

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE CONCRETO REFORÇADO COM FIBRA DE LÃ DE ROCHA SUBMETIDO A ALTAS TEMPERATURAS

Samuel Silveira Matias de Camargo

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. samuelmathias2008@hotmail.com

Matheus Carneiro Melo

Centro Universitário de Anápolis – UniEVANGÉLICA. matheus.c.m42@gmail.com

Jéssica Nayara Dias

Centro Universitário de Anápolis - UniEVANGÉLICA. jessicadias.engenharia@gmail.com

Resumo

Sendo um dos fenômenos mais danosos para as estruturas de concreto, os incêndios são agentes de rápida ação e provocam reações prejudiciais quanto à resistência à compressão desses elementos. Uma das formas de estudo para a melhoria das propriedades do concreto é a inserção em sua matriz de um material com maior resistência ao fogo, também chamado refratário. Um material de origem natural que se enquadra como refratária é a fibra de lã de rocha, utilizada em indústrias petrolíferas, usina termo elétricas, usinas sucroalcooleiras e na construção civil. Este estudo teve como objetivo a obtenção e caracterização do concreto com inclusão da fibra de lã de rocha, em 3 percentuais diferentes, e os seus efeitos quanto ao desempenho após exposição a altas temperaturas e métodos de resfriamento distintos, e períodos de cura variados, para obter uma melhor leitura de resultados. Para tanto, quatro traços de concreto foram fabricados, um convencional e três com a substituição parcial do cimento pela fibra nas porcentagens de 5, 10 e 15% em massa. Foi realizado um programa experimental para obtenção dos compósitos cimentícios reforçados com fibras de lã de rocha mineral. O preparo do material compósito foi feito com a cooperação e utilização de ferramentas disponíveis no Laboratório de Materiais e Estruturas, localizado na matriz da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, e no campus da UniEVANGÉLICA de Ceres – GO. De modo geral, a utilização da fibra de lã de rocha levou a melhora no desempenho do concreto quando submetido a temperaturas elevadas, apresentando maiores valores de resistência à compressão quando comparado aos corpos de prova de referência, em sua grande maioria.

Palavras-Chave: Compósito cimentício; fibra de lã de rocha; concreto; incêndio.

1 Introdução

A garantia de segurança e durabilidade nas obras de construção civil aliada à sustentabilidade tem se tornado mais evidente e eficaz, a relação entre seres humanos e os impactos ao meio ambiente vem sendo protagonistas de diversos estudos (CORRÊA, 2009). A procura por matérias que forneçam melhor eficiência em termos de sustentabilidade e resistência estrutural gera no setor industrial a necessidade de desenvolver e fornecer serviços e matérias que estejam dentro das expectativas mencionadas (ROSÁRIO, 2018). Para Araújo (2008), a construção sustentável reflete a modernidade e traz a solução para problemas ambientais associando-se à tecnologia e atenção no atendimento aos usuários.

Recorrentemente edificações sofrem com a ação de incêndios, eventos que são temas de estudos e pesquisas que buscam diminuir o efeito negativo do fogo para as estruturas de concreto (ALVES, 2018). Os estudos sobre materiais compósitos que atuam no combate à perda de resistência estrutural devido a exposição às altas temperaturas durante as fases de um incêndio estão em evidência nas últimas décadas, a partir da adição de fibras, aglomerantes e utilização de agregados em compostos cimentícios que podem melhorar este comportamento (SILVA, 2016).

Para Pereira (2010), como efeito da exposição a altas temperaturas sob certas condições de carregamento todos os concretos sofrem com o efeito do lascamento, e com o aumento da temperatura a taxa de danos se eleva. Porém, alguns fatores observados contribuem para redução do impacto negativo à resistência da estrutura, como por exemplo, a adição da fibra de lã de rocha, o controle da umidade, hidratação do concreto e a utilização de compósitos cimentícios que tenham características dúcteis, como o projetado. De acordo com Neto (2018) o compósito cimentício projetado “[...] é um tipo especial de compósito cimentício reforçado com fibras de alto desempenho que apresentam alta ductilidade e maior tolerância a danos sob carga mecânica”. Pereira (2010), explica que a adição de fibras diminui o pico de pressão causado pela umidade interna, aumenta a permeabilidade e forma uma rede de microfissuras de ordem 1 μm , o que permite a liberação do vapor formado no interior da estrutura.

A fibra de lã de rocha, por possuir características sustentáveis no seu processo de fabricação, é um material com potencial positivo de estudos quanto a seu desempenho na melhora da resistência térmica do concreto. Esta é produzida a partir de rocha basáltica e mineral de rochas vulcânicas, é um “subproduto da conformação de outros materiais produzidos para fim de isolamento térmico” (PEREIRA, 2010). Sua utilização se destaca na indústria e na construção civil, sendo utilizada como isolante termoacústico, e pode ser encontrada em variadas formas no mercado.

Dentre as propriedades da fibra da lã de rocha podem-se destacar: altos índices de absorção acústica, inércia química, reage bem em meios alcalinos, é incombustível, suporta temperaturas acima de 1000°C, porém entre -200°C e +750°C apresenta maior eficiência, possui baixa condutividade térmica. Na indústria, periodicamente a lã de rocha aplicada nos equipamentos precisa ser substituída, gerando assim grande quantidade de resíduos que são destinados aos aterros. O descarte desse material contribui para a superlotação dos aterros e acaba ocasionando custos com o processo (MENDES, 2017).

A utilização da fibra de lã de rocha no concreto possibilita a verificação da sua eficiência no processo de redução dos impactos do material quando submetido à elevadas temperaturas. Outra importante vantagem é seu uso sustentável, sua reciclagem através da incorporação fibrosa no concreto pode ser instrumento fundamental para a diminuição da exploração de recursos naturais, uma vez que isso implica na substituição percentual dos componentes do traço convencional (FERNANDES, et al, 2016).

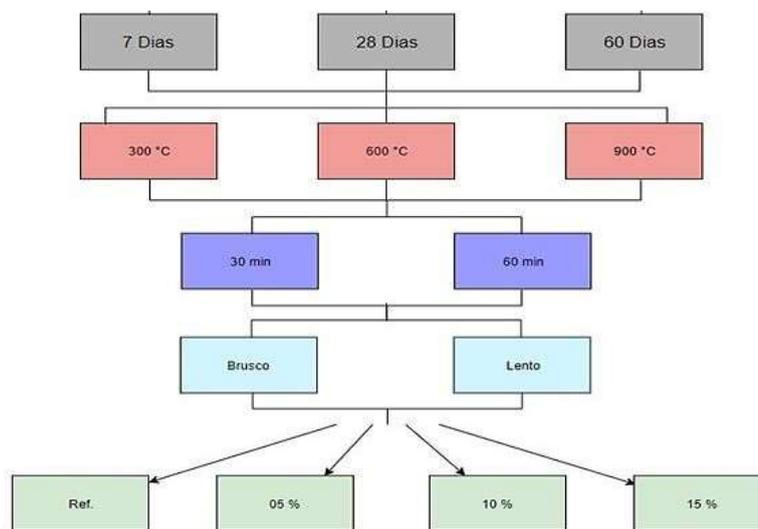
2 Metodologia

Foi realizado um programa experimental para obtenção dos compósitos cimentícios reforçados com fibras de lã de rocha mineral. O preparo do material compósito foi feito com a cooperação e utilização de ferramentas disponíveis no Laboratório de Materiais e Estruturas, localizado na matriz da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, e no campus da UniEVANGÉLICA de Ceres – GO. Nos itens subsequentes são descritos os procedimentos executados no desenvolver do experimento.

2.1 Critérios de produção

Foram utilizados como parâmetros de produção dos corpos de prova o tempo de cura, temperatura e tempo de exposição, método de resfriamento e percentual de substituição da fibra de lã de rocha ao concreto, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1. Critério de produção para os corpos de prova



Fonte: Próprios Autores (2021)

2.2 Materiais

Foram utilizados, como materiais constituintes do concreto reforçado: Fibras de lã de rocha (Figura 2.a), fornecidas por empresas especializadas em materiais de isolamento térmico para construção civil, o cimento utilizado foi o Portland CP II Z 32 (Figura 2.b), sendo caracterizado pela presença de 6 a 14% pozolana e até 10% de fíler, segundo a NBR 16697 (ABNT, 2018), e devido as suas propriedades, é um material utilizado para a produção de estruturas de concreto armado; argamassas de revestimento e assentamento; concreto para pavimentos, adquirido de comércio de materiais para construção, agregados graúdos, agregados miúdos e água fornecidos pelo Laboratório de Materiais do Centro Tecnológico da Universidade Evangélica de Goiás.

Figura 2. Materiais utilizados: (a) Fibras de lã de rocha; (b) Cimento Portland CP II Z 32.



(a)



(b)

Fonte: Próprios Autores (2021)

2.2 Coleta e preparação da fibra

As fibras de lã de rocha foram adquiridas através de processo de compra formal, em formato de tubo de isolamento térmico, (Figura 2.a), da empresa Rockfibras do Brasil Indústria e Comércio Ltda. O material passou por uma verificação visual de integridade e retalhamento manual, (Figura 3.a), e posteriormente foram moídos para atingir a finura requerida para utilização (Figura 3.b).

Figura 3. Materiais utilizados: (a) Retalhamento manual; (b) Fibra moída.



Fonte: Próprios Autores (2021)

2.3 Caracterização dos Agregados

Os agregados, graúdo e miúdo, utilizados na mistura já possuíam suas características determinadas pelo Laboratório de Materiais da Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA, que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades dos materiais utilizados

Areia Natural (média fina)	
Massa específica	2,470 kg/m ³
Massa unitária	1,6556 kg/m ³
Modulo de finura	2,82
Brita 01	
Massa específica	2,770Kg
Massa unitária	1,430Kg/m ³
DMC	19

Fonte: Próprios Autores (2021)

2.4 Produção do concreto

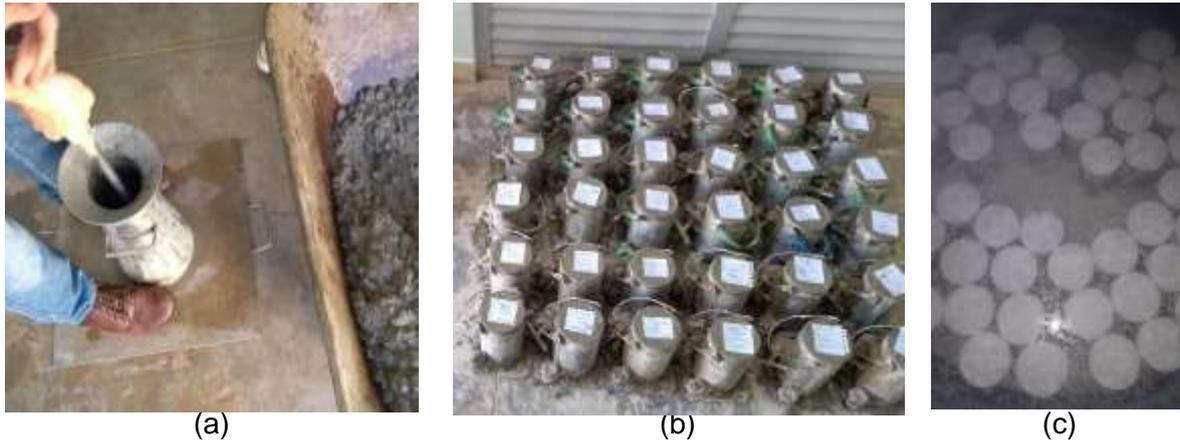
O traço de referência utilizado no programa experimental foi definido a partir do método ABCP (Associação Brasileira Cimento Portland) e sua composição, em massa, foi de 1:1,58:2:0,49 (cimento:areia:brita:água). A dosagem foi definida de modo a atingir os 25 MPa aos 28 dias. Além do traço de referência, outros três traços de concreto foram produzidos com a substituição, em percentual de massa, do cimento pela fibra de lã de rocha preparada. Os materiais constituintes foram misturados em equipamento betoneira com capacidade de 250 litros disponível no laboratório. Foi realizado o teste de abatimento do concreto para verificação da sua trabalhabilidade no estado plástico (Figura 5.a), que foi realizado de acordo com o especificado pela NBR NM 16889 (ABNT, 2020).

Para moldagem dos corpos de prova, foi coletada amostragem de concreto fresco, conforme especifica a NBR NM 16886 (ABNT, 2020). No total foram moldados 144 corpos de prova cilíndricos (Figura 5.b), com dimensões de 10 cm x 20 cm (diâmetro x altura), sendo 12 corpos de prova para cada traço: o de

referência e os com 5%, 10% e 15% de substituição do cimento pela fibra de lã de rocha. Como as idades de rompimento escolhidas foram 7, 28 e 60 dias, foram 48 corpos de prova por idade.

Após o período de cura inicial, os corpos de prova foram desmoldados e permaneceram submersos durante 7, 28 e 60 dias, em processo de cura completa até as datas dos ensaios, (Figura 5.c), conforme estabelece a NBR 5738 (ABNT, 2015).

Figura 5. Produção: (a) Slump Test; (b) Concreto em moldes metálicos; (c) Processo de cura.

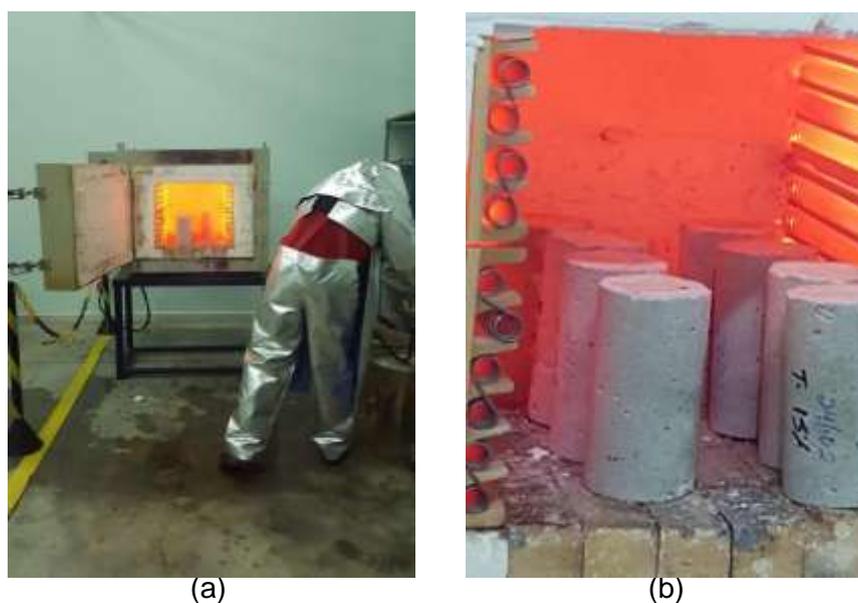


Fonte: Próprios Autores (2021)

2.5 Ensaio de resistência ao fogo e resfriamento

O ensaio de resistência ao fogo foi executado no Laboratório de Mecânica da Universidade Evangélica de Goiás. Para tanto inicialmente o forno mufla (Figura 6.a) foi aquecido à temperatura de 300°C e foram colocados em seu interior oito corpos de prova (Figura 6.b) por 30 minutos. Após a retirada desses corpos de prova do forno, ainda a 300°C, inseriu-se mais oito corpos de prova no mesmo, agora por 60 minutos. Essa sequência foi repetida para as temperaturas de 600°C e 900°C, respectivamente, para cada período de cura: 7, 28 e 60 dias, conforme fluxograma da Figura 1.

Figura 6. Ensaio: (a) Forno mufla; (b) Corpos de prova dentro do forno mufla.



Fonte: Próprios Autores (2021)

Para cada temperatura de ensaio e para cada tempo de permanência dos corpos de prova em mufla foram realizadas duas condições de resfriamento. O objetivo de variar o tipo de resfriamento é avaliar qual confere maior impacto à estrutura de concreto em situação de incêndio e confere maior perda de resistência à compressão para a mesma. A Figura 7.a mostra a realização do resfriamento brusco, com imersão corpo de prova em água à temperatura ambiente imediatamente após sua retirada do forno. Já a Figura 7.b apresenta o resfriamento lento, onde o corpo de prova foi retirado do forno e deixado sobre uma bancada metálica por 24 horas, esfriando por meio de troca de calor com o ambiente.

Figura 7. Resfriamento: (a) Brusco; (b) Lento.



Fonte: Próprios Autores (2021)

2.6 Ensaio de resistência à compressão

A caracterização mecânica do concreto obtido foi realizada através do ensaio de resistência à compressão, regulamentado pela NBR 5739 (ABNT, 1993). Toda análise foi realizada no Laboratório de Materiais e Estruturas Universidade Evangélica de Goiás – UniEVANGÉLICA. Para a realização do referido ensaio o equipamento utilizado foi uma prensa da marca Contenco, apresentada na Figura 8.

Figura 8. Prensa para ensaio de resistência à compressão.



Fonte: Próprios Autores (2021)

2.7 Análise dos dados

Após a realização dos ensaios mecânicos, os resultados foram interpretados com o auxílio de análise de variância ANOVA. Os materiais foram comparados entre si, por meio do teste de Tukey com 5% de probabilidade e análise gráfica das variações para determinação quantitativa e qualitativa do ensaio. O objetivo foi verificar a interferência da fibra de lã de rocha na resistência final do concreto após a exposição à altas temperaturas.

3 Resultados e discussão

Neste tópico serão abordados os resultados obtidos pelos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova após a exposição dos mesmos à elevadas temperaturas. São apresentados nesta sessão os dados do teste de abatimento e a análise visual dos corpos de prova após exposição a altas temperaturas.

3.1 Ensaio de abatimento

Os ensaios de abatimento de tronco de cone, ou slump test, para cada um dos traços avaliados neste trabalho, o de referência e o com as substituições em massa do cimento pela fibra de lã de rocha, foi realizado de acordo com o especificado pela NBR 7223 (ABNT, 1998). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as betonadas, para cada uma delas foram realizadas medições em três regiões diferentes do tronco de cone, conforme apresentado. Em todos os traços analisados, de referência e com as substituições, foi utilizada a mesma relação água/cimento. Desse modo, essa variação no abatimento obtida pode ser explicada, segundo Hübber (2018), pelo fato da presença da fibra de lã de rocha em compósitos cimentícios reduzir a demanda de água para que se obtenham os mesmos valores para os ensaios de abatimento de tronco de cone.

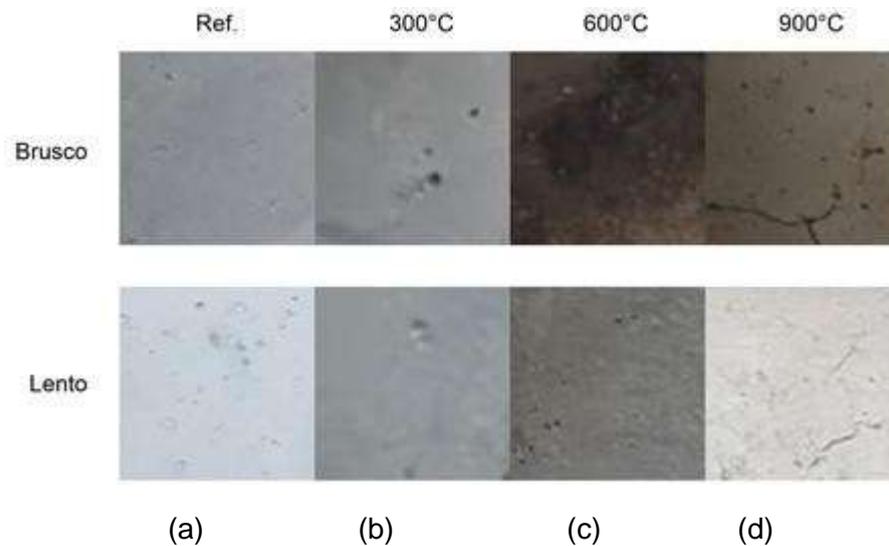
3.2 Análise Visual dos Corpos de Prova submetidos à elevadas temperaturas

Posteriormente à submissão dos corpos de prova ao processo de aquecimento e respectivo resfriamento, foram realizadas verificações visuais para determinar quais os impactos do processo visualmente. Inicialmente observou-se uma alteração na cor dos compósitos, que se deu de acordo com o tempo de exposição dos mesmos e da temperatura a qual foram submetidos. A Figura 09 apresenta essa comparação, de modo que em (a) tem-se a referência de cor do corpo de prova antes do processo de aquecimento para permitir uma melhor visualização das mudanças obtidas.

Os corpos de prova que foram expostos à temperatura de 300°C em ambos os períodos, 30 e 60 minutos, permaneceram com aspectos cinza e sem apresentar fissuras ou outras patologias, para as duas situações de resfriamento (Figura 9.b). Os corpos de prova se apresentam mais escuros para o resfriamento brusco devido a presença da umidade.

Os corpos de prova expostos à temperatura de 600°C apresentaram coloração mais clara com aspecto esbranquiçado após o resfriamento lento, já os corpos de prova levados para o resfriamento brusco desenvolveram manchas cinza escuro, ambas as condições podem ser observadas na Figura 9.c. Nessa temperatura, microfissuras começaram a ser notadas nos corpos de prova após a retirada do processo de aquecimento, para ambas as condições de resfriamento. Analisando os corpos de prova expostos a 900°C (Figura 09.d) pode-se verificar uma coloração branca no processo de resfriamento lento, já aqueles resfriados de forma brusca obtiveram escurecimento completo.

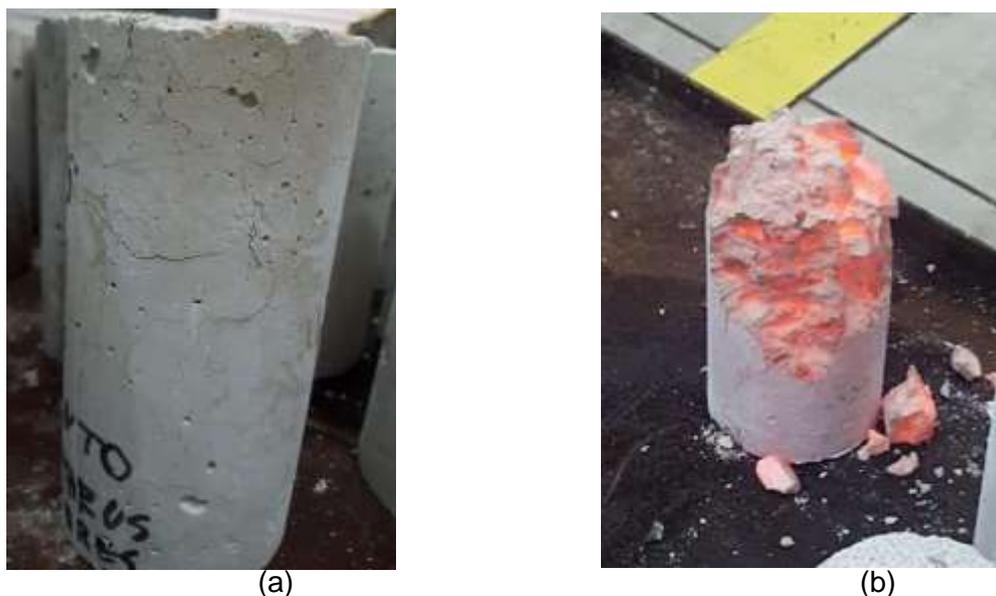
Figura 09. Aspectos Visuais da coloração dos corpos de prova após exposição às temperaturas indicadas.



Fonte [9]: Próprios Autores (2021)

Conforme mencionado, foi possível verificar o aparecimento de fissuras a partir dos ensaios realizados a 600°C, no entanto, sua intensificação se deu a partir dos 900°C. A Figura 10.a apresenta a fissuração dos corpos de prova submetidos a 900°C e resfriamento lento. Para os corpos de prova colocados em resfriamento brusco, a presença de fissuras foi menor. Outro fator a ser ressaltado foi a explosão de alguns corpos de prova, que de modo geral aconteceu para a temperatura de 600°C. Para esses corpos de prova, não foi possível realizar o ensaio de resistência à compressão, uma vez que já estavam rompidos, conforme pode-se observar na Figura 10.b, onde é possível notar o intenso processo de aquecimento interno do corpo de prova.

Figura 10. Aspectos Visuais dos corpos de prova após exposição a 900°C: (a) com resfriamento lento; (b) com rompimento explosivo durante teste de resistência a temperatura.



Fonte: Próprios Autores (2021)

As alterações na coloração externa dos corpos de prova apresentaram aspectos distintos para cada método de resfriamento. Aqueles que passaram pelo processo de resfriamento lento mostraram, com o aumento da temperatura e tempo de exposição, uma cor mais esbranquiçada, enquanto para o resfriamento brusco apresentaram uma coloração acinzentada, corroborando com o relatado por Coelho (2020), Segalin (2018) e Lorenzon (2014). Essa alteração na coloração ocorre devido a modificações físico-químicas dos agregados silicosos, que ao serem submetidos a temperaturas em torno de 300°C ou superiores, o ferro presente, especialmente na areia, oxida fazendo com que haja essa alteração. (ROCHA, 2018)

3.2 Análise dos Resultados para os Ensaios de Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados para as idades de 7, 28 e 60 dias, e após o processo de aquecimento seguido de resfriamento. Os corpos de prova foram direcionados ao rompimento 24 horas após passarem pelo processo de resfriamento, sendo ele brusco ou lento. Para os corpos de prova submetidos a 300°C foi possível observar um desempenho melhor para o resfriamento lento, que obteve, em média, um valor 18,18% maior que aqueles encontrados para o resfriamento brusco, o que assemelha aos resultados encontrados por Segalin (2018) que encontrou uma variação de 17% em suas análises.

Já para os corpos de prova submetidos a 600°C foi possível observar que ocorreram maiores recorrências de explosões, porém assim como observado para os ensaios de 300°C, o resfriamento lento apresentou melhor resistência residual. Enquanto aqueles com apenas 7 dias de cura apresentaram melhores performances durante o teste de compressão, mais uma vez confirmando o relato de Coelho et al. (2020).

Logo, para os corpos de prova submetidos a 900°C foi possível observar que similar às análises anteriores, o resfriamento brusco causou maior deterioração da resistência final do corpo de prova. Para o tempo de exposição de 30 minutos para as idades de 28 e 60 dias obteve-se um ganho de resistência de 46% em média para o resfriamento lento, já para os com 60 minutos de exposição o aumento foi de 12,34%.

4 Conclusão

Para os ensaios abatimento do concreto, também conhecido como *Slump Test*, foi possível observar que a presença da fibra de lã de rocha nos traços, nas quantidades de 5% e 10%, promoveu uma perda de consistência para o material em comparação ao resultado para o traço de referência, nas porcentagens de 22,2 e 4,59%, respectivamente. O traço com 15% de substituição, por sua vez, obteve maior consistência que o de referência em 28,44%. Os valores obtidos para o abatimento em compósitos cimentícios com a presença desse tipo de fibra apresentam um valor de abatimento que é função da quantidade de fibra inserida em sua matriz, uma vez que a fibra de lã de rocha reduz a demanda por água para obtenção dos mesmos valores de abatimento do concreto convencional.

Quanto ao aquecimento que foi realizado nos corpos de prova, foi possível observar que o aumento da temperatura interfere na coloração dos mesmos, em especial quando se realiza como método de resfriamento o brusco, onde o corpo de prova é mergulhado em um tanque após sua retirada do forno. Notou-se que esses corpos de prova passam a apresentar uma coloração mais escura após serem submersos em água. Quanto ao processo de fissuração, claramente as fissuras mais críticas ocorreram nos corpos de prova submetidos a 900°C, o que era esperado, devido a rápida liberação da umidade presente no interior do corpo de prova nessa temperatura.

O tipo de resfriamento empregado após aquecimento interferiu diretamente nas resistências à compressão dos corpos de prova. De modo que o resfriamento lento obteve valores de resistência à compressão, em geral, superiores aos do resfriamento brusco. Outro destaque foi a substituição da fibra de lã de rocha por porcentagem do cimento, que apresentou consideráveis ganhos de resistências, em comparação ao material convencional, com ênfase às substituições de 5% e 10%.

Por fim, foi possível constatar que a utilização da fibra de lã de rocha levou a melhora no desempenho do concreto quando submetido a temperaturas elevadas, apresentando maiores valores de resistência à compressão quando comparado aos corpos de prova de referência, em sua grande maioria.

Sendo essa fibra um material com propriedades que favoreceram a sua incorporação como compósito e tendo ainda uma boa resistência ao fogo, o estudo obteve os resultados esperados quanto ao desempenho durante os ensaios realizados.

De modo geral, ressalta-se os resultados obtidos de ganhos de resistência à compressão com as substituições realizadas variaram para cada idade e tipo de resfriamento, não sendo possível determinar uma porcentagem ideal. Para os 7 dias de cura, por exemplo, a porcentagem que apresentou maior ganho de resistência à compressão foi a de 5% de substituição e resfriamento lento, com 7,04% de aumento em relação ao concreto convencional. Para a idade de 28 dias, a substituição de 10% submetida a resfriamento lento obteve o maior ganho com 7,28% de elevação no valor da resistência. Já aos 60 dias, o melhor resultado foi apresentado pelo corpo de prova com 5% de adição que passou pelo resfriamento lento, com 47,92% de ganho. Na análise, é possível observar que o tipo de resfriamento apresentou grande interferência no resultado final.

Referências

ALVES, E. F. S; et al. **Comportamento do concreto de alto desempenho submetido à temperaturas elevadas utilizando de ensaios não destrutivos e método dos elementos finitos**, 6ª Conferência sobre patologia e reabilitação de edifícios. 2018. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ARAÚJO, M. A. A moderna construção sustentável. **IDHEA-Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica**, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015. 09 p.

_____**NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1993. 09 p.

_____**NBR NM 16886**: Concreto - Amostragem de concreto fresco. Rio de Janeiro, 2020. 05 p.

_____**NBR NM 16889**: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020. 05 p.

_____**NBR NM 16697**: Cimento Portland - Requisitos. Rio de Janeiro, 2018. 12 p.

COELHO, A. R. et al. **Influência do choque térmico por resfriamento brusco do concreto após exposição a elevadas temperaturas em simulação de incêndio**. Revista Matéria, Rio de Janeiro. RJ. v.25, n.1, 2020.

CORRÊA, Lásaro Roberto. **Sustentabilidade na construção civil**. 2009. 70 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Construção Civil, Engenharia de Materiais e Construção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

COSTA, C. N. **Dimensionamento de elementos de concreto armado em situação de incêndio**. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2008.

FERNANDES, R. C. et al. **Estudo dos resíduos de lâ de rocha para a produção de argamassa**. Anais do 58º Congresso Brasileiro do Concreto, 2016. Belo Horizonte, Minas Gerais.

HÜBBE, B. F. **Incorporação de resíduos de lã de rocha e poliestireno em compósitos cimentícios.** Orientador: Prof. Eng. Marcos Marcelino Mazzucco, Dr. 2018. 88 p. Relatório Técnico/Científico (Bacharel em Engenharia Química) - Curso de Engenharia Química da Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, 2018.

LORENZON, A. **Análise da resistência residual do concreto após exposição a altas temperaturas.** 2014. 57 f. Trabalho de conclusão de curso do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, Paraná.

MENDES, H. G. **Isolantes sustentáveis: estudo para viabilidade de fabricação de isolante térmico e acústico a partir dos resíduos de lã de rocha e de poliuretano.** 2017. Modelo de Tese, Relatório Técnico do Curso de Engenharia Química. Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão.

NETO, J. T. S. **Compósito Cimentício Reforçado Com Fibras Poliméricas De Alta Resistência Mecânica.** 2018. 147 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

PEREIRA T. A. C. **Concreto autoadensável, de alta resistência, com baixo consumo de cimento Portland e com adições de fibras de lã de rocha ou poliamida.** 2010. 283 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

ROCHA, R. A. **Efeito da alta temperatura em concretos: uma revisão da literatura.** Revista InterScientia, João Pessoa, PB. v. 6 n. 1 p.(211-227), julho, 2018.

ROSÁRIO, N. SANTANA, C. G. **Eficiência energética como estratégia sustentável na construção civil: Unidade de produção de móveis de MDF.** 2018. Revista do CEDS, São Luís, MA. 23 f.

SILVA, K. D. C. **Avaliação da atividade pozolânica dos resíduos de lã de rocha, fibra de vidro e lã de vidro.** 2016. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

SEGALIN, Z. L. **Influência do modo de resfriamento na resistência à compressão do concreto após exposição a elevadas temperaturas.** 2018. 96 f. Trabalho de conclusão de curso do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Toledo, Paraná.