

ÁREA TEMÁTICA: Ferramentas de Gestão Ambiental

RELAÇÕES SIMBIÓTICAS NA APLICAÇÃO DE COPRODUTO A PARTIR DE RESÍDUO INDUSTRIAL DE POLÍMERO SUPERABSORVENTE E FIBRA CELULÓSICA (PSAR) COMO AGENTE DE CURA INTERNA EM MATRIZES DE CIMENTO PORTLAND

Mateus Essvein Barth (mateusessveinbarth@gmail.com), Carlos Alberto Mendes Moraes (cmoraes@unisinis.br), Vitória da Luz de Souza (vitoriadaluzdesouza@outlook.com), Regina Célia Espinosa Modolo (reginaem@unisinis.br) e Feliciane Andrade Brehm (felicianeb@unisinis.br).

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS

RESUMO

A cura é um dos processos de maior relevância no período pós-concretagem para que o concreto possa obter a resistência mecânica e a durabilidade almejadas. Materiais que possuem capacidade de retenção hídrica e posterior liberação gradual, podem ser eficientes como agentes de cura interna. O estudo tem como objetivo avaliar o potencial mercadológico e as relações simbióticas entre agentes envolvidos na elaboração de um coproduto utilizando reciclagem externa, feito a partir de resíduos industriais de polímero superabsorvente e fibra celulósica (PSAR), para utilização como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland. Para isso, foi feita a caracterização quanto à absorção, estimativa do teor de PSAR nas amostras, o estudo de mercado e as relações simbióticas do ponto de vista técnico, econômico e ambiental entre os agentes envolvidos no desenvolvimento deste coproduto. A diferença de absorção entre os produtos analisados pode ser de até 88,24%. O resíduo de apenas um fabricante seria capaz de atender 6,85% do mercado potencial brasileiro. A unidade de pesquisa faz a intermediação entre praticamente todos os agentes envolvidos. A motivação principal das relações simbióticas, neste caso, é a econômica; as relações técnicas ocorreram como consequência. Há benefícios individuais para os envolvidos, porém os resultados mais significativos são percebidos através da integralidade das relações. As interações, embora motivadas economicamente, possuem potencial de redução de impactos ambientais, reduzindo emissões atmosféricas, consumo de água e geração de resíduos, além de promover alterações positivas no desempenho de matrizes de cimento Portland.

Palavras-chave: Polímero Superabsorvente; Coproduto; Simbiose Industrial.

INDUSTRIAL SYMBIOSIS: BYPRODUCT FROM INDUSTRIAL WASTE OF SUPERABSORBENT POLYMER AND CELLULOSIC FIBER (PSAR) AS AN INTERNAL CURING AGENT IN PORTLAND CEMENT MATRICES

ABSTRACT

Curing is one of the most important processes in the post-concreting period so that the concrete can achieve the desired mechanical strength and durability. Materials that have water retention capacity and subsequent gradual release, can be effective as agents of internal cure. The study aims to evaluate the potential market and symbiotic relationships between agents involved in the elaboration of a byproduct, using external recycling, made from industrial waste of superabsorbent polymer and cellulosic fiber (PSAR), to use as an internal curing agent in Portland cement matrices. For this, the characterization was made regarding the absorption, PSAR estimation in the samples, the market study and the symbiotic relations from the technical, economic and environmental point of view between the agents involved in the development of this byproduct. The absorption difference between the analyzed products can be up to 88.24%. The waste from only one manufacturer would be able to supply 6.85% of the potential Brazilian market. The research unit makes the intermediation

between practically all the agents involved. The main motivation for symbiotic relationships in this case was economic; technical relationships took place consequently. There are individual benefits for those involved, but the most significant results are noticed through the integrality of the relationships. The interactions, although economically motivated, have the potential to reduce environmental impacts, reducing atmospheric emissions, water consumption and waste generation, also promoting positive changes in the performance of Portland cement matrices.

Keywords: Superabsorbent Polymer; Byproduct; Industrial Symbiosis.

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de infraestruturas é intensificada pelo aumento populacional. Apenas no século XX, houve um aumento populacional de 1,5 bilhão para 6 bilhões de pessoas no mundo, com projeção de 9,8 bilhões em 2050. O principal constituinte da fabricação de infraestruturas é o cimento Portland e estima-se que haja um aumento na sua produção entre 1990 e 2050 superior a 500%. O material mais utilizado na construção civil é o concreto: apenas em 2010, houve um consumo mundial de aproximadamente 33 bilhões de toneladas (MEHTA; MONTEIRO, 2014; PRB, 2019). Nas últimas décadas, grandes avanços ocorreram na construção civil, tanto em materiais, quanto em métodos construtivos. Porém, o desenvolvimento de técnicas que visam mitigar a ocorrência de manifestações patológicas que podem comprometer a vida útil da estrutura encontra-se desacelerado perante a atual demanda (KOPPE, 2016).

A cura adequada do concreto é um dos processos de maior relevância no período pós-concretagem, para que o concreto possa obter a resistência mecânica e a durabilidade almejadas. Esse procedimento consiste, basicamente, no provimento de umidade suficiente para que haja a hidratação do cimento, evitando a evaporação da água necessária para as reações de hidratação, permitindo que o material desenvolva as propriedades adequadas (KOPPE, 2016). Contudo, parte das obras realizam esse procedimento por períodos impróprios ou muitas vezes nem o fazem; com isso, características superficiais são comumente afetadas, acarretando o aumento da porosidade do material e, conseqüentemente, conduzindo ao aumento da permeabilidade, da fissuração e da carbonatação (HELENE; LEVY, 2013). Segundo Mehta e Monteiro (2014), sem a execução de cura adequada e mantendo o concreto em ambiente seco, pode acarretar a perda da resistência à compressão em cerca de 50% aos 28 dias quando comparado ao mesmo concreto curado em condições ideais. A fim de combater esses problemas ocasionados pela cura inadequada do concreto, diversos autores vêm estudando a utilização de materiais promissores para emprego como agentes de cura interna: são materiais dotados de capacidade de retenção hídrica que, quando incorporados à matriz cimentícia, liberam a água e promovem a hidratação de dentro para fora.

A primeira utilização dos polímeros superabsorventes (PSA) no setor de construção civil como um agente incorporador de água interna em materiais cimentícios, com foco no combate de retração por secagem, foi proposto por Jensen e Hansen (2001). Com o potencial apresentado pelos autores e o crescente interesse no uso do PSA como um aditivo para materiais cimentícios, um comitê técnico "TC SAP-225" foi criado com a finalidade de estudar a sua utilização, limitações de uso e diversas soluções para problemas encontrados na aplicação deste material (MECHTCHERINE; REINHARDT, 2012).

Entre os estudos encontrados, a utilização do PSA se deu na sua forma comercial. O primeiro trabalho propondo o uso do PSA na sua forma residual foi feito por Gomes (2014), onde o autor apresenta uma caracterização desse resíduo provindo da indústria de fraldas e absorventes. A segunda autora a apresentar a utilização deste material foi Koppe (2016), aplicando em argamassas como agente de cura interna, com resultados promissores quanto ao seu uso no combate à retração e fissuração, contribuindo também para o aumento de resistência em idades mais avançadas.

Segundo Gianneti *et al.* (2003), a ecologia industrial (EI) busca a compreensão das operações que envolvem o sistema industrial e os mecanismos reguladores, bem como as interações que podem ocorrer entre esses e a biosfera. Tem como base o entendimento dos ecossistemas naturais para encontrar formas de reorganização do sistema industrial presente para torná-lo compatível com o meio ambiente. Para Pereira *et al.* (2007), a meta da EI é encontrar estratégias que integrem os

processos industriais ao ecossistema, e tem como fundamento três pilares: o uso sustentável de recursos; a preservação ambiental; e a promoção de equidade intergerações.

Concomitantemente ao surgimento da ecologia industrial, houve novos estudos visando tratar das preocupações ambientais a nível local e regional. Com isso, os conceitos de Simbiose Industrial (SI) foram definidos como uma série de relações simbióticas regionais de longo prazo, na existência de trocas físicas de materiais e energia, podendo envolver intercâmbio de conhecimentos, recursos humanos e técnicos, criando condições mútuas de benefícios ambientais e competitivos (MIRATA; EMTAIRAH, 2005). Segundo Chertow (2000), redes inter-organizacionais tendem a obter mais sucesso através de ações conjuntas do que agindo de forma isolada. Portanto, a SI objetiva o uso da proximidade espacial das atividades industriais em benefício ambiental e instauração de redes de intercâmbios. Para Pereira (2007), a SI está relacionada a três informações essenciais: geográfica, organizacional e sobre processos.

A inter-relação entre essas informações permite os intercâmbios de coprodutos e relações simbióticas, podendo agregar valor ao que até então seriam resíduos (ROCHA, 2010). De acordo com Pereira *et al.* (2007), caso os três pilares sejam satisfeitos, pode-se ocorrer a expansão da rede através de duas informações: a mercadológica e a logística, sendo a mercadológica definida pela relação direta entre oferta e demanda, enquanto a logística é baseada em formas que facilitem o fluxo de materiais.

2 OBJETIVO

Avaliar o potencial mercadológico e as interações entre agentes envolvidos (partes interessadas) na elaboração de um coproduto, utilizando reciclagem externa, produzido a partir de resíduos industriais de polímero superabsorvente e fibra celulósica, para utilização como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland, que possam caracterizar relações simbióticas do ponto de vista ambiental, econômico e tecnológico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A seguir são apresentados os materiais e métodos aplicados nesta pesquisa.

3.1 Materiais

Para compreensão do potencial de aplicação e estimativa da representatividade volumétrica entre possíveis variações de composições do resíduo industrial de polímero superabsorvente e fibra celulósica, foram avaliadas amostras comerciais de fraldas diurnas, absorventes noturnos, absorventes diurnos e protetores diários.

3.2 Métodos

A pesquisa foi dividida em três etapas, tendo a terceira o objetivo de executar a integração de todas as etapas envolvidas e identificação das relações simbióticas.

3.2.1 Compreensão dos Agentes Envolvidos

A primeira etapa do estudo baseia-se em uma pesquisa bibliográfica dos trabalhos já publicados e pesquisas em andamento dentro do mesmo grupo de pesquisa, a fim de compreender a caracterização dos materiais e seu potencial de aplicação como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland, bem como entender as etapas cronológicas que envolveram o desenvolvimento da pesquisa e o conhecimento das empresas e instituições vinculadas.

3.2.2 Caracterização e Estudo de Mercado

Como o resíduo avaliado não é um material homogêneo e sua composição pode sofrer variações conforme a produção, foi avaliada a capacidade de absorção de quatro produtos comerciais distintos, sendo eles: fralda diurna, absorvente noturno, absorvente diurno e protetor diário.

A absorção foi obtida através de método da peneira, que consiste na saturação de uma quantidade conhecida de PSAR e posterior agitação em peneira para remoção da água livre, pesando a água

passante e obtendo a quantidade de água retida. Foram realizados quatro ensaios de absorção para cada tipo de produto avaliado com tempo de hidratação de 30 minutos.

Para determinar a estimativa da quantidade de PSAR presente dentro do total de resíduo gerado, foram pesados os conjuntos de embalagem e PSAR e, posteriormente, o PSAR individualmente, em três unidades de cada um dos quatro produtos. Foi determinada a diferença de massa entre embalagem e PSAR e obtida a média de material absorvente com base nos materiais avaliados.

A quantidade de material necessário para emprego como agente de cura interna foi avaliada conforme o método proposto por Bentz, Lura e Roberts (2005), descrito pela Equação 1. O método determina a quantidade de material absorvente a ser empregado para quando não houver mais água livre na mistura e o “reservatório” interno passe a hidratar as partículas de cimento Portland.

$$M_{LWA} = \frac{cf \times CS \times \alpha_{máx}}{S \times \phi_{LWA}} \quad (1)$$

Os dados de absorção (Φ_{LWA} , em g água/g material seco) utilizados para o cálculo foram os dois extremos encontrados na caracterização quanto à absorção. O consumo de cimento (Cf) foi arbitrado conforme um traço intermediário de concreto (1:4) de 430 kg/m³. O valor de retração química (CS) utilizado foi o mesmo que Bentz, Lura e Roberts (2005), equivalente a 0,07 g água/g cimento. O grau de hidratação ($\alpha_{máx}$) do cimento e saturação (S) do agente de cura interna foi adotado 1, sendo 100% de saturação e 100% do grau de hidratação do cimento, representando as melhores condições para que os cimentos alcancem melhores propriedades estruturais.

Para análise de potencialidade de mercado, foram utilizados os dados de consumo aparente de cimento Portland no Brasil no ano de 2018 (SNIC, 2019), apresentados na Tabela 1. Para estimativa do volume produzido de matriz cimentícia com as quantidades de cimento Portland consumidas, foi arbitrado o consumo de cimento aproximado de um traço de concreto intermediário (1:4) de 430 kg/m³.

Tabela 1. Consumo aparente de cimento em 2018

Região	Consumo Aparente de Cimento (t)
Norte	3.263.089
Nordeste	11.734.856
Centro-Oeste	5.040.099
Sudeste	23.428.678
Sul	9.475.914
Brasil	52.942.636

Fonte: Adaptada de SNIC (2019).

3.2.3 Relações Simbióticas

Nessa etapa, o objetivo foi avaliar qualitativamente os benefícios do ponto de vista econômico, ambiental e tecnológico referentes à utilização do material como agente de cura interna. Os benefícios, bem como as peculiaridades envolvendo a relação entre os agentes envolvidos, também foram levantados.

A análise simbiótica foi abordada envolvendo três questões entre todos os agentes envolvidos, sendo elas: o tipo de relação entre os agentes diretamente envolvidos, o motivo destas relações e o resultado das relações diretas. As vantagens globais provenientes das interações entre agentes também foram levantadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item apresenta os resultados da pesquisa bibliográfica, com os principais resultados técnicos e contextualização da pesquisa, bem como a caracterização do resíduo, a análise de mercado potencial e as relações simbióticas dos agentes envolvidos no desenvolvimento do coproduto.

4.1 Cenário Atual

Foram encontradas duas referências bibliográficas com a utilização do resíduo em estudo como agente de cura interna em matrizes cimentícias, sendo elas duas dissertações: Gomes (2014) e Koppe (2016).

Ambos os estudos utilizaram resíduo da indústria de higiene pessoal, provenientes da mesma fabricante/geradora. O resíduo é composto pelos produtos que não foram aprovados pelo controle de qualidade da empresa fabricante e foram submetidos a processo de descaracterização por uma unidade de reciclagem, separando embalagens do material interno (polímero superabsorvente e fibra celulósica).

A empresa responsável pelo gerenciamento do resíduo, no ano de 2012, buscou auxílio na unidade de pesquisa para desenvolvimento de um coproduto a partir do resíduo contendo PSAR com uma utilização que não fosse para higiene humana. A partir desse momento, iniciaram-se as relações entre unidade de reciclagem e unidade de pesquisa.

Gomes (2014) realizou a caracterização desse resíduo e foi observado que o mesmo possui características importantes para sua utilização como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland. Um dos fatores mais relevantes para aplicação do material para esse fim é sua capacidade de absorção. Neste estudo foi verificado que, com utilização de água deionizada e pH 5, o material absorveu em torno de 40 g água/g resíduo, enquanto em pH 13 houve a absorção de aproximadamente 17 g água/g resíduo. Isso demonstra que pode estar ocorrendo a liberação gradual de água conforme elevação do pH da solução. Ensaios de resistência à compressão em argamassas apontaram um aumento potencial de 7% nesta característica quando comparado a um traço referência sem adição do resíduo.

Koppe (2016) realizou a caracterização do resíduo quanto à absorção de forma adaptada à normativa pela ISO 17190-6:2001, obtendo resultados de 55 g água/g resíduo. O material foi aplicado em matrizes de cimento Portland (pastas e argamassas), utilizando de método para cálculo da quantidade de material necessário para cura interna proposto por Bentz, Lura e Roberts (2005). Analisando a consistência em argamassas, foi possível observar que as matrizes contendo o resíduo tiveram melhor trabalhabilidade que os traços referências sem o resíduo. Não houve variações significativas na resistência à compressão em argamassas. Quanto à retração por secagem, não houve efeito significativo em idades avançadas, porém em idades iniciais foi observada uma redução potencial da retração de 61%. A retração plástica, medida nas primeiras 24 horas, apresentou redução potencial de 85%. A análise da fissuração em estado fresco apresentou redução potencial da fissuração de 98,06% com a utilização do resíduo.

Tanto por Gomes (2014) quanto por Koppe (2016), apenas ensaios envolvendo pastas e argamassas haviam sido desenvolvidos. Para validar os ensaios de bancada, ensaios piloto em concreto são necessários para uma nova etapa, fazendo com que o projeto se conecte a mais dois agentes: unidade de destino e o órgão ambiental. As interligações entre órgão ambiental e unidade de destino foram realizadas por intermédio da unidade de pesquisa.

4.2 Caracterização e Análise de Mercado

A absorção foi avaliada em quatro diferentes produtos de higiene pessoal. Os resultados de absorção podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados de absorção dos produtos

Absorção por Peneiramento						
Material	Amostra	Água Hidratação (g)	PSAR (g)	Água Passante (g)	Absorção (g água/g PSAR)	Absorção Média

						(g água/g PSAR)
Prot. Diário	1	100	0,59	94,2	9,83	9,54
	2	100	0,53	95,1	9,25	
	3	100	0,556	93,6	11,51	
	4	100	0,608	96,6	5,59	
Abs. Diurno	1	200	2,294	139,2	26,50	22,48
	2	200	2,032	157,9	20,72	
	3	200	2,048	170,18	14,56	
	4	100	0,993	75,93	24,24	
Abs. Noturno	1	200	2,178	116,91	38,15	36,26
	2	200	2,349	112,88	37,09	
	3	250	3,061	157,89	30,09	
	4	300	3,899	161,83	35,44	
Fralda Diurna	1	520	4,232	207,1	73,94	81,13
	2	520	4,246	168,5	82,78	
	3	520	5,042	119,3	79,47	
	4	500	3,152	188,7	98,76	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na Tabela 2 é possível observar que a absorção é maior em produtos que são utilizados para retenção de maiores volumes de fluídos. Como todos os produtos são compostos pelos mesmos materiais, fica evidente que o que altera a capacidade de absorção de cada produto é a relação entre polímero superabsorvente e fibra celulósica. O material que menos absorveu foi o protetor diário, absorvendo 9,54 g/g, e o que mais absorveu foi a fralda, com 81,13 g/g.

A capacidade de absorção do material está intimamente relacionada com a quantidade de material a ser inserido em matrizes cimentícias para sua utilização como agente de cura interna. Quanto menor a capacidade de absorção, mais material sólido é necessário para que a quantidade de água seja alcançada. Maiores quantidades de material sólido a serem inseridos podem impactar negativamente nas matrizes cimentícias originadas por conta do excesso de porosidade introduzida, consequentemente podendo reduzir a resistência mecânica e afetar a durabilidade. Questões econômicas e ambientais também podem ser afetadas, pois teriam que ser transportados maiores volumes de material, além de menor disponibilidade e redução da potencialidade de mercado.

Com base no método de cálculo proposto por Bentz, Lura e Roberts (2005) e os parâmetros apresentados no item 3.2.2, variando a capacidade de absorção do agente de cura interna com base nos resultados obtidos para o produto fralda e protetor diário. Aplicando o cálculo, tem-se que, com a absorção do protetor diário, necessita-se de 3,15 kg/m³, enquanto com a fralda precisaria de 0,37 kg/m³.

Para estimar a potencialidade de mercado para uso do agente de cura interna, foi utilizado o consumo aparente de cimento no Brasil no ano de 2018, sendo de 52.942.636 toneladas. Considerando o consumo de cimento de um traço intermediário (1:4) de 430 kg/m³, essa quantidade de cimento é capaz de produzir 123.122.409,3 m³ de matriz cimentícia.

Com base nos dois consumos de PSAR sólido por volume de matriz cimentícia citados anteriormente (3,15 kg/m³ e 0,37 kg/m³), é possível obter as quantidades de PSAR necessárias para atender todo o consumo de cimento brasileiro, considerado aqui como mercado potencial. Caso a absorção de todo PSAR produzido seja a média obtida no protetor diário, seriam necessárias 387.835,59 toneladas de PSAR para atender o mercado brasileiro. No caso de a absorção do PSAR seja a obtida pela média das fraldas diurnas, seriam necessárias 45.555,29 toneladas de PSAR. O conhecimento da capacidade de absorção do PSAR é de fundamental importância, não apenas para saber a quantidade a ser inserida como agente de cura interna em determinado traço de matriz cimentícia, mas também para reconhecer a quantidade de mercado que pode ser atendida com base nas quantidades geradas desse resíduo.

Sabendo que o resíduo gerado na indústria é composto por PSAR e suas respectivas embalagens, foram avaliadas três unidades de cada produto, buscando conhecer a quantidade média de PSAR produzido. Os resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3. Composição dos produtos

Material	Amostra	Massa c/ Embalagem (g)	Massa s/ Embalagem (g)	Massa Média Embalagem (%)	Massa Média PSAR (%)	Total PSAR (%)
Prot. Diário	1	1,83	0,62	68,16	31,84	55,06
	2	1,69	0,52			
	3	1,75	0,54			
Abs. Diurno	1	6,61	3,92	41,19	58,81	
	2	6,62	3,92			
	3	6,58	3,81			
Abs. Noturno	1	10,06	6,59	35,50	64,50	
	2	9,97	6,32			
	3	10,31	6,66			
Fralda diurna	1	30,42	19,22	34,92	65,08	
	2	33,59	22,51			
	3	32,99	21,46			

Fonte: Elaborada pelo autor.

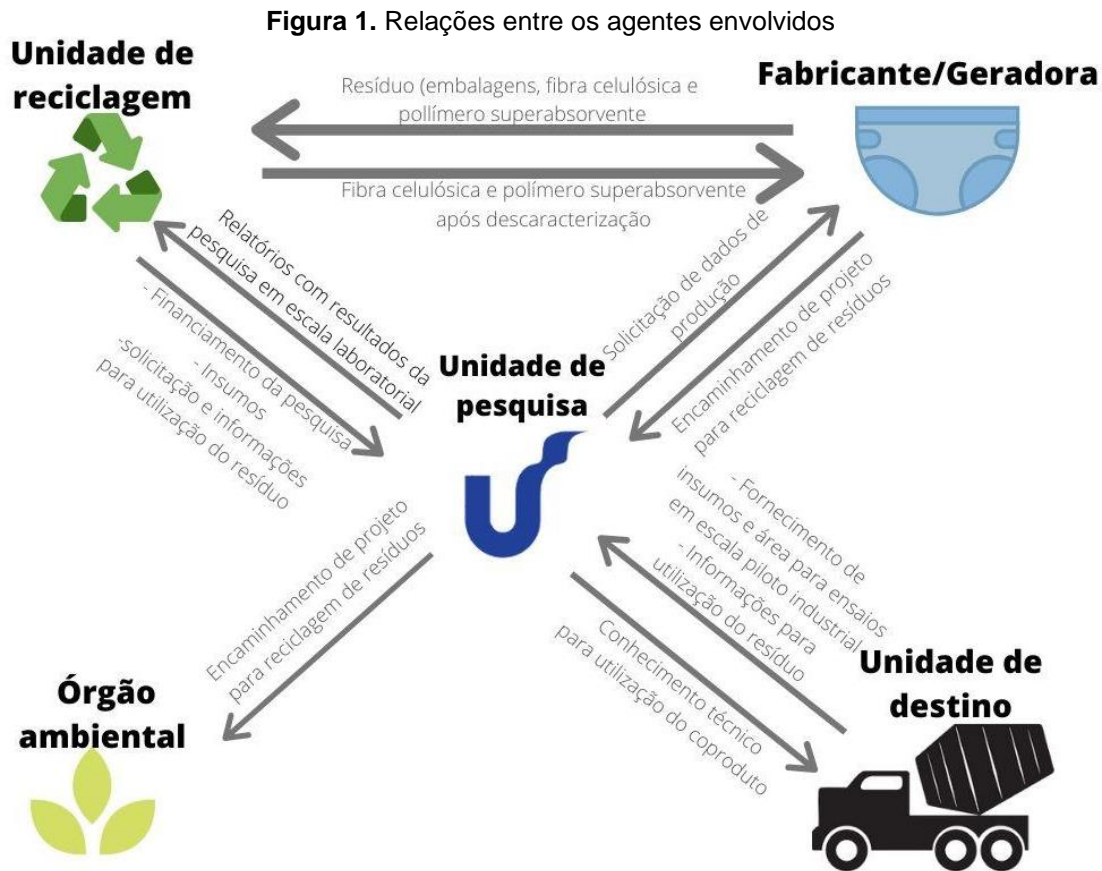
Segundo o relatório de sustentabilidade de um fabricante de materiais de higiene pessoal, em 2015, o somatório de resíduos encaminhados à reciclagem de duas de suas fábricas onde são produzidas fraldas e absorventes foi de 12.349,36 toneladas. Considerando que nesses resíduos haja o PSAR e as embalagens, excluindo a média de massa encontrada para as embalagens, tem-se a estimativa de 6.799,55 toneladas de PSAR apenas por essa fabricante.

Considerando a maior média de absorção obtida entre todos os produtos analisados, caso toda a composição do resíduo se assemelhasse a de uma fralda diurna, apenas os resíduos dessa empresa seriam capazes de suprir aproximadamente 14,92% do mercado potencial como agente de cura interna em matrizes cimentícias. Considerando a média de absorção de todos os produtos analisados (37,35 g/g), esse PSAR seria capaz de suprir aproximadamente 6,85% do mercado potencial brasileiro, representando cerca de 8.433.885,03 m³ de matriz cimentícia.

Ainda segundo o relatório de sustentabilidade da mesma fabricante de materiais de higiene pessoal, no ano de 2015, sua maior unidade produtora de materiais absorventes, situada na região metropolitana de São Paulo, gerou 11.130,39 toneladas de resíduo. Excluindo a massa média das embalagens, tem-se 6.128,39 toneladas de PSAR provenientes apenas dessa unidade fabril. O consumo de cimento aparente no estado de São Paulo no ano de 2018 foi de 10.001.077 toneladas (SNIC, 2019). Considerando o mesmo consumo de cimento para matrizes de cimento Portland citado anteriormente, e a absorção média do PSAR entre os produtos analisados (37,35 g/g), apenas o resíduo gerado nessa indústria é capaz de suprir aproximadamente 32,93% do mercado potencial do estado de São Paulo.

4.3 Relações Simbióticas

Existem relações de simbiose industrial entre todos os agentes envolvidos no desenvolvimento do coproduto proveniente de PSAR. As interações entre os agentes nem sempre ocorrem de forma direta, como visto na Figura 1; porém é possível perceber a presença de um agente central, capaz de intermediar as relações entre praticamente todos os envolvidos: a unidade de pesquisa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste caso, a principal motivação das relações simbióticas foi econômica; as relações técnicas ocorreram como consequência. Há benefícios individuais para os envolvidos, porém os resultados mais significativos são percebidos através da integralidade das relações. As interações, embora motivadas economicamente, possuem potencial de redução de impactos ambientais, reduzindo emissões atmosféricas, consumo de água e geração de resíduos, além de promover alterações positivas no desempenho de matrizes de cimento Portland.

Em relação aos benefícios ambientais e econômicos, é ideal que a descaracterização e valorização do resíduo ocorram próximo à fabricante/geradora, visando menores percursos de transporte, reduzindo as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), menor uso de energia não renovável e menor custo de transporte. Dessa forma, analisando a localização geográfica do fabricante avaliado nesta pesquisa e o mercado potencial onde o coproduto possa ser inserido, em caráter inicial, percebe-se maiores vantagens caso a unidade de reciclagem localize-se no estado de São Paulo.

4.3.1 Unidade Geradora com Unidade de Reciclagem

Relação econômica. A unidade de reciclagem realiza a descaracterização dos resíduos, agregando valor. A parte mais nobre do resíduo – polímero superabsorvente e fibra celulósica - retorna para a geradora, enquanto a parte com menor valor agregado é comercializada pela unidade de reciclagem com terceiros. O motivo das relações entre esses dois agentes além da valorização econômica, é a redução dos volumes de resíduo industrial que poderiam ser encaminhados para disposição final.

4.3.2 Unidade de Reciclagem com Unidade de Pesquisa

Possuem relação econômica e técnica. A unidade de reciclagem percebe potencial do incremento de valorização econômica na parte nobre do resíduo e procura auxílio da unidade de pesquisa. Esta analisa o potencial de desenvolvimento tecnológico, e inicia-se o processo de relação econômica, sendo a unidade de reciclagem a financiadora da pesquisa, tanto por recursos humanos quanto por

insumos de produção. As interações entre esses dois agentes resultam no desenvolvimento de análises laboratoriais com a utilização do PSAR como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland.

4.3.3 Unidade de Pesquisa com Unidade Geradora

Possuem relação técnica. A unidade de pesquisa, por ser o agente central, sistematiza todas as informações técnicas e ambientais necessárias para desenvolvimento e aplicação do coproduto. A unidade de pesquisa faz a intermediação do encaminhamento de projeto para reciclagem do resíduo entre a unidade geradora e o órgão ambiental. Essa interação resulta na liberação pelo órgão ambiental para realização de ensaios em escala piloto-industrial.

4.3.4 Unidade de pesquisa com Unidade de Destino

Possuem relação técnica e econômica. Estes dois agentes iniciaram as interações devido à necessidade de fornecimento de informações ao órgão ambiental quanto à aplicação do coproduto para solicitação de liberação de ensaios em escala piloto-industrial. A unidade de destino do coproduto forneceu área, insumos e tecnologia para aplicação do material. O resultado dessa interação permitiu a solicitação da liberação de ensaios em escala piloto-industrial junto ao órgão ambiental e em caráter futuro pode beneficiar a unidade de destino através da disponibilidade de produto que otimize suas questões industriais, este retorno é proporcionado pela validação científica e tecnológica realizada pela unidade de pesquisa e parceria com os agentes desta rede simbiótica.

4.3.5 Unidade de Pesquisa com Órgão Ambiental

Possuem relação técnica. A unidade de pesquisa funciona como um agente sistemático entre as partes e desenvolvedor dos relatórios técnicos e ambientais para encaminhamento do projeto de reciclagem do resíduo junto ao órgão ambiental, que funciona como agente regulador. O benefício da interação entre as partes está no desenvolvimento e aplicação de soluções tecnicamente viáveis consoantes com as exigências públicas quanto ao atendimento de parâmetros ambientais.

5 CONCLUSÃO

A retração plástica em matrizes de cimento Portland com uso de PSAR como agente de cura interna reduziu em até 85%, assim como a fissuração em estado fresco obteve redução de até 98%.

A separação do produto em embalagem e PSAR apontou que, em média, 55,06% da massa do resíduo é referente ao PSAR. Em média, apenas os resíduos gerados por uma fabricante brasileira seriam suficientes para suprir aproximadamente 6,85% do mercado potencial brasileiro, representando cerca de 8.433.885,03 m³ de matriz cimentícia. Considerando apenas o consumo de cimento do estado de São Paulo e os resíduos de apenas uma unidade geradora dessa mesma região, seria possível atender aproximadamente 32,93% do mercado paulista.

As relações simbióticas que ocorrem entre os agentes envolvidos no desenvolvimento e utilização desse coproduto podem trazer benefícios mútuos, tanto ambientais quanto econômicos. Analisando individualmente essas relações, é possível perceber que o início das interações foi motivado por questões econômicas, e as relações técnicas que vieram a ocorrer foram consequências destas. Os benefícios ambientais são potencializados através da integralidade das interações, reduzindo emissões atmosféricas, consumo de água e, geração e valorização de resíduos sólidos, em especial com o desenvolvimento de um coproduto, além de promover alterações positivas no desempenho de matrizes de cimento Portland.

6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de produtividade em desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora (Autores Feliciane Andrade Brehm e Carlos Alberto Mendes Moraes), Bolsa de produtividade em pesquisa (Autora Regina Célia Espinosa Modolo) e à empresa Plásticos Brandt pela bolsa de mestrado (Autor Mateus Essvein Barth).

REFERÊNCIAS

- BENTZ, B. D. P.; LURA, P.; ROBERTS, J. W. Mixture proportioning for internal curing. **Concrete International**, 2005.
- CHERTOW, M. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and Environment**, v. 25, p. 313-337, 2000.
- FRIEDRICH, S. Superabsorbent Polymers (SAP). *In*: MECHTCHERINE, V., REINHARDT H. W. (Eds.). Application of superabsorbent polymers in concrete construction. **RILEM TC 225-SAP**, Springer, Heidelberg, 2012.
- GIANNETTI, Biagio F.; ALMEIDA, Cecília M. V. B. de; BONILLA, Sílvia H. Implementação de ecotecnologias rumo à ecologia industrial. **RAE Eletrônica**, v. 2, n. 1, jan-jun/2003.
- GOMES, L.M. **Avaliação da potencialidade de resíduo sólido de base celulósica advindo do setor de higiene pessoal testando sua adição em argamassa de revestimento**. São Leopoldo, 2014. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2014.
- HELENE, P. LEVY, S. **Boletín Técnico** – curado del hormigón. Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int. México, 2013.
- JENSEN, O. M., HANSEN P. F. Water entrained cement-based materials – I. Principles and theoretical background. **Cement and Concrete Research**, v. 31, n. 4, p. 647-654, 2001
- KIMBERLY-CLARK BRASIL. **Relatório de sustentabilidade** – 1 de janeiro a 31 de dezembro de 2015. São Paulo: Kimberly-Clark Brasil, 2015. Disponível em: http://www.kimberly-clark.com.br/data/files/relatorio_sustentabilidade/doc/20190312000000_RelatorioSustentabilidade2015.pdf. Acesso em: 20 nov. 2019.
- KOPPE, A. **Utilização de resíduo à base de polímero superabsorvente e fibra celulósica como agente de cura interna em matrizes de cimento Portland**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, p. 162. São Leopoldo, 2016.
- MECHTCHERINE, V., REINHARDT H. W. (Eds.). Application of superabsorbent polymers in concrete construction. **RILEM TC 225-SAP**, Springer, Heidelberg, 2012.
- MEHTA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. 4. ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Education, 2014.
- MIRATA, M.; EMTAIRAH, T. Industrial symbiosis networks and the contribution to environmental innovation: The case of the Landskrona industrial symbiosis programme. **Journal of Cleaner Production** . v. 13, pag. 993-1002, 2005.
- PEREIRA, Alessandro S.; LIMA, Juliana C. F.; RUTKOWSKI, Emilia W. Ecologia industrial, produção e ambiente: uma discussão sobre as abordagens de interconectividade produtiva. **1st International Workshop**, Advances in Cleaner Production, 2007.
- POPULATION REFERENCE BUREAU (PRB). **2019 world population data sheet**. Washington, DC: PRB, 17 set. 2019. Disponível em: <https://www.prb.org/worldpopdata>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- ROCHA, L. K. **A simbiose industrial aplicada na interrelação de empresas e seus stakeholders na cadeia produtiva metal-mecânica na bacia do Rio dos Sinos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo, 2010.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO (SNIC). **Números da indústria**. Rio de Janeiro: SNIC, 2019. Disponível em: <http://snic.org.br/numeros-industria.php>. Acesso em: 10 dez. 2019.