



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

COMPORTAMENTO NO ESTADO FRESCO DE AGLOMERANTE ALTERNATIVO A BASE DE FRAÇÃO VERMELHA DE RCD, CAL, SÍLICA ATIVA E CIMENTO PORTLAND

**Daniela Fachini (1); Henrique Machado Kroetz (2); José Alberto Cerri (3); Márcia
Silva de Araújo (4)**

(1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais -

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil - e-mail: dfachini@gmail.com

(2) Departamento de Construção Civil - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil -

e-mail: henrique.kroetz@gmail.com

(3) Departamento de Construção Civil e Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Tecnológica

Federal do Paraná, Brasil - e-mail: cerri@utfpr.edu.br

(4) Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil -

e-mail: araujo@utfpr.edu.br

RESUMO

A construção civil é um dos setores que provoca maior impacto ambiental, devido ao elevado consumo de matérias-primas. Durante as diversas etapas da construção, devem ser aprimoradas formas de minimização da geração, e quando possível a introdução dos resíduos no próprio processo ou na unidade de serviço onde este foi gerado. Os entulhos de construção e demolição são materiais compostos de fragmentos ou restos de tijolos, argamassa, concreto, aço, madeiras, gesso, etc. Estes resíduos quando reciclados podem ser utilizados como agregados na produção de argamassas alternativas com propriedades compatíveis e até superiores àquelas apresentadas pelas argamassas convencionais. Entretanto, quando moído, o resíduo se transforma em um material pulverulento, capaz de reagir com a cal e, desta forma, obter aglomerante pozolânico alternativo. Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho e a influência da substituição de parte do cimento Portland CP V ARI por cal hidratada, sílica ativa e a fração vermelha do resíduo de construção e demolição, por meio do tempo de pega. O estudo concluiu que quanto aos tempo de início e fim de pega, as composições com 30% (em massa) de cimento e frações menores que 12% de sílica e entre 12 e 47 % tanto de cal quanto de fração vermelha, são as que têm os valores mais próximos aos da composição referência (somente cimento). Essas composições apresentam potencial como aglomerantes, embora ainda necessitem de análises quanto ao comportamento mecânico.

Palavras-chave: Cimento Portland; resíduos de construção e demolição; aglomerante alternativo.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Resíduos de construção e demolição - RCD

As atuais atividades econômicas são responsáveis pela geração de resíduos, considerados como uma grande fonte de matéria-prima para a produção de novos materiais destinados a construção civil (JOHN, 2003).

A indústria da construção civil exerce impacto significativo sobre a economia de uma nação e, portanto, pequenas alterações nas diversas fases do processo construtivo podem promover mudanças importantes na eficiência ambiental e redução dos gastos operacionais de uma obra (SOARES, 2008).

Quando não se dispõem de uma tecnologia para reaproveitamento de resíduos, certamente este material será disposto de forma inadequada e poderá ocasionar inúmeros problemas ambientais e de saúde pública. A extração de matérias-primas para diversas utilizações, geralmente causa impacto ambiental além do consumo de recursos não renováveis e da geração de desajustes ecológicos (GONÇALVES, 2001).

Os resíduos de construção e demolição, que representam de 13% a 67% em massa dos resíduos sólidos urbanos, tanto no Brasil como no exterior, e cerca de duas a três vezes a massa de resíduos domiciliares (JOHN, 2000), caracterizam-se como um importante resíduo urbano de difícil e oneroso gerenciamento. Os RCD começaram a receber o desenvolvimento de tecnologias de reciclagem verificados em 1940-1950, quando se concentraram as pesquisas sobre o uso de concretos de demolição, para emprego como agregados em novos concretos estruturais (PERA, 1996 *appud* JOHN, 2003).

A reciclagem, segundo John (2003) reduz o volume de resíduos destinados a aterros sanitários e o risco de contaminação do meio ambiente pela disposição sem qualquer controle. Se um resíduo, devido a sua composição química e reatividade em meio aquoso, apresentar condições favoráveis ao endurecimento, poderá ser utilizado como aglomerante.

1.2 Aglomerante alternativo

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido pela moagem do clínquer, juntamente com eventuais adições e sulfato de cálcio, este último com a finalidade de controlar as reações de pega e endurecimento do cimento (MEHTA e MONTEIRO, 1994). As reações químicas que ocorrem pela mistura das matérias-primas no forno de clínquerização geram compostos que quando hidratados dão origem ao processo de endurecimento do cimento. Em geral, a hidratação descreve as reações entre o cimento e a água gerando a produção de um material sólido, a partir de transformações dos compostos químicos desidratados solúveis presentes no cimento em compostos hidratados, principalmente $C_3S_2H_3$ gel e portlandita (STEPKOWSKA *et al.*, 2002).

Para Mehta e Monteiro (1994), uma vez que o cimento Portland é composto de uma mistura heterogênea de vários compostos, o processo de hidratação consiste na ocorrência de reações simultâneas de compostos anidros com água. Contudo, cada composto apresenta a sua velocidade de hidratação.

A cinética de hidratação das fases do cimento é alterada quando partículas inertes, de dimensão similar ou inferior às partículas do ligante, são inseridas no sistema cimentício. As finas partículas do material inerte propiciam pontos extras de nucleação, com precipitação de hidratos sobre a superfície dos grãos do fíler, além do próprio cimento (HOPPE FILHO, 2002).

Adições minerais ao cimento podem alterar sua condição de hidratação. Devido às características físicas e químicas, as adições têm grande influência na geração de calor (LIDUÁRIO, 2007). Segundo Hoppe Filho (2002), tais adições alteram a cinética de hidratação e a evolução da microestrutura, repercutindo nas propriedades intrínsecas de durabilidade do material (no estado endurecido) frente aos mais variados agentes agressivos a que estará exposto o concreto.

1.2.1 Cal

Segundo Mehta e Monteiro (1994), a cal foi usada por gregos e romanos na composição de argamassas para a construção de antigas estruturas, teve suas propriedades aglomerantes potencializadas quando foi combinada com materiais pozolânicos, os quais reagem entre si na presença da água, produzindo um material cimentante e resistente à água.

A cal hidratada apresenta elevada alcalinidade, possibilitando o seu emprego em concretos com altos teores de substituição de cimento por adições minerais. Sua finalidade é prover hidróxido de cálcio para as reações pozolânicas e ainda restabelecer a reserva alcalina do concreto, a qual sofre decréscimo variável dependendo da reatividade e teor de cada adição. Ao reter água, a cal hidratada diminui a disponibilidade desta para a hidratação do cimento, resultando em uma microestrutura mais compacta, com partículas anidras de cimento. Com a liberação progressiva da água, retida pela cal, ao longo do tempo, propiciará uma cura interna do concreto, hidratando as partículas anidras e consequentemente densificando o gel, sem que haja retração excessiva do concreto (HOPPE FILHO, 2002).

1.2.2 *Sílica ativa*

A sílica ativa, subproduto oriundo da fabricação de silício metálico e ligas de ferro-silício, é constituída de partículas muito finas com morfologia de esferas e com diâmetros que podem variar de 0,02 a 0,5 μm (com diâmetro médio de 0,1 μm) e área superficial em torno de 20 m^2/g , onde de 85 a 95% desta sílica apresenta-se sob a forma amorfa, com algumas impurezas, como silício metálico e carbono.

Em composições cimentícias, além de aumentar a resistência mecânica, a sílica ativa tem sido utilizada para aumentar também a compacidade decorrente de reações pozolânicas e do efeito fíler. A reação pozolânica, efeito químico, ocorre devido à interação com o hidróxido de cálcio do cimento, produzindo silicato de cálcio hidratado ($\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$), material resistente e estável, que favorece a durabilidade dos compósitos e argamassas, aumentando a resistência e diminuindo a permeabilidade do sistema devido ao processo de refinamento dos poros (ROMANO *et al.*, 2008); e o efeito físico atua como fíler, que diminui a porosidade total formando uma estrutura mais descontínua de poros, devido às micro-esferas que se alojam nos interstícios da pasta e na zona de transição, preenchendo os macroporos, os poros capilares e os poros de gel (VELASCO, 2002; VASKE *et al.*, 2008).

1.2.3 *Fração vermelha*

Atualmente, agregados reciclados vem recebendo atenção devido ao seu potencial para ser utilizado em estruturas de concreto (OLIVEIRA *et al.*, 2006; LEVY, 2001). Além disso, a diminuição de agregados naturais está levando muitos países a recorrer a agregados reciclados utilizando-os como matéria-prima (ANN *et al.*, 2008). As pesquisas mostram que determinados tipos de resíduos, quando selecionados, apresentam propriedades melhores para determinadas finalidades. Por exemplo, resíduos de tijolos cerâmicos têm ótimos resultados para argamassas, enquanto resíduos de concreto apresentam melhores resultados como agregados reciclados para a produção de concreto (ÂNGULO, 1998).

Quando se menciona a composição do resíduo de construção, deve ser dada atenção às impurezas ou contaminantes (LEITE, 2001). Todos os materiais minerais não inertes, ou quaisquer outros que prejudicam a qualidade de concretos e argamassas produzidos com agregados que os contenham, podem ser considerados como impurezas ou contaminantes (LIMA, 1999). Materiais como solos argilosos, plásticos, resíduos de pavimentos betuminosos, madeira, gesso, refratários, vidros, metais, ou substâncias como cloretos, álcalis e areias industriais quimicamente contaminadas, são consideradas impurezas e podem levar a consequências desastrosas quando incorporadas aos agregados reciclados para produção de novos materiais (HANSEN, 1992 *appud* LEITE, 2001).

As propriedades físicas dos agregados reciclados são fundamentais para definir a resistência mecânica dos agregados e, consequentemente do concreto com eles produzidos. Possivelmente também afetam a durabilidade do concreto, governada pela porosidade (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

2 OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar, por meio do tempo de pega, a influência da substituição de parte do cimento Portland CP-V ARI por cal hidratada, sílica ativa e a fração vermelha do resíduo de construção e demolição.

3 METODOLOGIA

3.1 Matéria-prima

Foram utilizados na pesquisa quatro materiais visando à elaboração de um aglomerante alternativo. São eles: cimento Portland, cal hidratada, sílica ativa e fração vermelha do resíduo de construção e demolição. O cimento Portland foi substituído parcialmente em 70% pelos demais componentes. Esta fração de 70% foi então composta com os demais materiais, variando-se o teor de cada um para que as características das misturas fossem avaliadas.¹

A menor quantidade de cimento presente nas misturas deve-se a utilização da cal presente nas composições. Como a cal também é classificada como um aglomerante e na região existe um Arranjo Produtivo Local (APL) de Cal e Calcário do Paraná, esta seria uma boa opção para a elaboração de um aglomerante alternativo.

3.2 Caracterização da matéria-prima

A fração vermelha apresentava heterogeneidade quando recebida da Usina de Reciclagem da Empresa Ponta Grossa Ambiental. Para a caracterização da distribuição granulométrica de partículas foi empregado o método prescrito na ABNT NBR NM 248/2003. A distribuição granulométrica foi detalhada de forma completa nas peneiras de série normal desde a abertura 4,8 mm até 0,15 mm. Após passar por análise granulométrica foi definida a granulometria para a utilização do resíduo na pesquisa, passante em peneira ABNT nº 30 (0,6mm). Amostras de cimento Portland, cal hidratada e sílica ativa foram utilizadas conforme recebidas do fornecedor. As amostras puras de sílica ativa, cal, cimento (CPV-ARI), e a fração vermelha (FR) passante malha 0,6 mm, foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) que utilizou um analisador de área superficial específica - QUANTACHROME e um Picnômetro de Hélio para a medida de densidade real de sólidos - ULTRACHROME.

Além da amostra referência, composta apenas por cimento Portland, mais 16 composições foram avaliadas quanto aos tempos de início e fim de pega.

3.3 Planejamento experimental

A análise experimental dos resultados foi baseada na ferramenta estatística denominada superfície de resposta, sendo nesse trabalho utilizado o planejamento experimental de modelagem de mistura simplex centróide (BARROS NETO *et al.*, 1995).

Foram elaboradas 16 amostras que se constituíam de misturas de cimento, fração vermelha, cal e sílica ativa, que foram comparadas a uma pasta de cimento (referência). O teor de substituição de cimento por fração vermelha, cal e sílica ativa foi de 70%. As concentrações utilizadas estão apresentadas na Tabela 1. As proporções dos diversos componentes da mistura não são independentes e a soma de todas elas é de 100%.

A partir da quantidade de água utilizada para a mistura dos materiais, conforme a quantidade de água para a consistência normal (ABNT NBR NM 43/2003) foram estabelecidas as relações água/cimento (a/c) e água/aglomerante (a/aglo), considerando como aglomerante todos os componentes da mistura.

3.4 Tempo de início e fim de pega

Para realizar o ensaio de início e fim de pega é necessário realizar a determinação da quantidade de água de referência necessária à obtenção da pasta de consistência normal do cimento Portland e das composições estudadas por meio da ABNT NBR NM 43/2003.

Com a quantidade de água determinada, por tentativas até que a sonda de Tetmajer se situe a uma distância de 5 a 7 mm da placa base, foi preparada a pasta de consistência normal com a água de referência. Os moldes foram preenchidos e então encaminhados para o ensaio de determinação dos tempos de início e fim de pega da pasta de cimento Portland utilizando o aparelho de Vicat, segundo ABNT NBR NM 65/2003.

¹ A identificação das amostras foi feita pela letra inicial da matéria-prima seguida da quantidade (%) de material presente. Exemplo: Amostra 2 contém 47% Cal; 23 % Sílica ativa; 0% Fração vermelha; 30% Cimento Portland - (C47S23F0CPV30)

Tabela 1 - Dosagem (g) das composições estudadas.

Amostra	Composição das Misturas (%)					Relação	
		Cal	Sílica	Fração Vermelha	Cimento - CPV	água / cimento	água / aglomerante*
1	C0S47FV23CPV30	0,0	46,6	23,4	30	2,20	0,66
2	C47S23FV0CPV30	46,6	23,4	0,0	30	1,76	0,53
3	C70S0FV0CPV30	70,0	0,0	0,0	30	1,47	0,44
4	C23S23FV23CPV30	23,4	23,4	23,4	30	1,49	0,45
5	C23S47FV0CPV30	23,4	46,6	0,0	30	2,44	0,73
6	C12S12FV47CPV30	11,6	11,6	46,6	30	1,05	0,32
7	C0S23FV47CPV30	0,0	23,4	46,6	30	1,37	0,41
8	C12S47FV12CPV30	11,6	46,6	11,6	30	2,19	0,66
9	C23S23FV23CPV30	23,4	23,4	23,4	30	1,54	0,46
10	C0S0FV70CPV30	0,0	0,0	70,0	30	0,83	0,25
11	C23S0FV47CPV30	23,4	0,0	46,6	30	0,91	0,27
12	C47S12FV12CPV30	46,6	11,6	11,6	30	1,41	0,42
13	C47S0FV23CPV30	46,6	0,0	23,4	30	1,08	0,32
14	C0S70FV0CPV30	0,0	70,0	0,0	30	2,93	0,88
15	C23S23FV23CPV30	23,4	23,4	23,4	30	1,05	0,31
16	C39S16FV16CPV30	39	16	16	30	1,43	0,47
Referência	C0S0FV0CPV100	0,0	0,0	0,0	100	0,45	0,45

*cal+sílica+fração vermelha+cimento

Trinta minutos após o preenchimento do molde com a pasta normal tiveram início as medições do tempo de pega. De trinta em trinta minutos a agulha do aparelho de Vicat era desprendida e uma medida era gerada. Sucessivas medições foram realizadas a cada trinta minutos até que o tempo foi reduzindo para quinze e posteriormente para cinco minutos entre as medições para que fosse mais preciso o resultado encontrado. Todo o ensaio foi realizado nos laboratórios de materiais da UTFPR.

3.5 Volume aparente

Para cada mistura, as massas dos componentes foram medidas em balança de precisão e colocados em sacos plásticos transparentes identificados com o número da respectiva amostra, em seguida procedeu-se a mistura manual dos compostos até a sua homogeneização. O procedimento foi repetido para todas as dosagens estabelecidas. Posteriormente, as misturas foram transferidas quantitativamente para uma proveta com capacidade para 100 mL e graduação de 1 mL. Em seguida a proveta foi instalada em um suporte com liberdade de movimento vertical com uma altura de queda de 2,5 cm, da qual as composições foram submetidas a quedas livres com 50 impactos de encontro à base do suporte em intervalos de 2 segundos. Concluída a operação, registrou-se a leitura final do volume obtido para cada mistura.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Caracterização das matérias-primas

Na Figura 1 está apresentada a curva granulométrica da amostra de fração vermelha obtida pelo peneiramento.

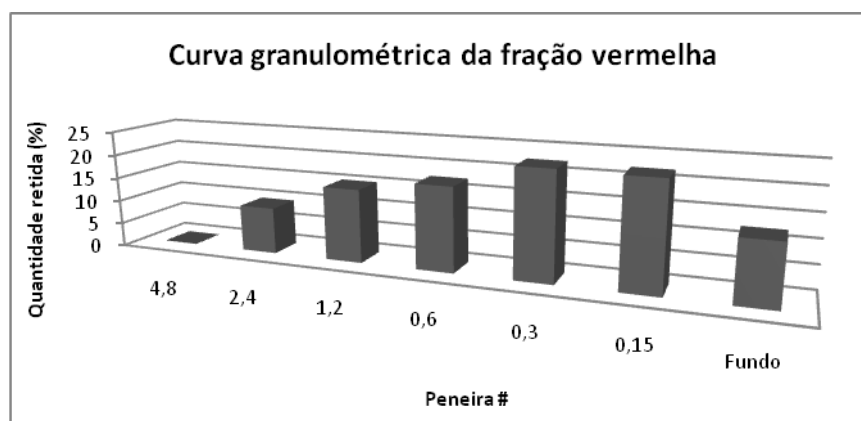


Figura 1- Curva de distribuição granulométrica da fração vermelha.

A partir da granulometria encontrada definiu-se que todo o material que passasse em peneira 0,6 mm seria utilizado no experimento. Essa decisão foi tomada porque a quantidade de material tal como recebido a ser aproveitado seria de 65%. Embora o tamanho médio das partículas da fração vermelha utilizada fosse significativamente maior que os da cal, cimento e sílica, nesse trabalho optou-se por não proceder a moagem da fração vermelha.

Todos os materiais estudados foram analisados quanto a sua densidade e área específica e os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Densidade e área específica da matéria-prima.

Amostra	Densidade (g/cm ³)	Área específica (m ² /g)
Sílica ativa	2,2706	16,9226
Cal	2,4486	9,8845
CPV-ARI	3,0968	6,8060
Fração vermelha	2,6451	11,3100

A partir do ensaio realizado, observa-se que a sílica ativa, seguida pela fração vermelha e a cal, em ordem decrescente, apresentaram área específica superior ao cimento Portland. O cimento, a cal e a sílica são todos passantes em peneira de malha 200 (75 μ m) e a fração vermelha passante em malha com abertura de 600 μ m. Verificando a densidade, o cimento apresentou o maior resultado, seguido da fração vermelha, cal e sílica ativa. O fato do valor da densidade da fração vermelha ser menor que a do cimento é explicado pela maior porosidade das partículas cerâmicas.

4.2 Tempo de início e fim de pega

Durante o ensaio foram acompanhadas as interações ocorridas nas amostras analisadas. As características de cada amostra estão representadas na Figura 2, que ilustram os resultados encontrados com o ensaio dos tempos de início (a) e fim de pega (b). Tanto o início quanto o final de pega tem seus tempos reduzidos com uma sensível diminuição da quantidade de sílica e usando quantidades intermediárias de cal e fração vermelha.

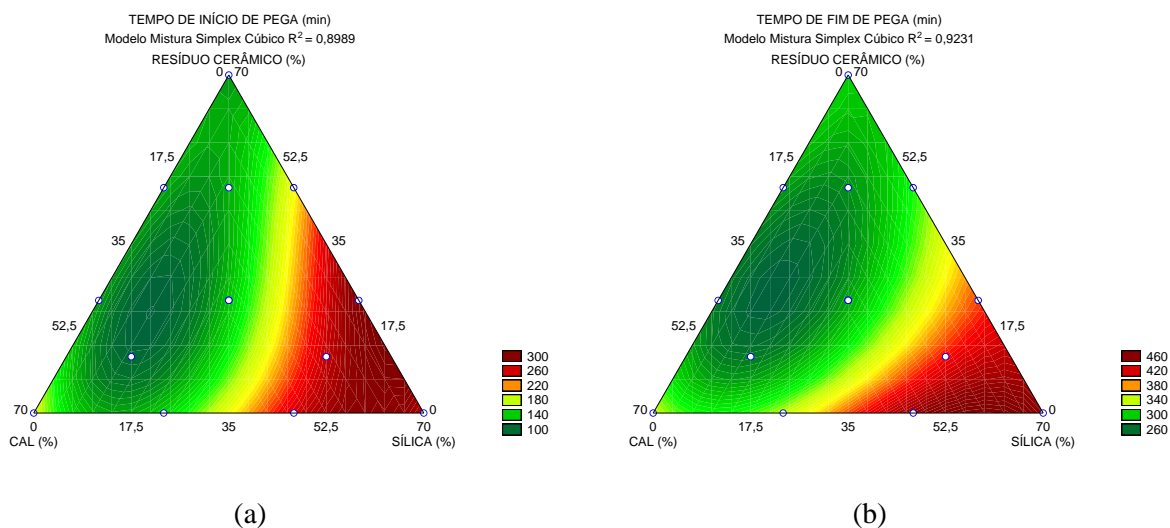


Figura 2 – Curvas de nível com a localização dos pontos amostrais e seus respectivos tempos de início de pega (a) e fim de pega (b).

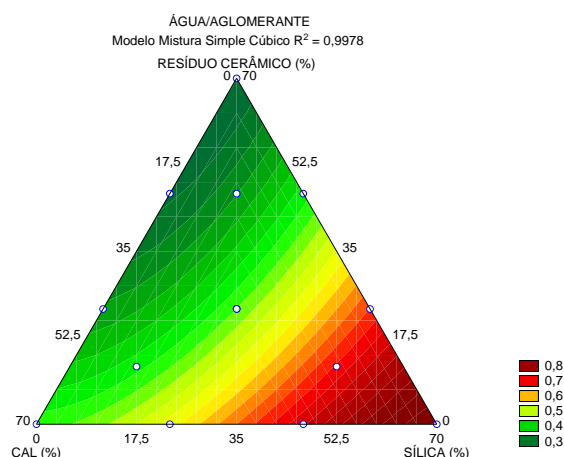


Figura 3 - Curvas de nível com a localização dos pontos amostrais e seus respectivos valores da relação água/aglomerante.

Dentre as amostras estudadas apenas uma apresentou exatamente o mesmo tempo de início e final de pega que a amostra referência (C0S0FV0CPV100), a de número 12 (C47S12FV12CPV30). As que apresentaram tempos de início e final de pega menor do que os da referência foram as de número 6 (C12S12FV47CPV30) e 13 (C47S0FV23CPV30). Observa-se que uma destas amostras não contava com a presença da sílica ativa e a outra a menor quantidade usada na composição. As amostras que apresentam uma maior quantidade de sílica ativa retardaram os tempos de início e fim de pega. As amostras 5 (C23S47FV0CPV30) e 14 (C0S70FV0CPV30) são exemplos deste fato, pois para estas amostras foram observados incrementos de duas horas e meia para o início e quatro horas para que o tempo de pega fosse concluído em relação à mistura referência. Para estas amostras foi também necessária uma quantidade maior de água como pode ser constatado pela Figura 3, pois fazem parte da região vermelha do gráfico. O menor consumo de água foi observado para as amostras com maiores quantidades de fração vermelha.

De modo a dar continuidade aos estudos com um número menor de amostras, foi reduzida a quantidade de sílica ativa e de fração vermelha para um máximo de 47% em vez dos 70% das análises anteriores.

Para cada amostra foi determinada a quantidade de água necessária para existir coesão entre os materiais. Desta forma, o cimento recebeu água suficiente para a sua hidratação e uma quantidade extra de água para que todos os componentes estivessem suficientemente hidratados. É evidente a semelhança das curvas de nível da relação água/aglomerante (Figura 3) e da área específica (Figura 4 (a)), isto se deve ao fato de quanto maior a área específica de um material maior a sua adsorção.

O efeito observado da sílica foi o de aumentar os tempos tanto de início como de fim de pega, quando comparados com a amostra referência. A sílica presente em sistemas à base de cimento Portland, ao reagir com o hidróxido de cálcio oriundo das reações de hidratação dos compostos do cimento, e nesse caso também com a cal adicionada, resulta em silicato de cálcio hidratado (C-S-H) (MEHTA e MONTEIRO, 1994), retardando dessa forma os tempos de pega. Assim, não era de fato esperada uma contribuição da sílica ativa na redução dos tempos de pega.

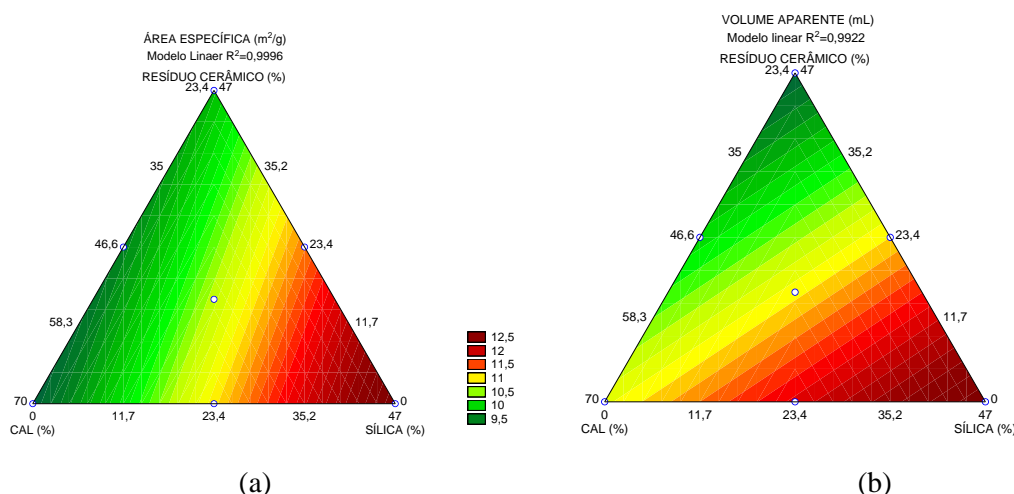


Figura 4 - Curvas de nível e a localização dos pontos amostrais e seus respectivos valores calculados de área específica e volume aparente.

No presente trabalho teores intermediários de cal, entre 12 e 47%, foram as que obtiveram os menores tempos de início e fim de pega. Segundo Quarcione (2008) a cal aprisiona maior volume de água devido a sua área específica dez vezes maior que a do cimento. Desta forma, por conta de um fenômeno de cargas de superfície ocorre à aglomeração das partículas, aumento da viscosidade e diminuição dos tempos de pega. Dependendo da proporção cimento - cal, a cal age de forma diferente influenciando o tempo de pega. Se na proporção 1:1 ela diminui pouco tempo de início da pega, em 1:2 os mesmos tempos de início e fim de pega o cimento são mantidos. O elevado teor de fíler calcário presente age favorecendo a hidratação do cimento.

5 CONCLUSÕES

Avaliando somente os resultados encontrados de início e fim de pega e comparando com a amostra referência, as amostras 6 (C12S12FV47CPV30), 12 (C47S12FV12CPV30) e 13 (C47S0F23CPV30) têm potencial como aglomerante alternativo, embora estudos complementares sejam necessários. As amostras que continham maiores quantidades de sílica ativa aumentaram tanto os tempos de início como de fim de pega. A fração vermelha, apesar de ter sido utilizada com tamanho médio de partículas incompatível com o de aglomerantes, como cal e cimento, a composição 6 com 47%, apresentou tempos tanto de início como fim de pega inferiores ao da composição referência.

6 REFERÊNCIAS

ÂNGULO, S. C. **Produção de concretos de agregados reciclados**. 1998. 84f. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 1998.

ANN, K. Y., MOON; H. Y., KIM; Y. B. and RYOU, J. Durability of recycled aggregate concrete using pozzolanic materials. **Waste Management** 28 (2008) 993–999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 43**: Cimento Portland: determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: Cimento Portland: determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248**: Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BARROS NETO, B. de; SCARMINIO, I.S. e BRUNS, R.E. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas, SP: Editora da UNICAMP, 1995.

GONÇALVES, R. D. C. **Agregados reciclados de resíduos de concreto**: um novo material para dosagens estruturais. 2001. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

HOPPE FILHO, J. **Efeitos da adição de cal hidratada sobre a permeabilidade ao oxigênio e absorção capilar de concreto com altos teores de adições minerais**. 2002. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2002.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil**: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 102 f. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; CINCOTTO, M. A. e SILVA, M. G. Cinzas e aglomerantes alternativos, In: Freire, W.J., Beraldo, A.L. (eds), **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**, 1 ed., capítulo 6, pp. 145-190. Campinas, SP, Editora da UNICAMP, 2003.

JOHN, V. M., ÂNGULO, S. C. e KAHN, H. **Controle da qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização**. Coletânea Habitare - vol. 7 - Construção e Meio Ambiente. Cap. 6. Disponível em: http://habitare.infohab.org.br/publicacoes_coletanea7.aspx. Acesso em: 5 outubro 2008.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. Porto Alegre, 2001. 290p. Tese (Doutorado) - Escola de engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

LEVY, S. M. **Contribuição ao estudo da durabilidade de concretos, produzidos com resíduos de concreto e alvenaria**. 2001. 196 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

LIDUÁRIO, A. S.; BOTASSI, S. S.; VIEIRA, F. L.; GEYER, A. L. B. e ANDRADE, M. A. S. Calor de hidratação do cimento Portland na presença de adições minerais de baixa e alta reatividade. In: **Anais do 49^o Congresso Brasileiro do Concreto - CBC 2007**. Setembro, 2007.

LIMA, J. A. R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. 1999. 246p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994. 573 p.

OLIVEIRA, D. F.; SANTOS, V. S.; LIRA, H. L.; MELO, A. B. e NEVES, G. A. Durabilidade de Compósitos de Concreto de Cimento Portland Produzidos com Agregados Reciclados da Construção Civil. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.1, 2 (2006) 30-36.

PAULA, M. O. **Potencial da cinza do bagaço da cana-de-açúcar como material de substituição parcial de cimento Portland**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2009, vol.13, n.3, pp. 353-357. ISSN 1415-4366.

QUARCIONI, V. A. **Influência da cal hidratada nas idades iniciais da hidratação do cimento Portland - estudo em pasta**. 2008. 188f. Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

ROMANO, R. C. O.; SCHREURS, H.; JOHN, V. M. e PILEGGI, R. G. Influência da técnica de dispersão nas propriedades de sílica ativa. **Cerâmica** [online]. 2008, v. 54, n. 332, pp. 456-461. ISSN 0366-6913.

STEPKOWSKA, E. T.; PEREZ-RODRIGUEZ, J. L.; JIMENEZ DE HARO, M. C. and SAYAGUES, M. J. Study of Hydration of Two Cements of Different Strengths. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 69: 187–204. 2002.

VASKE, N. R.; CAMPAGNOLO, J. L. e DAL MOLIN, D. C. C. Aplicação da argamassa com adição de sílica ativa como material de reforço em elementos comprimidos de concreto. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 3, p. 77-93, jul./set. 2008.

VELASCO, R. V. **Concreto de alto desempenho reforçado com fibras de Polipropileno e sisal submetido a altas temperaturas**. 2002. 132f. Dissertação (Mestrado Ciências Em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

7 AGRACIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a CAPES pela bolsa de mestrado, a Cia. de Cimentos Itambé, a Cal Hidra e a Empresa Ponta Grossa Ambiental pelas matérias-primas utilizadas nesse trabalho.