

ESTUDO DA COMPACTAÇÃO DE MASSAS PARA CERÂMICA VERMELHA

Adans Custódio¹, Manuela Custódio¹, Rafael Pereira Da Coreggio¹, Maykon Cargnin²

¹Instituto Maximiliano Gaidzinski / Colégio Maximiliano Gaidzinski

²Instituto Maximiliano Gaidzinski / Departamento Técnico / maykon.cargnin@imgnet.org.br

Resumo: A etapa de conformação é de fundamental importância para o processo cerâmico, uma vez que é nesta que o material adquire a forma e características estruturais pretendidas. O estudo baseou-se na conformação por prensagem a seco e extrusão de uma argila plástica para cerâmica vermelha. A argila foi seca em estufa laboratorial, destorroada, peneirada e preparada com diferentes percentuais de umidade (7, 9 e 11%), sendo compactada em prensa laboratorial hidráulica com diferentes pressões específicas (15, 20, 25 e 30 MPa). A argila também foi conformada em uma extrusora laboratorial com pressão de vácuo de 50 kPa. Todos os corpos-de-prova foram secos e caracterizados. Os resultados demonstram que a densidade aparente dos corpos-de-prova extrudados obtiveram um valor de 1860 kg/m³ compatível com a condição de prensagem de 30 MPa com 11% de umidade para o processo de prensagem. A resistência mecânica a seco dos corpos-de-prova extrudados ficou até 2 a 4 MPa maior do que os produtos prensados. As queimas foram realizadas em forno mufla laboratorial em diferentes temperaturas (800, 850 e 900°C) e patamar de queima de 5 minutos. A densidade aparente após a queima apresentou valores de 1730 a 1780 kg/m³ para o produto extrudado, confirmando um maior grau de compactação e confirmado pelos valores da resistência mecânica de 7 a 23 MPa. Os resultados mostram que a argila plástica conformada por extrusão adquire propriedades similares e até mesmo superiores a argila conformada por prensagem.

Palavras-Chave: cerâmica vermelha, prensagem, extrusão, compactação.

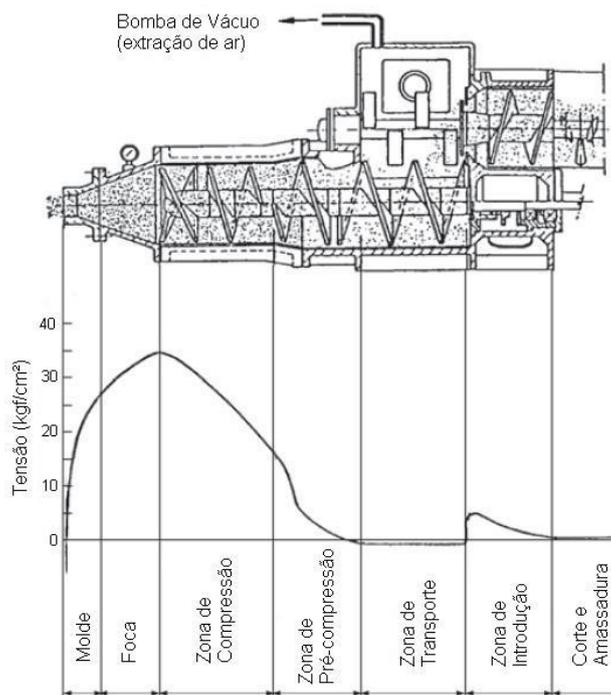
1 INTRODUÇÃO

A etapa de conformação é de fundamental importância para o processo cerâmico, uma vez que é nesta que o material adquire a forma e características estruturais pretendidas. Dependendo do tipo de produto que se desejar fabricar, um tipo de processo de conformação é selecionado para tal tarefa. Como o processo de conformação apresenta grande influência nas características do produto acabado, este deve ser devidamente controlado, pois as variáveis da máquina e também da matéria-prima podem contribuir nas características do produto produzido. Os processos mais comuns de conformação existentes são por extrusão, por prensagem a seco e por colagem (AMORÓS, 2000, p.23-28).

A extrusão é atualmente concentrada na fabricação de cerâmicas vermelhas como tijolos e telhas. Está associada a uma alta produtividade, principalmente para produtos de secção transversal constante, onde a homogeneização e a retirada do ar da massa dentro da extrusora têm grande importância para as características finais do produto acabado. A extrusão consiste na passagem forçada de uma massa cerâmica plástica por uma boquilha ou saída com determinado formato (RIBEIRO *et. al.*, 2003, p.37-42). Segundo Ribeiro *et. al* (2003, p.37-42), as forças de compressão no interior de uma extrusora apresentam dois picos em zonas diferentes (Figura 01). O primeiro, de

baixa intensidade, surge logo no fim da primeira hélice junto ao cortador interno na entrada da câmara de vácuo, onde surge a primeira restrição à passagem da massa. O outro pico, com início na zona de pré-compressão e máximo à entrada da sobre boca, tem maior intensidade e define a zona onde se desenvolvem as forças de compressão do material e onde se desenvolvem desgastes elevados dos componentes da extrusora.

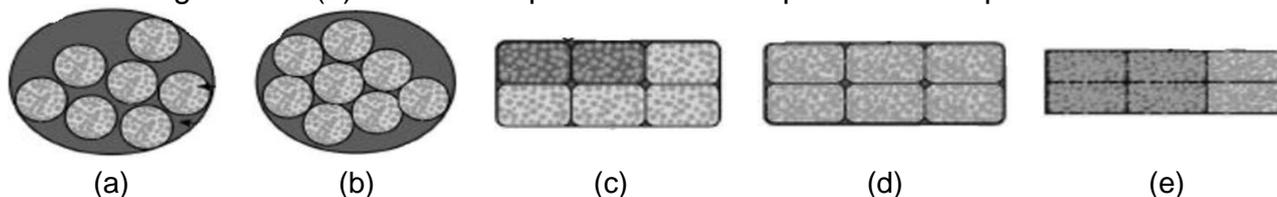
Figura 01 – Forças de compressão no interior da extrusora.



Fonte: Adaptado de Ribeiro *et. al* (2003, p.37-42).

A prensagem a seco tem por objetivo estabelecer uma forma definida a um pó moldável, cujas características são variáveis, através da homogênea redução da porosidade do mesmo, transformando-o em um corpo compactado com maior densidade e microestrutura adequada para obter-se as características finais desejadas (AMORÓS *et. al.*, 2000, p.14-20). A Figura 02 apresenta o mecanismo de conformação por prensagem de um pó cerâmico. A prensagem a seco é a compressão de um pó cerâmico dentro de uma cavidade por um pistão ou punção, ocorrendo inicialmente a redução do volume ocupado pelos poros intergranulares e da reordenação dos grânulos. Em seguida, ocorre a redução do volume e tamanho dos espaços intergranulares por deformação plástica associada com o esmagamento de grânulos ocos. Finalmente, a diminuição de volume e tamanho dos poros intragranulares pelo deslizamento e reordenação das partículas buscando alcançar um empacotamento mais denso.

Figura 02 – Mecanismos de compactação. (a) Preenchimento do molde. (b) Reordenação de grânulos. (c) Deformação e destruição de grânulos. (d) Reordenação das partículas no interior dos grânulos. (e) Máximo empacotamento das partículas em pressões muito altas.



Fonte: Adaptado de Amorós (2000, p.14-20).

O objetivo geral deste trabalho é avaliar as influências dos processos de conformação por extrusão e prensagem de uma argila plástica para fabricação de produtos de cerâmica estrutural (tijolo ou telha) sobre as características técnicas a seco e pós-queima. Para atingir este objetivo foi avaliado o grau de compactação da argila através dos valores da densidade aparente e resistência mecânica a flexão a seco das amostras. Também foram avaliadas as propriedades de retração linear, absorção de água, densidade aparente e resistência mecânica a flexão das amostras após a etapa de queima em forno mufla laboratorial para diferentes temperaturas máximas.

2 METODOLOGIA

O procedimento experimental foi dividido em duas etapas, onde na primeira foram confeccionados corpos-de-prova pelo método de conformação por prensagem a seco. Uma argila plástica foi selecionada e determinada sua umidade *in natura*, utilizando uma amostra de 100g pesada em uma balança digital com resolução de 0,01g e seca em uma estufa laboratorial na temperatura de $110\pm 10^{\circ}\text{C}$.

Outra quantidade desta argila (7 kg) foi seca em estufa laboratorial na temperatura de $110\pm 10^{\circ}\text{C}$ e desagregada em um britador de mandíbulas e em seguida em um moinho de martelos. Com a obtenção da argila na forma de pó, a mesma foi dividida em três lotes, sendo que cada lote foi umidificado com um percentual de 7%, 9% e 11% de água. Estes foram peneirados em malha de 9 mesh, deixando em descanso para homogeneização por um período de 24 horas. Cada lote de argila foi compactado em uma prensa hidráulica laboratorial em um estampo com medidas de 70mm x 50mm com as pressões específicas de 15 MPa, 20 MPa, 25 MPa e 30 MPa. Os corpos-de-prova foram medidos com um paquímetro analógico de resolução de 0,05mm e pesados em uma balança digital de resolução de 0,01g e inseridos numa estufa laboratorial com temperatura de $110\pm 10^{\circ}\text{C}$ para a secagem dos mesmos. Com a secagem dos corpos-de-

prova, foram obtidas novamente as dimensões e a massa. A densidade aparente a seco foi determinada através do método de empuxo por mercúrio a uma temperatura de 25°C. A resistência mecânica a flexão foi determinada através do método dos três apoios utilizando o equipamento digital crômetro da marca Gabrielli.

Em paralelo, deu-se início a conformação da argila por extrusão, sendo que a mesma foi preparada passando por um laminador, um misturador de roscas helicoidais e umidificada para atingir o ponto plástico necessário para a extrusão (25% de umidade). A argila em forma plástica foi conformada por uma extrusora laboratorial onde a mesma é forçada por um sistema de rosca sem fim em uma câmara blindada onde o ar é retirado por meio de bomba a vácuo, com uma pressão de vácuo de 50 kPa. A argila foi forçada a sair pela boquilha em uma seção constante com largura de 60 mm e foram cortados no comprimento de 120 mm. Após a conformação os corpos-de-prova foram medidos com um paquímetro analógico com resolução de 0,05 mm e pesados em uma balança digital com resolução de 0,01g. Estes foram postos para secar em temperatura ambiente por 48 horas e em seguida foram acondicionados em estufa laboratorial com temperatura de 110±10°C para secagem final por um período de 24 horas. Os corpos-de-prova foram novamente medidos e pesados, determinando novamente as características de resistência mecânica a flexão e densidade aparente pelos mesmos métodos descritos anteriormente.

As queimas dos corpos-de-prova prensados e extrudados foram feitas, simultaneamente, em um forno mufla laboratorial nas temperaturas de 800°C, 850°C e 900°C, segundo uma taxa de aquecimento de 5,5°C/min e patamar de 5 minutos na temperatura máxima. Após as queimas, os corpos-de-prova foram medidos com um paquímetro analógico com resolução de 0,05 mm e pesados em uma balança digital com resolução de 0,01g. A retração linear (R_l) foi determinada conhecendo a dimensão de comprimento dos corpos-de-prova antes (L_i) e após (L_f) a queima, utilizando a Eq. (1).

$$R_l(\%) = \left(\frac{L_i - L_f}{L_i} \right) \times 100 \quad (1)$$

A absorção de água foi determinada inserindo os corpos-de-prova, devidamente pesados (m_i), em um recipiente com água fervendo e deixados por 2 horas nestas condições. Após este tempo, os corpos-de-prova são resfriados dentro do mesmo recipiente utilizando uma corrente de água fria e em seguida são secos com um pano úmido e pesados (m_f) em uma balança digital com resolução de 0,01g. O cálculo do percentual de água absorvida pelos corpos-de-prova foi realizado utilizando a Eq. (2).

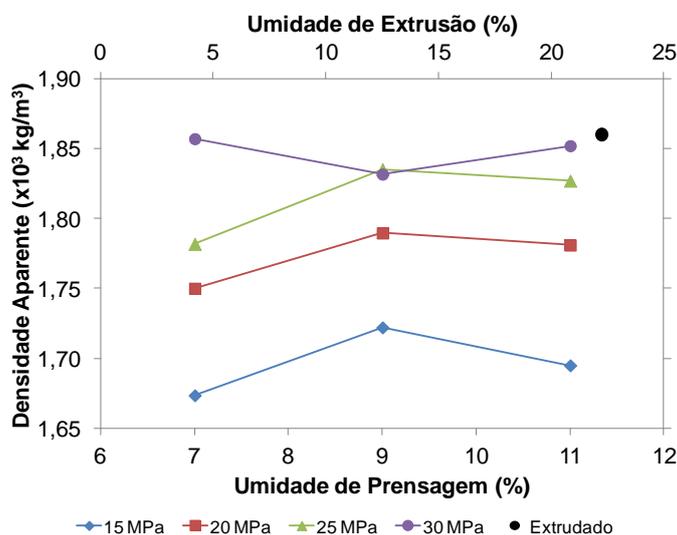
$$A_a(\%) = \left(\frac{m_f - m_i}{m_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

As características técnicas pós-queima de densidade aparente e resistência mecânica a flexão foram determinadas conforme procedimento descrito anteriormente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 03 é um diagrama de isocompactação relacionando a densidade aparente a seco do material pela umidade e pressão de compactação pelo processo de prensagem. Este diagrama mostra que para a obtenção de uma mesma densidade a seco, pode-se ter diferentes relações entre umidade e pressão de compactação. Percebe-se que para uma pressão específica de compactação de 30 MPa com uma umidade de 11%, a massa cerâmica obteve uma densidade aparente a seco de 1850 kg/m³ e com o processo de extrusão foi obtido um valor de 1860 kg/m³, ou seja, um resultado bem semelhante para os dois processos. Vale salientar, que a tendência é que ocorra uma redução no valor da densidade aparente do material prensado, pois segundo Amorós (2001, p.15-23), *para elevadas pressões de compactação e umidade, a água pode vir a saturar os poros existentes na peça, impedindo sua posterior compactação em massas argilosas.*

Figura 03 – Diagrama de isocompactação.



Com relação a resistência mecânica a flexão a seco, demonstrado pela Figura 04, a argila compactada por extrusão apresentou um valor de 9 MPa e a argila compactada por prensagem obteve um valor entre 6,5 a 7 MPa, considerando uma pressão de 30 MPa e 11% de umidade, mostrando que o grau de compactação do

material extrudado é maior, ou seja, mesmo com elevadas pressões e umidades o processo de prensagem não foi capaz que romper os grãos da argila.

Para uma análise das características técnicas após o processo de queima foi selecionado os dados referentes a argila compactada com 30 MPa de pressão específica e 11% de umidade em comparação com a argila extrudada. A Figura 05 mostra que para a densidade aparente da argila compactada com 11% de umidade obteve-se um comportamento próximo da argila extrudada, mas os valores apresentados demonstram um menor grau de aproximação das partículas, mesmo com o aumento da temperatura de queima.

Figura 04 – Resistência mecânica a flexão a seco em função da pressão de compactação e umidade da massa.

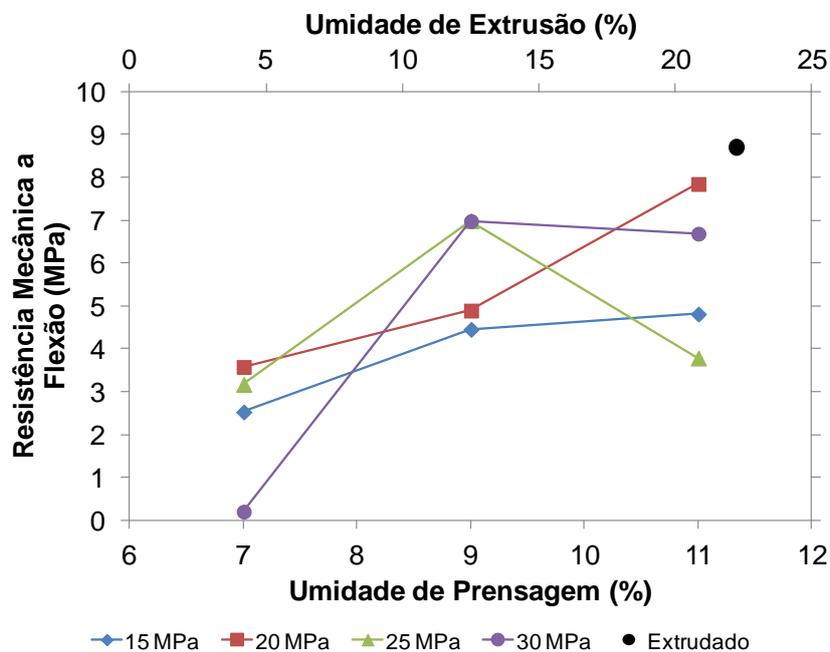
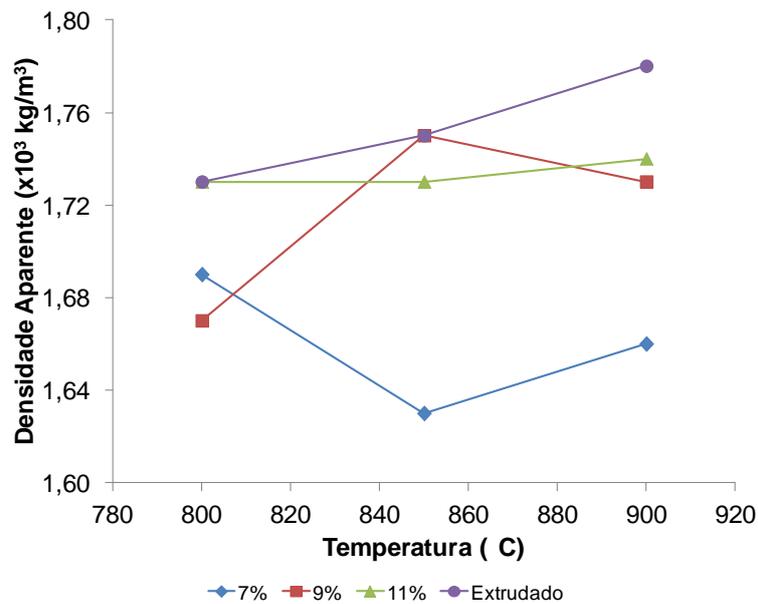
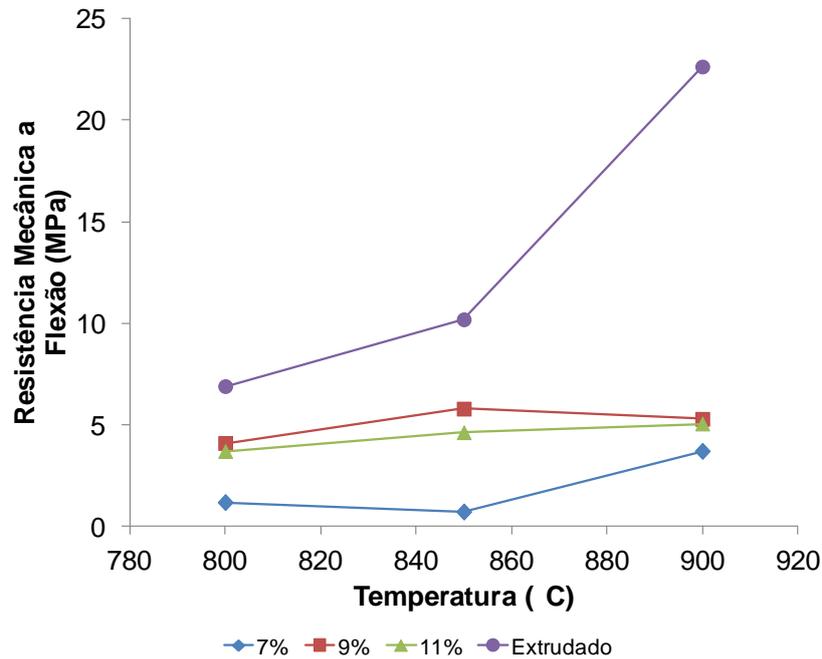


Figura 05 – Densidade aparente em função da temperatura de queima e umidade de prensagem (Pressão específica: 30 MPa).

A diferença de compactação destas massas (argila) fica evidente quando analisada a resistência mecânica a flexão após a queima, conforme demonstrada pela Figura 06. A massa extrudada mostrou ter uma resistência mecânica a flexão muito superior em relação a massa compactada por prensagem, fato que pode ser explicado devido ao maior grau de homogeneidade da massa e maior aproximação das partículas do processo de extrusão, analisada anteriormente pela densidade aparente, conforme análise também realizada por Freitas *et al* (2009, p.15-18). Esta aproximação pode ser comprovada pela formação de coração negro no material extrudado, evidenciando uma baixa permeabilidade gasosa da massa.

Figura 06 – Resistência mecânica a flexão em função da temperatura de queima e umidade de prensagem (Pressão específica: 30 MPa).



O comportamento da absorção de água da argila extrudada e da argila compactada por prensagem com umidades de 9% e 11% tiveram praticamente o mesmo comportamento, ou seja, com o aumento da temperatura ocorre a densificação do material e desta forma a diminuição do valor da absorção de água, conforme demonstrado pela Figura 07. Mesmo os resultados a seco demonstrando um maior grau de compactação, os resultados de queima para a retração linear foram maiores para a massa compactada por extrusão, conforme demonstrado pela Figura 08.

Figura 07 – Absorção de água em função da temperatura de queima e umidade de prensagem (Pressão específica: 30 MPa).

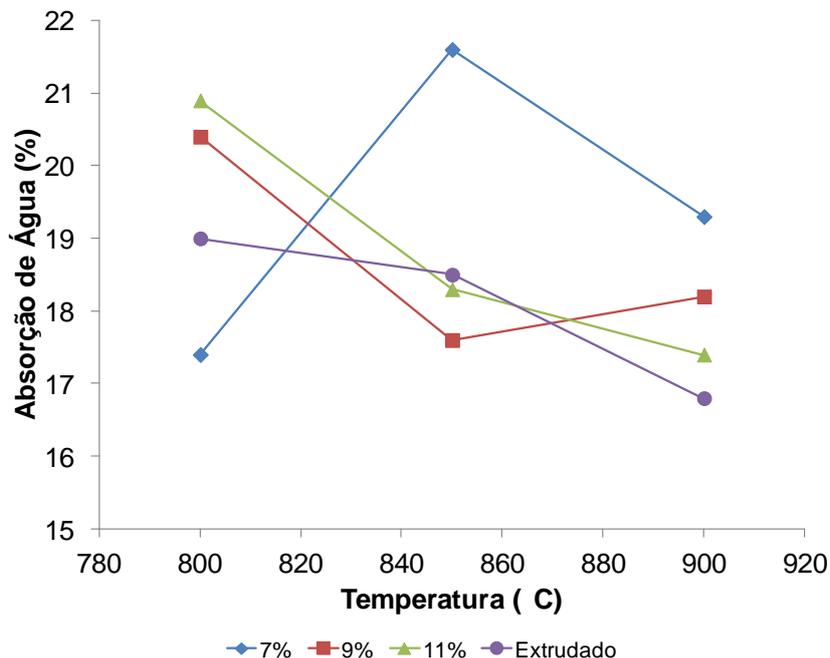
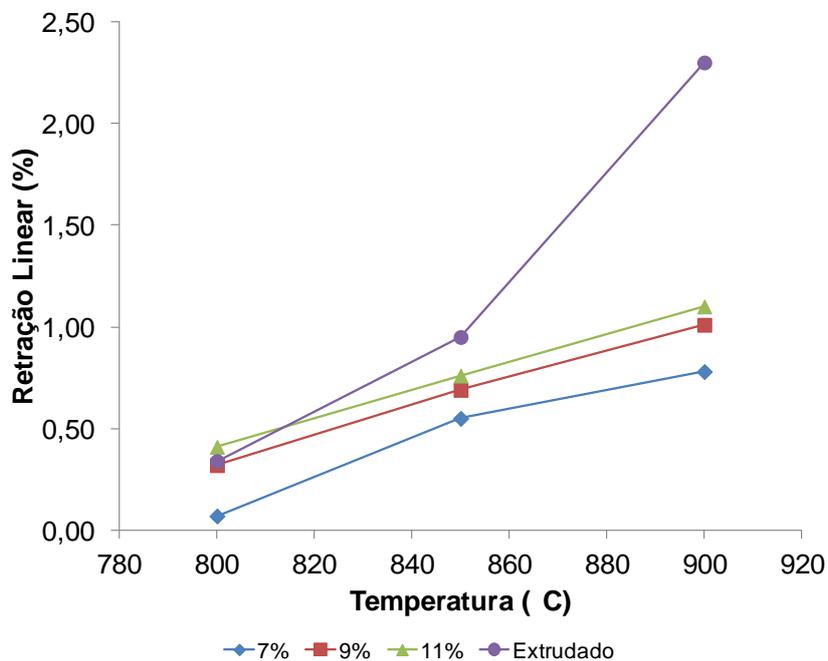


Figura 08 – Retração linear em função da temperatura de queima e umidade de prensagem (Pressão específica: 30 MPa).



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De uma maneira geral, os resultados demonstram que o processo de extrusão, apresenta ser um processo eficiente em se tratando do grau de compactação de massas cerâmicas, atribuindo características técnicas interessantes ao produto acabado, se

comparado com o processo de prensagem. O grau de compactação do produto extrudado pode ser relacionado com o valor da densidade aparente após o processo de secagem, que obteve um valor de 1860 kg/m^3 , resultado este obtido com uma condição de prensagem de 30 MPa de pressão de compactação e umidade do pó de 11%, valor este relativamente elevado podendo originar alguns defeitos no produto conformado durante a conformação. A resistência mecânica a seco também apresentou maiores valores, ficando em torno de 2 a 4 MPa a mais, se comparados com os materiais prensados, demonstrando que no processo de extrusão a massa argilosa apresenta, aparentemente, uma maior coesividade. Após a queima, o material extrudado apresentou bons resultados, principalmente, para a resistência mecânica a flexão obtendo valores da ordem de 7 a 23 MPa com o aumento da temperatura de queima, muito acima dos valores obtidos para o material prensado. Isto se justifica, pois durante o processo de prensagem a força exercida sobre os grânulos não foi suficiente para acomodá-los corretamente e muito menos para rompê-los, deixando o material com grandes quantidades de espaços vazios e reduzindo os valores das propriedades analisadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores abrem espaço para agradecer ao Colégio Maximiliano Gaidzinski, a Eliane S/A Revestimentos Cerâmicos e ao SINDICER de Morro da Fumaça (SC) por disponibilizar suas instalações, matérias-primas e os funcionários que auxiliaram na elaboração deste projeto.

REFERÊNCIAS

AMORÓS, J.L.A. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial: Parte I: o preenchimento das cavidades do molde. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.5, n.5, p.23-28, set./out. 2000.

RIBEIRO, M.J.; FERREIRA, A.A.L.; LABRINCHA, J.A. Aspectos Fundamentais sobre a Extrusão de Massas de Cerâmicas Vermelhas. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.8, n.1, p.37-42, jan./fev. 2003.

AMORÓS, J.L.A. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial: Parte II: a compactação. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.5, n.6, p.14-20, nov./dez. 2000.

AMORÓS, J.L.A. A operação de prensagem: considerações técnicas e sua aplicação industrial: Parte III: variáveis do processo de compactação. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.6, n.1, p.15-23, jan./fev. 2001.

FREITAS, C.S.R.; PEREIRA, I.A.F.S.; PEREIRA, M.L.G.; SIMÕES, T.C.R.; FERREIRA, A.A.L. Influência de Diferentes Processos de Conformação nas Características Finais de Produtos Cerâmicos. **Revista Cerâmica Industrial**, São Paulo, v.14, n.3, p.15-18, maio/jun. 2009.