas. As amostras umedecidas foram acondicionadas em saco plástico por cinco dias antes do processo de extrusão para homogeneização da umidade.

Corpos de prova de 100 mm x 20 mm x 10 mm foram confeccionados por processo de extrusão em extrusora de laboratório (Verdes BR051) e, em seguida, submetidos a secagem ao ar por 24 h e posteriormente em estufa a 110 °C por 24 h. Os corpos de prova foram queimados a 800, 900 e 1000 °C por 2 h com taxa de aquecimento 2 °C/min (totalizando um ciclo de aproximadamente 10 h de queima).

Foram determinados os módulos de ruptura à flexão dos corpos de prova secos a 110 °C e após queima (800, 900 e 1000 °C) com velocidade de aplicação de carga de 0,5 mm/min – utilizando-se 10 corpos de prova para obtenção de cada média, a absorção de água dos corpos de prova queimados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela I são apresentados os limites de Atterberg das amostras estudadas, antes da aditivação. Verifica-se que os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) variaram de 34,8 a 40%, e de 17,8 a 20,5%, respectivamente, enquanto o índice de plasticidade situou-se entre 17,0 e 21,0%. Com base em dados da literatura [3, 5, 19, 20] verifica-se que os valores obtidos estão dentro dos intervalos observados para o processo de conformação por extrusão em cerâmica vermelha, 30 a 60 % para o LL, 15 a 30% para o LP e 10 a 30 % para o IP.

As Tabelas II-VI apresentam os limites de Atterberg das massas aditivadas. Com base nas tabelas observa-se que todos os aditivos alteraram de alguma maneira os limites de Atterberg das massas estudadas, seja aumentando-os ou diminuindo-os. No entanto, o aditivo A5, CMC, foi

Tabela I - Limites de Atterberg das massas estudadas.
[Table I - Atterberg limits of studied samples.]

Amostras	Limite de Liquidez (%)	Limite de Plasticidade (%)	Índice de Plasticidade (%)
A	38,5	20,5	18,0
B	40,0	19,0	21,0
C	37,5	19,8	17,7
D	38,9	18,8	20,1
E	34,8	17,8	17,0

o que provocou as alterações mais intensas nos limites de plasticidade e liquidez, aumentando-os de forma acentuada em todas as amostras. Esse comportamento está provavelmente associado à elevada capacidade de adsorção de água do CMC, o que indisponibilizaria a água para a lubrificação (desenvolvimento de plasticidade) no sistema. Dados da literatura [21] indicam que o CMC não possui características reológicas adequadas ao processo de extrusão de massas plásticas de cerâmica vermelha.

A Tabela VII apresenta um resumo do efeito dos aditivos no LP das massas, onde “A” indica que houve um aumento, “D” uma diminuição e “I” que a alteração no LP foi insignificante. Com base na Tabela VII verifica-se que a influência dos aditivos nos LP varia significativamente de acordo com a massa. Apesar da variação do efeito dos aditivos com a massa, observa-se, de forma geral: que os aditivos A1 e A8 (adicionados visando aumentar a resistência do corpo seco – ligantes) alteraram de forma distinta os LP das massas estudadas; que o aditivo A7 (adicionado visando agir como surfactante) aumentou ou diminuiu muito suavemente os LP das massas; que o aditivo A6 (adicionado visando agir como floculante), em geral, diminuiu o valor do LP das amostras; que os aditivos A4 e A10 (adicionados visando agir como defloculantes) influenciaram de forma semelhante os LP, aumentando-os ou diminuindo-os em determinadas massas, e que o aditivo A9 (também adicionado visando agir como defloculante), apesar do seu efeito no LP diferenciar-se um pouco dos efeitos do A4 e A10, também agiu diminuindo, em sua maioria, os LP das massas estudadas.

As tendências observadas na interação físico-química de cada aditivo estudado com as massas são de justificativa teórica extremamente difícil, em virtude da complexa mineralogia e propriedades físico-químicas das argilas vermelhas estudadas. Logo, torna-se difícil fazer uma análise específica do comportamento de cada aditivo e estabelecer um estudo fenomenológico das relações causa/efeito, que poderia justificar adequadamente o mecanismo de ação de cada aditivo considerado, sem um estudo reológico apurado, tal como já evidenciado em estudos anteriores [12].

A Tabela VIII apresenta um resumo dos aditivos e teores que foram mais eficientes para reduzir o LP das massas estudadas. Observando-se que os aditivos mais eficientes na redução dos LP foram o A1, o A6, o A9 e o A10, com os teores ótimos variando de acordo com a massa.

Tabela II - Limites de Atterberg da amostra A aditivada.

[Table II - Atterberg limits of sample A.]

Aditivo	Porcentagem de aditivo (% massa) ^a								
	0,5%			1,0%			1,5%		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
A1 – Amido solúvel	34,2	18,7	15,5	35,5	21,6	13,9	36,6	25,2	11,4
A2 – Bentonita cálcica	38,0	20,5	17,5	36,5	20,9	15,6	35,0	21,3	13,7
A3 – Bentonita sódica	32,0	23,7	8,3	36,0	22,6	13,4	35,8	19,0	16,8
A4 – Carbonato de sódio	34,4	20,7	13,7	34,5	20,2	14,3	33,8	19,1	14,7
A5 – Carboximetilcelulose	51,0	37,7	13,3	79,5	ND ^b	ND ^b	79,5	ND ^b	ND ^b
A6 – Cloreto de magnésio	34,5	17,6	16,9	36,1	18,2	17,9	32,1	19,2	12,9
A7 – Detergente em Pó – ALA	33,5	21,2	12,2	34,0	23,0	11,0	33,5	22,6	10,9
A8 – Dextrina branca	36,2	21,2	14,9	36,7	20,8	15,8	35,7	20,4	15,2
A9 – Hexametáfosfato de sódio	33,2	19,9	13,2	30,7	23,8	6,8	35,7	24,2	11,4
A10 – Silicato de sódio	35,2	17,6	17,5	35,3	18,3	19,9	33,5	19,9	13,6

^aLL: Limite de Liquidez, LP: Limite de Plasticidade, IP: Índice de Plasticidade, ^bND: Não determinado.

Tabela III - Limites de Atterberg da amostra B aditivada.

[Table III - Atterberg limits of sample B.]

Aditivo	Porcentagem de Aditivo (% massa) ^a								
	0,5%			1,0%			1,5%		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
A1 – Amido Solúvel	36,8	19,4	17,4	36,8	16,5	20,4	37,9	19,7	18,2
A2 – Bentonita Cálcica	38,1	18,5	19,4	35,5	17,6	17,8	36,6	17,8	18,7
A3 – Bentonita Sódica	35,0	18,7	16,3	41,2	19,2	21,9	37,9	17,8	20,1
A4 – Carbonato de Sódio	36,3	17,8	18,4	33,4	17,6	15,8	41,0	17,2	23,8
A5 – Carboximetilcelulose	71,2	28,8	42,4	101,2	ND ^b	ND ^b	120	ND ^b	ND ^b
A6 – Cloreto de Magnésio	32,7	14,9	17,7	31,2	14,9	16,2	32,2	15,3	16,9
A7 – Detergente em Pó – ALA	35,8	17,4	18,4	42,7	16,7	26,0	33,7	17,4	16,2
A8 – Dextrina Branca	35,3	18,4	16,8	40,2	18,9	21,2	37,2	17,4	19,7
A9 – Hexametáfosfato de Sódio	32,0	16,6	15,4	30,8	16,4	14,4	31,0	17,4	13,7
A10 – Silicato de Sódio	36,1	17,6	18,4	33,6	17,8	15,8	35,4	17,5	17,8

^aLL: Limite de Liquidez, LP: Limite de Plasticidade, IP: Índice de Plasticidade, ^bND: Não determinado.

Tabela IV - Limites de Atterberg da amostra C aditivada.

[Table IV - Atterberg limits of sample C.]

Aditivo	Porcentagem de Aditivo (% massa) ^a								
	0,5%			1,0%			1,5%		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
A1 – Amido Solúvel	34,8	17,8	17,0	34,4	16,7	17,7	35,2	17,1	18,1
A2 – Bentonita Cálcica	34,0	19,8	14,2	34,4	19,0	15,4	37,2	18,4	18,8
A3 – Bentonita Sódica	33,5	18,8	14,7	35,0	18,5	16,5	39,5	20,2	19,3
A4 – Carbonato de Sódio	34,0	17,9	16,1	39,4	19,9	19,5	40,6	20,4	20,2
A5 – Carboximetilcelulose	42,5	22,9	19,6	61,0	31,9	29,1	78,5	32,5	46,0
A6 – Cloreto de Magnésio	36,4	19,9	16,5	35,0	17,6	17,4	34,5	21,9	12,6
A7 – Detergente em Pó – ALA	34,0	19,8	14,2	33,8	18,5	15,3	34,4	20,1	14,3
A8 – Dextrina Branca	36,8	28,2	8,6	36,0	22,4	13,6	37,0	19,7	17,3
A9 – Hexametáfosfato de Sódio	33,0	25,0	8,0	31,5	21,1	10,4	31,2	17,9	13,3
A10 – Silicato de Sódio	32,6	24,6	8,0	33,6	20,7	12,7	34,4	18,3	16,1

^aLL: Limite de Liquidez, LP: Limite de Plasticidade, IP: Índice de Plasticidade.

Tabela V - Limites de Atterberg da amostra D aditivada.
 [Table V - Atterberg limits of sample D.]

Aditivo	Porcentagem de Aditivo (% massa) ^a								
	0,5%			1,0%			1,5%		
	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP	
A1 – Amido Solúvel	35,2	18,7	16,5	35,6	18,9	16,7	38,2	19,4	18,8
A2 – Bentonita Cálcica	33,0	22,1	10,9	34,6	20,4	14,2	35,4	20,6	14,8
A3 – Bentonita Sódica	35,5	21,7	13,8	34,6	24,2	10,4	35,5	19,7	15,8
A4 – Carbonato de Sódio	41,0	20,7	20,3	44,0	19,9	24,1	14,6	41,5	26,9
A5 – Carboximetilcelulose	68,5	37,5	31,4	95,0	42,4	52,6	82,0	56,4	25,6
A6 – Cloreto de Magnésio	34,1	17,6	16,5	34,0	16,2	17,8	33,2	19,6	13,6
A7 – Detergente em Pó – ALA	31,8	20,4	11,4	33,4	21,3	12,1	33,0	19,5	13,5
A8 – Dextrina Branca	33,9	16,3	17,6	35,0	22,4	12,6	33,6	19,6	14,0
A9 – Hexametáfosfato de Sódio	34,6	17,2	17,4	32,6	18,4	14,2	34,6	16,5	18,1
A10 – Silicato de Sódio	34,3	19,1	15,2	33,2	19,3	13,9	35,5	17,7	17,7

^aLL: Limite de Liquidez, LP: Limite de Plasticidade, IP: Índice de Plasticidade.

Tabela VI - Limites de Atterberg da amostra E aditivada.
 [Table VI - Atterberg limits of sample E.]

Aditivo	Porcentagem de Aditivo (% massa) ^a								
	0,5%			1,0%			1,5%		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
A1 – Amido Solúvel	35,8	19,2	16,6	36,8	19,2	17,6	36,2	17,0	19,2
A2 – Bentonita Cálcica	36,4	20,8	15,6	38,2	20,5	17,6	37,2	20,7	14,4
A3 – Bentonita Sódica	36,9	20,1	16,8	35,3	20,4	14,9	36,7	22,7	14,0
A4 – Carbonato de Sódio	35,3	20,4	14,8	35,7	16,5	19,2	34,1	19,1	14,9
A5 – Carboximetilcelulose	46,7	29,5	17,2	60,2	32,4	27,7	70,2	43,1	27,2
A6 – Cloreto de Magnésio	36,8	21,4	15,4	36,1	21,7	14,3	36,0	20,3	15,6
A7 – Detergente em Pó – ALA	34,4	21,2	13,2	36,2	18,4	17,8	34,3	23,2	11,2
A8 – Dextrina Branca	35,9	20,4	15,6	37,7	23,3	14,4	39,4	21,4	17,9
A9 – Hexametáfosfato de Sódio	34,9	23,3	11,6	34,1	22,0	12,1	33,3	22,6	10,7
A10 – Silicato de Sódio	36,1	20,9	15,2	36,0	23,4	12,7	35,2	21,2	13,8

^aLL: Limite de Liquidez, LP: Limite de Plasticidade, IP: Índice de Plasticidade.

Tabela VII - Resumo do efeito dos aditivos nos limites de plasticidade (LP)^a.
 [Table VII - Summary of additives effect on plasticity limits (LP).]

	Porcentagem de Aditivos (% massa)														
	Amostra A			Amostra B			Amostra C			Amostra D			Amostra E		
	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,5
A1	D	A	A	A	D	A	D	D	D	I	I	A	A	A	D
A2	I	A	A	D	D	D	I	D	D	A	A	A	A	A	A
A3	A	A	D	D	I	D	D	D	A	A	A	A	A	A	A
A4	I	D	D	D	D	D	D	I	A	A	A	A	A	D	A
A5	A	N	N	A	N	N	A	A	A	A	A	A	A	A	A
A6	D	D	D	D	D	D	I	D	A	D	D	A	A	A	A
A7	A	A	A	D	D	D	I	D	A	A	A	A	A	A	A
A8	A	A	I	D	D	D	A	A	I	D	A	A	A	A	A
A9	D	A	A	D	D	D	A	A	D	D	D	D	A	A	A
A10	D	D	D	D	D	D	A	A	D	A	A	D	A	A	A

^aA: aumentou o LP, D: diminuiu o LP, I: alteração insignificante do limite de plasticidade, N: não determinado.

Tabela VIII - Alterações mais significativas no limite de plasticidade.
 [Table VIII - Most significant alterations on plasticity limits.]

Amostras	LPO (%) ^a	Aditivo	Teor (%)	Redução do LPO (%)
A	20,5	A1 - amido solúvel	0,5	8,8
		A6 - cloreto de magnésio	0,5	14,2
		A9 - hexametáfosfato de sódio	0,5	2,9
		A10 - silicato de sódio	0,5	14,2
B	19,0	A1 - amido solúvel	1,0	13,2
		A6 - cloreto de magnésio	0,5	21,6
		A9 - hexametáfosfato de sódio	1,0	13,7
		A10 - silicato de sódio	1,5	7,9
C	19,8	A1 - amido solúvel	1,0	15,6
		A4 - carbonato de sódio	0,5	9,6
		A6 - cloreto de magnésio	1,0	11,1
		A9 - hexametáfosfato de sódio	1,5	9,6
D	18,8	A6 - cloreto de magnésio	1,0	13,8
		A9 - hexametáfosfato de sódio	1,5	12,2
		A10 - silicato de sódio	1,5	5,8
E	17,7	A1 - amido solúvel	1,5	4,0
		A4 - carbonato de sódio	1,0	6,8

^aLPO: Limite de plasticidade da massa original (sem aditivo).

Com base nos resultados presentes na Tabela VIII foram confeccionados os corpos de prova (por extrusão) e, em seguida, determinada suas resistências após secagem. Na Fig. 1 estão apresentados os valores de módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova das massas não aditivadas (industriais) e aditivadas após secagem a 110 °C. Com base na Fig. 1 pode-se observar que os aditivos utilizados tiveram marcante influência na resistência após secagem dos corpos de prova, observando-se que na grande maioria dos casos as amostras aditivadas apresentaram módulos de ruptura superiores ao das massas industriais.

Verifica-se que a influência do aditivo sobre a resistência após secagem e sua intensidade variaram de acordo com a amostra, observando-se que o hexametáfosfato de sódio conduziu aos maiores aumentos nos módulos de ruptura das amostras A e C (100 e 150% aproximadamente, respectivamente), que o amido solúvel propiciou os maiores acréscimos nas amostras B e E (45 e 180% aproximadamente, respectivamente) e que o cloreto de magnésio conduziu ao maior aumento do módulo de ruptura da amostra D (83%).

A Fig. 2 apresenta as absorções de água dos corpos de prova após queima. Verifica-se que a intensidade da influência dos aditivos nas absorções de água variou de acordo com a massa. Pode-se observar que, de forma geral, os corpos obtidos com as massas aditivadas apresentaram absorções menores que os obtidos com as massas industriais após queima a 800 °C. O que indica que os aditivos contribuíram para um melhor empacotamento após a conformação o que se refletiu na menor absorção após 800 °C. As densidades aparentes das amostras aditivadas após conformação foram cerca de 10% superior a das amostras não aditivadas (puras), a exceção da amostra C cuja aditivação não conduziu a um aumento comprovado da densidade aparente. Vale salientar que não se observou o desenvolvimento de trincas (macroscópicas) nem nos corpos de prova das massas industriais nem das aditivadas. Entretanto, em algumas amostras após queima a 900 °C e em praticamente todas após 1000 °C, observa-se que os corpos de prova das massas industriais apresentam absorções inferiores aos das massas aditivadas. Esse comportamento ainda não está totalmente elucidado, mas essa maior absorção das massas aditivadas pode está associada à liberação de gases oriundos da queima dos aditivos utilizados. Os aditivos utilizados decompõem-

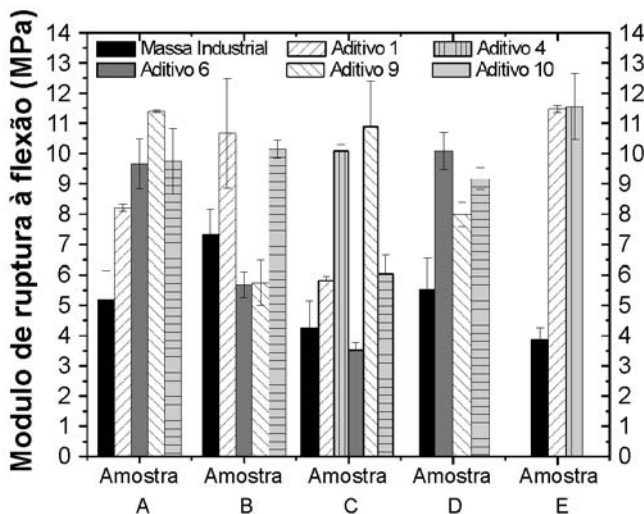


Figura 1: Módulo de ruptura dos corpos de prova após secagem a 110 °C.

[Figure 1: Modulus of rupture of the sample bodies dried at 110 °C.]

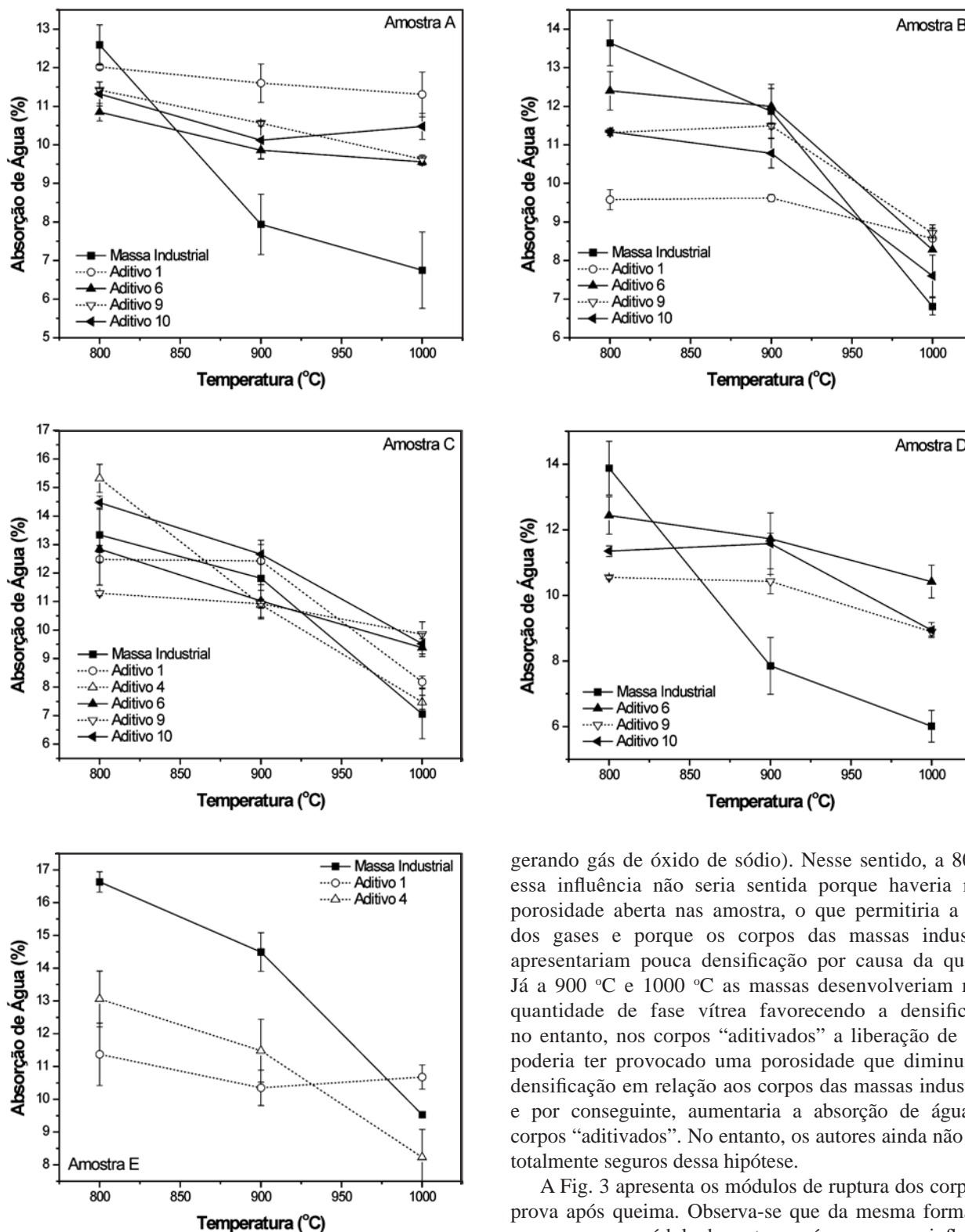


Figura 2: Absorção de água dos corpos de prova após queima. [Figure 2: Water absorption of the fired sample bodies.]

se totalmente ou fundem até 800 °C, com grande emissão de gás, atingindo-se porcentagens de decomposição de até 100% (o silicato de sódio não decompõe totalmente ou funde, mas em elevadas temperaturas decompõem-se

gerando gás de óxido de sódio). Nesse sentido, a 800 °C essa influência não seria sentida porque haveria muita porosidade aberta nas amostra, o que permitiria a saída dos gases e porque os corpos das massas industriais apresentariam pouca densificação por causa da queima. Já a 900 °C e 1000 °C as massas desenvolveriam maior quantidade de fase vítrea favorecendo a densificação, no entanto, nos corpos “aditivados” a liberação de gases poderia ter provocado uma porosidade que diminuiria a densificação em relação aos corpos das massas industriais, e por conseguinte, aumentaria a absorção de água nos corpos “aditivados”. No entanto, os autores ainda não estão totalmente seguros dessa hipótese.

A Fig. 3 apresenta os módulos de ruptura dos corpos de prova após queima. Observa-se que da mesma forma que ocorreu com o módulo de ruptura após secagem, a influência dos aditivos na resistência das amostras após queima e sua intensidade variaram de acordo com a massa analisada. Nas massas A, B e E observa-se que a aditivação propiciou aumentos significativos nos módulos de ruptura, observando-se acréscimos da ordem de 90% nos módulos dos corpos de prova aditivados. Por outro lado, na massa C verificou-se que os corpos de prova aditivados apresentaram nas temperaturas de 800 e 900 °C módulos inferiores, iguais e superiores ao da

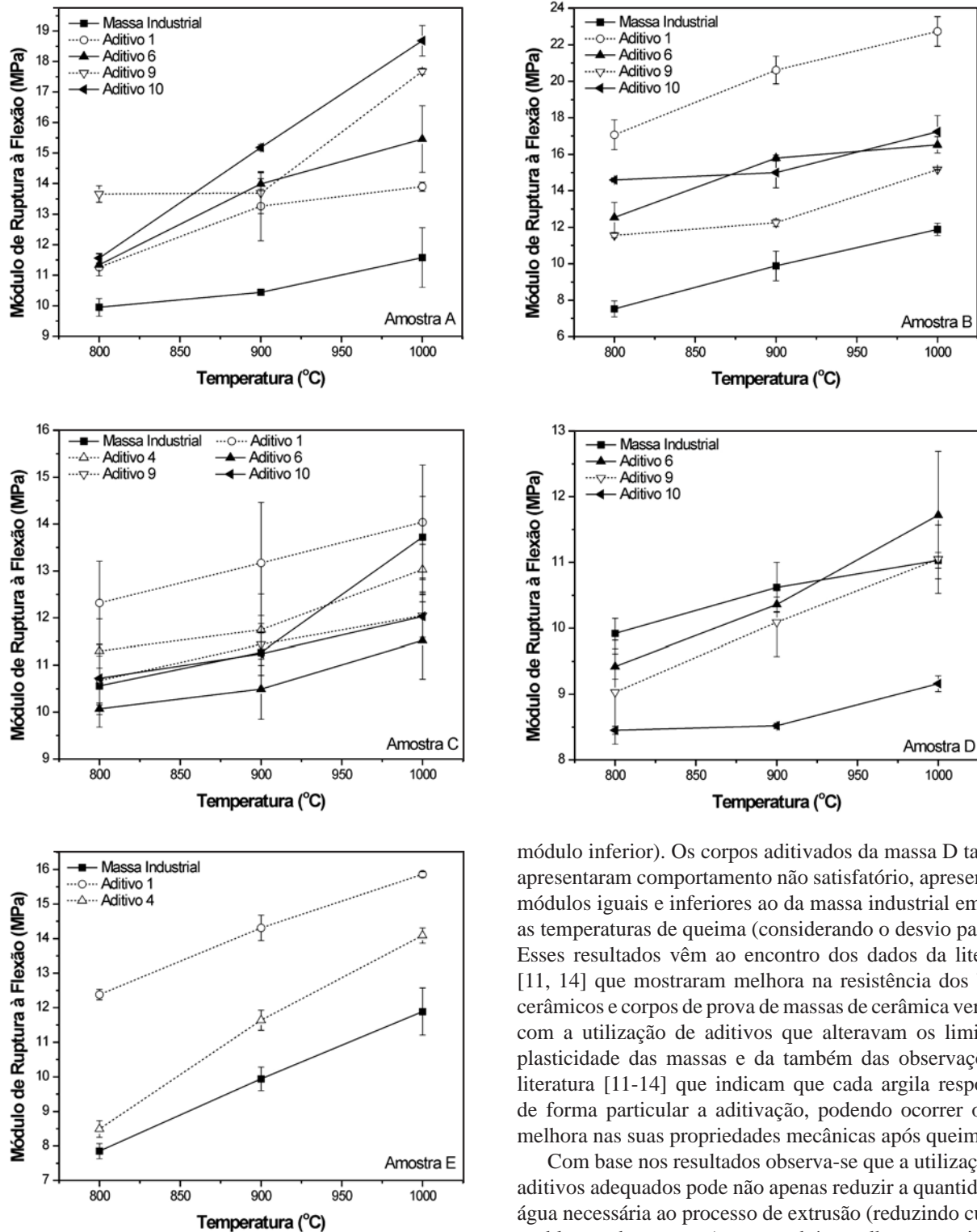


Figura 3: Módulo de ruptura dos corpos de prova após queima.
 [Figure 3: Modulus of rupture of the fired sample bodies.]

massa industrial (apenas o aditivo A1 propiciou aumento no módulo da massa industrial) e após queima a 1000 °C apenas os corpos aditivados com o aditivo A1 possuíam módulo igual ao da massa industrial (os demais apresentaram

módulo inferior). Os corpos aditivados da massa D também apresentaram comportamento não satisfatório, apresentando módulos iguais e inferiores ao da massa industrial em todas as temperaturas de queima (considerando o desvio padrão). Esses resultados vêm ao encontro dos dados da literatura [11, 14] que mostraram melhora na resistência dos blocos cerâmicos e corpos de prova de massas de cerâmica vermelha com a utilização de aditivos que alteravam os limites de plasticidade das massas e da também das observações da literatura [11-14] que indicam que cada argila responderá de forma particular a aditivação, podendo ocorrer ou não melhora nas suas propriedades mecânicas após queima.

Com base nos resultados observa-se que a utilização dos aditivos adequados pode não apenas reduzir a quantidade de água necessária ao processo de extrusão (reduzindo custos e problemas de secagem) mas também melhorar a resistência do produto final, podendo inclusive, conforme os dados das massas A, B e E, reduzir a temperatura de queima sem perdas de resistência no produto final.

Nesse sentido, é interessante observar que conforme indicações da literatura [22], que advogam resistência mínima nos corpos de prova de massas cerâmicas para a produção de blocos e telhas de 5,5 MPa e 6,5 MPa, respectivamente, que os corpos “aditivados” após queima a 800 °C apresentaram

valores de resistência 100 a 200% superiores ao indicados na literatura [22].

Os aditivos que aumentaram mais acentuadamente a resistência dos corpos de prova foram, de forma geral, o silicato de sódio, o hexametáfosfato de sódio e o amido solúvel. Acredita-se que a melhora na resistência, apesar da generalizada maior absorção de água, pode estar associada a uma diminuição nos defeitos de processamento relacionados a retrações de secagem diferenciais, heterogeneidades de densificação do compacto após extrusão e tensões internas no corpo cerâmico (relacionados a processamento inadequado). Dentre esses aditivos observa-se que dois agem como defloculantes, o que provavelmente possibilita uma melhor dispersão do material, diminuindo aglomerados, reduzindo a água requerida para o processo, diminuindo a viscosidade e melhorando a plasticidade, enquanto o outro age como um plastificante durante o processo de extrusão, melhorando a extrudabilidade da massa, mas todos agem, também, conforme a Fig. 1, aumentando a resistência do material após secagem.

CONCLUSÕES

A influência dos aditivos utilizados variou de acordo com a massa analisada e o teor de aditivo usado, podendo provocar aumentos ou reduções no limite de plasticidade dependendo da massa. Os aditivos utilizados possibilitaram, de forma geral, aumentar o módulo de ruptura à flexão dos corpos de prova após secagem em até 180%, sendo o amido solúvel, o hexametáfosfato de sódio e o cloreto de magnésio os que conduziram aos maiores aumentos. A influência dos aditivos utilizados no módulo de ruptura dos corpos de prova após queima variou de acordo com a massa analisada, ocorrendo em alguns casos aumentos de até 100% nos módulos e em outros não se observando incremento algum nos módulos. Os aditivos que propiciaram os maiores aumentos nos módulos de ruptura após queima foram o amido solúvel, o silicato de sódio e o hexametáfosfato de sódio.

AGRADECIMENTOS

À FAPESQ/MCT/CNPq (001/06) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Associação Nacional da Indústria Cerâmica. ANICER: Disponível em <<http://www.anicer.com.br/dados.html>>. Acesso em: 21 jun. 2004.
- [2] A. P. N. Oliveira, O. R. K. Mortedo, J. Pizeto, M. Casagrande, “Matérias-primas empregadas na fabricação de tijolos e blocos de construção: características e influência sobre as propriedades do produto final”, secção cerâmica estrutural. Disponível em <<http://www.ctc.gov.br/publicações.html>>. Acesso em: 21 set. (2004).
- [3] P. Souza Santos, Ciência e Tecnologia de Argilas, 3ª Ed., Vol. 1, Edgard Blücher, S. Paulo, SP (1992) 397.
- [4] A. R. Zandonadi, M. A. P. Jordão, Informações técnicas sobre cerâmica, Anuário Brasileiro de Cerâmica, ABC, S. Paulo (2002).
- [5] L. F. A. Campos, R. S. Macedo, H. C. Ferreira, P. K. Kiyorara, Cerâmica 45 (1999) 295.
- [6] J. S. Reed, Principles of ceramics processing, John Wiley, New York, EUA (1995) 254.
- [7] G. D. Chiara, G. M. Borroni, A. D. Chiara, “A tecnologia do processo de produção na indústria de cerâmica vermelha”, Curso de formação para profissionais da indústria de cerâmica vermelha, Apostila, ACIMAC/IEC, Florianópolis (2000) 70.
- [8] M. G. Santos, J. M. Silva, M. F. S. Trindade, L. E. B. Soledade, A. G. Souza, C. A. Paskocimas, E. Longo, Cerâmica 51 (2005) 144.
- [9] R. R. Menezes, R. R. de Almeida, L. N. L. Santana, H. S. Ferreira, G. A. Neves, H. C. Ferreira, Revista Matéria 12, 1 (2007) 226.
- [10] R. R. Menezes, R. R. de Almeida, L. N. L. Santana, G. A. Neves, H. L. Lira, H. C. Ferreira, Cerâmica 53 (2007) 192.
- [11] A. Amarante Júnior, S. Pracidelli, Cerâmica 25 (1979) 274.
- [12] J. Rawet, P. Souza Santos, Cerâmica 26 (1980) 198.
- [13] L. F. A. Campos, R. S. Macedo, H. C. Ferreira, 13º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências de Materiais, Curitiba, PR (1998) cdrom.
- [14] R. C. Ferreira, W. J. Freire, Eng. Agr. 25, 3 (2005) 585.
- [15] R. S. Macedo, R. R. Menezes, G. A. Neves, H. C. Ferreira, Cerâmica (2007) submetido.
- [16] R. S. Macedo, “Estudo comparativo entre massas cerâmicas industriais e aditivadas para uso em blocos cerâmicos”, Tese de Doutorado, Engenharia de Processos, UFCG (2005) 125p.
- [17] Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6459: Determinação do limite de liquidez - método de ensaio, Rio de Janeiro (1984).
- [18] Associação Brasileira e Normas Técnicas, NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade - método de ensaio, Rio de Janeiro (1984).
- [19] R. S. Macedo, “Estudo das matérias-primas e tijolos furados produzidos no Estado da Paraíba”, Dissertação de Mestrado, DEQ-CCT-UFPB (1997) 107p.
- [20] C. M. F. Vieira, J. N. F. Holanda, D. G. Pinatti, Cerâmica 46 (2000) 15.
- [21] G. Y. Onoda, L. L. Hench, Ceramic processing before firing, John Wiley, New York, EUA (1978) 115.
- [22] L. Barzaghi, A. Salge, Cerâmica 28, 151 (1982) 300. (Rec. 20/11/2007, Rev. 01/05/2008, Ac. 30/05/2008)