



Estudo da adição de poliestireno sulfonado – PSS, obtido por meio da reciclagem e processamento de copos plásticos, em argamassas cimentícia.

Study of the addition of sulfonate polystyrene, obtained through recycling and processing of plastic cups in cement mortars.

Brasil, A. C. A. ¹; Inacio, G. G. ²

Graduandos, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

Ferreira Junior, E. L. ³

Professor Me., Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil

[1 amandaindio@hotmail.com](mailto:1amandaindio@hotmail.com); [2 gabrielginacio@outlook.com](mailto:2gabrielginacio@outlook.com); [3 epaminondas@pucgoias.edu.br](mailto:3epaminondas@pucgoias.edu.br)

RESUMO: A produção e o consumo de materiais plásticos têm aumentado consideravelmente em todo mundo. Esses materiais de origem não renovável, são rapidamente descartados, gerando uma quantidade relevante de resíduos que impactam de forma significativa o meio ambiente. Dentre os diversos tipos de plásticos, o copo descartável, produzidos dentre outros, a partir do Poliestireno – PS, é responsável, somente no Brasil, pela geração de cerca de 100 mil toneladas anuais, das quais apenas 9% chegam a ser recicladas. Neste trabalho, copos plásticos produzidos a partir de Poliestireno foram reciclados e processados para obtenção de um aditivo a base de Poliestireno Sulfonado – PSS. Esse aditivo foi incorporado à argamassa cimentícia, em teores de 0,5% a 1,5% e a sua influência no incremento de propriedades das argamassas no estado fresco e endurecido foram avaliadas por meio de ensaios de plasticidade, absorção, permeabilidade, resistência mecânica e formação de fissuras. Concluiu-se que o PSS obtido a partir da reciclagem de copos descartáveis, além de uma ação sustentável, pode atuar como aditivo plastificante, refletindo em melhoras nas propriedades de plasticidade, absorção, permeabilidade e resiliência de argamassas cimentícias.

Palavras-chaves: Copos descartáveis, resíduos, Poliestireno Sulfonado, aditivos, argamassas.

ABSTRACT: The production and consumption of plastic materials has increased considerably all over the world. These materials of non-renewable origin are quickly discarded, generating a relevant amount of waste that significantly impacts the environment. Among the various types of plastics, the disposable cup, produced, among others, from Polystyrene – PS, is responsible, in Brazil alone, for the generation of around 100 thousand tons per year, of which only 9% are recycled. In this work, plastic cups produced from Polystyrene were recycled and processed to obtain an additive based on Sulfonated Polystyrene – PSS. This additive was incorporated into the cementitious mortar, at levels from 0.5% to 1.5% and its influence on the increase in the properties of the mortars in the fresh and hardened state were evaluated by means of plasticity, absorption, permeability, mechanical strength tests and crack formation. It was concluded that the PSS obtained from the recycling of disposable cups, in addition to a sustainable action, can act as a plasticizer additive, reflecting in improvements in the plasticity, absorption, permeability and resilience properties of cementitious mortars.

Keywords: plastic cups, waste, sulfonate polystyrene, additive, mortars.

Área de Concentração: 01 – Construção Civil

1 INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado da população, seja ele causado pelo processo de migração do campo para a cidade ou pelo próprio desenvolvimento social, em que tudo que se constrói tem como objetivo facilitar as relações interpessoais e principalmente as relações de consumo, tem impactado na geração diária de milhares de resíduos, ocasionando a degradação do meio ambiente e afetando diretamente a qualidade de vida da população. Para se ter uma ideia, no Brasil, a produção de rejeito per capita é de 1,062 kg, e segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABELPRE (2019), a geração de resíduos tem aumentado a uma taxa de cinco vezes em relação ao aumento populacional.

Dessa forma, a geração e a destinação do rejeito produzido pela sociedade têm se tornado uma preocupação constante do poder público, seja pelo baixo nível de educação ambiental da população, pela ineficiência dos processos de tratamento ou pela insuficiência no espaço urbano para acondicionamento desse rejeito gerado. Assim, políticas públicas para o gerenciamento desses resíduos têm sido adotadas, com foco nas responsabilidades do elemento gerador. No mês de agosto do ano de 2010 foi sancionada a Lei Federal N. 12.305 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e que dispõe, dentre outros assuntos, sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos e as responsabilidades dos geradores e do poder público sobre esses resíduos. Por essa lei, todo material produzido só deve ser encaminhado para a destinação final quando não é possível seu reaproveitamento, seja por meio da reciclagem, da reutilização, da compostagem ou da geração de energia.

Dentre os materiais mais utilizados pela população, e por consequência, de maior quantidade de descarte, estão os plásticos. Há 7 décadas o plástico é produzido para atender as necessidades de consumo, por ser um material de fácil trabalhabilidade, pelas várias possibilidades de aplicação e pelo seu custo bastante acessível, e após o uso, se transforma em um montante considerável de resíduos. Porém, não devemos esquecer que esse material é um derivado do petróleo, de origem natural não renovável; isso significa que é um elemento que se esgota na natureza. Para se ter uma noção quantitativa da presença desse material, apenas em 2015 foram produzidos cerca de 381 milhões de toneladas de plástico diversificado em vários produtos. Dessas 381 milhões de toneladas de plástico, depois de

seu uso, 19,5% são destinados a reciclagem, 25,5% são incinerados e a grande parte, ou seja, 55% são descartados em todo mundo. (BEEGREEN, 2019)

A partir de tais dados, é relevante ressaltar que essas milhares de toneladas de plásticos que viram rejeito, demoram cerca de 400 anos para entrar em processo de decomposição. Assim, é irrefutável afirmar que no decorrer dos anos, o meio ambiente não será capaz de suportar e acondicionar tal escala de produção de resíduos.

Ainda neste contexto, um produto que tem grande utilização no dia a dia das pessoas, é o copo plástico. Por ser um material utilizado visando a higiene pessoal, diariamente, pode ser descartado mais de um copo por uma única pessoa. Para melhor entendimento do montante de rejeito gerado por esse insumo, para cada quilo de rejeito gerado por esse material, aproximadamente 400 copos são descartados na natureza. Dessa forma, o consumo e o descarte de copos plásticos representam uma parcela considerável de resíduos sólidos gerados em uma comunidade. Os descartes de copos plásticos são responsáveis anualmente, somente no Brasil, por 100 mil toneladas de rejeito gerado e dessa quantidade absurda de material, somente 9% chegam a ser recicladas (BEEGREEN, 2018).

Salienta-se que a produção e consumo de materiais plásticos, dentre eles, os copos descartáveis, têm aumentado consideravelmente todos os anos no Brasil e no mundo. Após seu uso, esse material é rapidamente descartado e tem como destino, na maioria das vezes, o rejeito comum, pois ainda não existe uma reciclagem específica para copos descartáveis. Assim, é importante que se adote medidas que possam reduzir a quantidade de copos plásticos ao aterro sanitário, que por consequência poluem o meio ambiente por milhares de anos.

O aproveitamento desse material em algo durável e que possa ser largamente usado em qualquer outra etapa produtiva, deve ser vista como uma ação sustentável. Então, como uma sugestão para reduzir os impactos ambientais causados pela produção de componentes plásticos, este trabalho apresenta uma proposta para reaproveitamento de copos descartáveis de plástico, a partir do aproveitamento do poliestireno – PS; material proveniente de copos plásticos, e que após tratamento químico pode ser incorporado como um aditivo a base de Poliestireno Sulfonado – PSS à argamassa cimentícia, que seja adequado e atenda aos critérios de desempenho para utilização na construção civil.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A geração de resíduo e a importância da reciclagem

É natural que o aumento do rejeito gerado pelo homem, tanto em quantidade quanto em variedade de materiais que o compõe, cresça conforme a população se desenvolve e melhora o acesso ao consumo. No entanto, a expansão do consumo de bens e produtos implicou de forma severa no aumento de resíduos. Prova disso, é que antes da primeira revolução industrial, o rejeito produzido nas residências era composto basicamente de matéria orgânica, e sendo assim, era fácil eliminá-los: bastava enterrar. Além disso, as cidades eram menores e o número da população restrita (SANTOS, 2010). Entretanto a realidade contemporânea é totalmente outra. Devido ao aumento populacional e o novo estilo de vida voltado ao consumo desnordeado, a sociedade moderna vem causando enormes danos ao meio ambiente, tornando a poluição ambiental um dos grandes desafios sociais. Dentre os impactos causados pela geração de resíduos que mais se destaca, tem-se a disposição inadequada dos plásticos, um resíduo sólido não biodegradável. O consumo desse material e seus respectivos impactos no ambiente é tamanho, que para RAMALHO (2009) é conveniente chamar o nosso tempo de Era do Plástico.

A palavra “plástico”, originária do grego *plastikós*, significa adequado à moldagem; trata-se de um material com características de alta flexibilidade, podendo ser facilmente moldado. São materiais produzidos a partir do petróleo, matéria prima bastante explorada no mundo; são baratos, duráveis e versáteis, e sendo assim, facilita a produção e beneficia a sociedade em diversas maneiras. Dessa forma, é notório o porquê a produção mundial de plástico, no final da primeira década desse século, já tenha chegado aos 265 milhões de toneladas (Oliveira, 2012).

Os plásticos se dividem em dois grupos: os termorrígidos, que não se fundem e uma vez moldados e endurecidos não oferecem condições para reciclagens; e os termoplásticos, que se fundem a baixas temperaturas podendo ser moldados, e após o resfriamento recuperam suas propriedades físicas. Esses últimos, correspondem a cerca de 80% dos plásticos consumidos, e são dos tipos:

- PET – Polietileno Tereftalato
- PE – Polietileno (de alta ou baixa densidade – PEAD ou PEBD)
- PVC – Policloreto de Vinila

- PP – Polipropileno;
- PS – Poliestireno
- EVA – Acetato de Vinila
- ABS – Acrilonitrila Butadieno Estireno.

A maioria dos materiais feitos de plásticos são bens não duráveis, e tornam-se resíduos em menos de um ano, ou no pior dos cenários, após um único uso. Como agravante dessa conjuntura de rápida transformação do bem em resíduo, segundo Xavier et al. (2006), o plástico permanece na natureza por longos períodos, por consequência da sua propriedade de pouca degradabilidade. Por isso, para reduzir o impacto dos plásticos no meio ambiente, o gerenciamento deste resíduo é um ponto crescentemente discutido pelos governos, e torna-se contundente a estratégia da reciclagem ser facilmente introduzida nas políticas públicas de gerenciamento do rejeito. É importante ressaltar que no caso do plástico do tipo termoplástico, como é o caso do Poliestireno (PS), a reciclagem se torna tecnicamente um processo simples e viável, já que seu processo possibilita a reedição ou reprodução do material a partir do plástico descartado.

A importância do tratamento e gestão dos resíduos gerados pela sociedade é abordado na própria Constituição brasileira de 1988 (BRASIL, 1988), que em seu artigo 225 descreve:

“... todos tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações...”

Para tanto, a Lei Federal nº 12.305 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos e que trata, dentre outros, dos resíduos plásticos; E a Lei Federal nº 14.026 (BRASIL, 2020) que atualiza o marco legal de saneamento, estabeleceram estratégias para o desenvolvimento sustentável e impôs o sistema de logística reversa, que é um instrumento de desenvolvimento econômico, caracterizado por viabilizar ao setor empresarial a coleta, o reuso e a reciclagem de materiais, desincentivando a disposição em aterros sempre que haja outra destinação mais favorável ao meio ambiente

Neste contexto, a necessidade de reciclar e reutilizar o PS se apoia em um importante dado: segundo Montenegro (2002) a demanda mundial de PS atingiu em 2001, cerca de 10,5 milhões de toneladas e a demanda da América do Sul, em torno de 450 mil toneladas. Este autor relata que embora a América do

Sul não tenha tido um alto índice de consumo desse material, considerando o índice de consumo mundial, essa região apresentou uma alta taxa de crescimento de geração desse resíduo, em cerca de 5,2% ao ano. Para Oliveira (2012) esse valor é bem significativo, especificamente para o Brasil, os valores percentuais relativos à quantidade de plásticos contida nos resíduos urbanos brasileiros são bastante variáveis, podendo ter um mínimo de 7,2% e atingir um máximo de 31,24%.

Tão preocupante quanto a necessidade de gerenciamento dos resíduos plásticos, é a situação da geração de rejeitos na indústria da construção civil. Apesar de que comprovadamente a economia de um país e as atividades da construção civil andam juntas, a indústria da construção civil é uma grande causadora de impactos ambientais, em função da geração de entulhos advindos dos processos construtivos. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, no Brasil, no ano de 2018, a construção civil foi responsável por gerar cerca de 122.012 toneladas/dia de resíduos de construção e demolição.

Neste contexto, está em vigor a Resolução N. 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), que imputa as empresas de construção civil a coleta e destinação do rejeito gerado, conforme categorias instruídas nessa Resolução. Portanto, é um dever de todos que exercem atividades na construção civil buscar maneiras de minimizar a degradação ambiental, seja pelo gerenciamento dos resíduos gerados na própria atividade, quanto pela inclusão nos seus processos, de materiais construtivos que contribuam com o aproveitamento de resíduos advindos de outra natureza, obviamente, desde que a utilização produza materiais que sejam adequados aos critérios de mínimos de desempenho dos sistemas construtivos.

2.2 Argamassas cimentícias e as adições de rejeitos

A argamassa cimentícia consiste de uma mistura homogênea de aglomerante hidráulico (cimento Portland), agregado miúdo (areia natural ou artificial) e água. Por suas propriedades de aderência e enrijecimento, esse material tem como função a união de outros elementos construtivos – argamassa de assentamento, ou ainda de revestir as alvenarias, atribuindo desempenho adequado ao sistema (argamassa de revestimento). Trata-se de um material de fácil trabalhabilidade e que a ela ainda pode ser acrescentado aditivos químicos que auxiliam na

melhora de suas características, tanto no seu estado fresco como no endurecido.

Ao produzir uma argamassa, leva-se em consideração propriedades como: durabilidade, plasticidade, aderência, resiliência, resistência a compressão e à abrasão, dentre outras específicas para cada sistema construtivo.

Carasek (2007) descreve as principais funções da argamassa de revestimento como sendo:

- Proteger a alvenaria e estrutura contra a influência do intemperismo em ambientes externos;
- Regularizar a superfície de vedação e seus elementos, colaborando com o aspecto estético e servindo também como base para acabamentos decorativos;
- Colaborar com o sistema de vedação dos edifícios, contribuindo com diversas funções, como por exemplo: isolamento térmico (~30%), isolamento acústico (~50%), estanqueidade à água (~70% a 100%), resistência ao desgaste e abalos superficiais e segurança ao fogo.

De acordo com Santos (2008), a qualidade da argamassa deve-se tanto as características do material quanto também dos cuidados no preparo e manuseio como: tempo de cura, tempo de utilização, aplicação e acabamento. Tanto que para uma das principais propriedades exigidas para a argamassa, é a capacidade de aderência da argamassa com o substrato no estado fresco (adesividade) advém da influência da condição superficial da mesma, devido a retenção de água, da espessura do revestimento, e da dosagem ou proporcionamento correto do material.

Além dos materiais tradicionalmente utilizados na confecção de argamassas, diversos autores como: Cintra (2011); Faria et. al. (2011); Canova, Bergamsco & Neto (2015), têm estudado formas de inserir em concretos e argamassas cimentícia, materiais provenientes de algum tipo de resíduo, objetivando um melhor desempenho desse compósito, com vistas à sustentabilidade. Plásticos, papel Kraft, pneus, vidros, EPS são alguns dos materiais que ao se tornarem inservíveis, têm sido estudados como composição em dosagens de argamassa. Em todos estes trabalhos, o propósito dos estudos dos autores era de imputar melhorias nas propriedades da argamassa, após a adição de tais compostos alternativos.

Neste contexto, a utilização do Poliestireno Sulfonado – PSS, obtidos a partir da reciclagem e posterior tratamento físico-químico de copos plásticos de Poliestireno (PS), têm sido abordada por alguns autores. Faria et al. (2011) realizaram um estudo sobre a aplicação do copo plástico na argamassa e obtiveram um resultado significativo na plasticidade, resistência potencial de aderência a tração e também na homogeneidade da solução e também constataram que a adição atua como fluidificante do sistema, o que possibilitou uma dispersão de partículas cimentícias de forma mais homogênea. Também, Assunção et al. (2005) concluíram em seu trabalho que o PSS possibilita o aumento da solubilidade do polímero em água, e exerce uma interação mais forte entre as partículas de cimento, resultando em uma pasta de cimento mais homogênea. Royer et al. (2005) demonstraram em seu estudo, que a adsorção do Poliestireno Sulfonado sobre as partículas de cimento melhora a dispersão dos componentes da argamassa, aumentando por conseguinte, a resistência mecânica à compressão do material.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos determinados nesta pesquisa, realizou-se procedimentos experimentais para avaliação física e mecânica de argamassas confeccionadas com de teores variados de aditivo provenientes do processo químico de sulfonação do poliestireno constituinte de copos descartáveis. Tais procedimentos foram divididos nas seguintes etapas:

3.1 – Caracterização dos Materiais

3.1.1 – Coleta do Poliestireno Sulfonado – PSS

Após a coleta, os copos descartáveis foram separados conforme o tipo de plástico utilizado para sua fabricação. Os copos plásticos são fabricados basicamente a partir de dois materiais: de Poliestireno – PS e de Polipropileno – PP. Para diferenciá-los, as embalagens apresentam um código de identificação (normalmente um número de 1 a 7 dentro de um triângulo de três setas, e sob o mesmo uma abreviatura indicando o tipo de plástico constituinte do produto), que é feito para auxiliar sua separação e posterior reciclagem e revalorização. No caso dos copos descartáveis, as iniciais PP e PS são inscritas no fundo do copo (Figuras 1 e 2).

Figura 1 – Identificação do copo de PS



Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 2 – Identificação do copo de PP



Fonte: Próprio Autor (2021).

Concluída a separação, os copos produzidos com Poliestireno - PS passaram por um processo químico para obtenção do Poliestireno Sulfonado – PSS, assim descrito:

3.1.2 – Tratamento químico do PSS

O material separado foi encaminhado para esterilização e lavagem para que não apresentem impurezas que possam interferir nas propriedades da mistura. Após a limpeza inicia-se o processo físico-químico da sulfonação heterogênea, em que o copo é picotado em dimensões de cerca de 8 mm x 2 mm (desconsiderando as bordas e fundo do copo plástico), em porções de 8g (equivalente a 5 copos plásticos) – Figura 3, e imerso em uma solução de 120mL de ácido sulfúrico e 1,6g de sulfato de prata – Figuras 4 a 6. Após aproximadamente 24 horas de reação sob agitação magnética à temperatura ambiente, o produto foi colocado em um

banho de gelo e sal e foi cuidadosamente gotejando água destilada gelada em sua superfície até que se separasse o material borrachoso formado, do solvente. Após esta etapa, a mistura foi colocada em uma estufa por aproximadamente 48 horas, em temperatura de 60°C.

Ao retirar o material da estufa, esse apresentava um formato de gel emborrachado – Figura 7. Para sua solubilização, o material foi coberto por uma solução de NaOH (hidróxido de sódio) e permaneceu em repouso por 24 horas, transformando-se numa solução básica de PH igual a 9 – Figura 8 e de consistência de um líquido viscoso, característico de um aditivo químico produzido industrialmente – Figura 9.

Figura 3 – Copos picados em dimensões de 10 mm



Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 4– Solução do material em ácido sulfúrico e sulfato de prata (0 horas)



8Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 5– Material em solução de ácido sulfúrico e sulfato de prata (ao ligar o misturador por 15 minutos)



Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 6– Solução do material em ácido sulfúrico e sulfato de prata (após as 24 horas)



Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 7– Solução após a mistura de água destilada



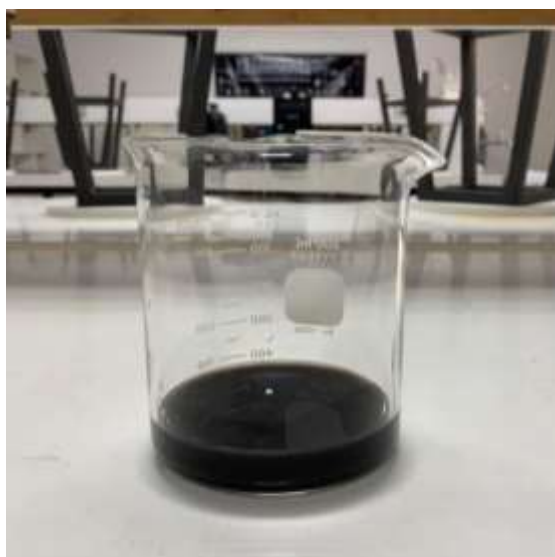
Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 8– Indicador de pH alcalino (9) da solução de PSS



Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 9– Solução de PSS já solubilizada em NaOH



Fonte: Próprio Autor (2021).

Por este procedimento, produz-se 1 kg de aditivo (ou 950 ml do aditivo) com um consumo de 75 g de copos plásticos (equivalente a 42 unidades)

3.1.3 – Agregado miúdo

O agregado miúdo utilizado nessa pesquisa foi uma areia natural de rio, adquirida em uma Loja de Materiais de construção localizada na região de Goiânia. As características do agregado miúdo utilizado nessa pesquisa estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do agregado miúdo utilizado nessa pesquisa

Ensaio	Resultados	Norma Técnica
Massa unitária	1,14	NBR NM 45/2009
Massa específica	2,26	NBR 52/2009
Granulometria		NBR NM 248/2003
D.M.C	1,2	
Modulo de Finura	1,29	

3.1.4 –Aglomerante

O aglomerante utilizado foi um Cimento Portland de Alta Resistencia Inicial – CPV-ARI, adquirido em Loja de Materiais de construção de Goiânia e região, em sacos de 50 quilos, de massa específica de 2,98 g/cm³, determinada conforme NBR NM 23 (ABNT, 2001) e Finura de 1,8%, determinada conforme NBR 11579 (ABNT, 2012).

3.2 – Procedimento Experimental:

3.2.1 – Preparo das argamassas:

Foram preparadas 4 tipos de argamassa com diferentes teores de materiais, assim definidos: ARG I – argamassa padrão, de controle, utilizando o aglomerante e o agregado natural; ARG II – utilizando o aglomerante, agregado natural e 0,5% de adição de PSS em relação à massa de cimento Portland; ARG III – utilizando o aglomerante, agregado natural e 1,0% de adição de PSS em relação à massa de cimento Portland; ARG IV – com aglomerante, agregado natural e 1,5% de adição de PSS em relação à massa de cimento Portland. O traço utilizado foi empírico, na proporção em massa de 1:4 (cimento: agregado). A relação água cimento de 1,36 foi mantida fixa para todas as argamassas em uma quantidade que mesmo variando a consistência, essa se mantivesse dentro do um mínimo aceitável para aplicação do material como revestimento, no caso, de 260 ± 5 mm, conforme preconiza a norma NBR 13.276/2005 – Tabela 2.

Tabela 2 – Dosagem dos materiais (em massa) utilizados nas argamassas

Mistura	Cimento Portland	Areia natural	Adição de PSS (em massa)
ARG I	1	4	0,0%
ARG II	1	4	0,5%
ARG III	1	4	1,0%
ARG IV	1	4	1,5%

3.2.3 – Ensaios Físicos e Mecânicos

O comportamento das misturas de argamassa foi analisado nos estados fresco e endurecido. Para os ensaios no estado fresco, para cada composição de argamassa, foram avaliados os Índice de Consistência (Flow-Table), conforme a norma NBR 13276/2005.

Para avaliação das propriedades no estado endurecido, foram avaliadas as propriedades de resistência a compressão, absorção de água por capilaridade, permeabilidade e a formação de fissuras. Nesses ensaios, as argamassas foram analisadas nas idades de 7, 28 e 56 dias.

3.2.3.1 – Ensaio de Resistência à compressão.

A resistência a compressão das argamassas foi obtida por meio de ensaio de ruptura de corpos cilíndricos de 5 x 10 cm (diâmetro x altura), cuja mistura, adensamento, cura e ruptura foi realizada conforme a NBR 7215 (ABNT, 2019). Para cada idade estabelecida neste trabalho (7, 28 e 56 dias), 4 amostras foram moldadas, rompidas e analisadas.

3.2.3.2 – Ensaio de absorção por capilaridade

O ensaio para a determinação absorção de água por ascensão capilar foi realizado conforme a NBR 9779(ABNT, 1995). Neste ensaio foram moldados 3 corpos de provas cilíndricos (5x10 cm), conforme descrito na NBR 7215(ABNT, 2019). Nas idades previstas para ensaio, as amostras foram secas em uma estufa à uma temperatura de (105 ± 5) °C por um período de 24 horas, registrando a sua massa. Esses corpos de prova foram inseridos em um recipiente com água e foram efetuadas pesagens com 3h, 6h, 24h, 48h e 72h, registrando o seu percentual de absorção. Por fim, as amostras foram rompidas por compressão diametral para a identificação da distribuição de água do seu interior (ascensão capilar) de acordo com a NBR 7222 (ABNT, 2011).

3.2.3.3 – Ensaio de permeabilidade.

O ensaio de permeabilidade foi feito pelo método do cachimbo, prescrito pelo Test Method n° II.4 da RILEM (The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures) e pelo NIT n.140 do CSTC (1998). Esse ensaio permite uma avaliação em laboratório ou “in loco” por meio da análise da quantidade de água que penetra no material em determinado tempo. Para tanto, um painel de alvenaria foi produzido e revestido com

cada um dos tipos de argamassa produzidos (ARG I, II, II e IV). O procedimento consiste na fixação, nesses painéis, de tubos de vidro em forma de L (cachimbo) e o procedimento de ensaio consiste em verificar o volume de água que percola na alvenaria de revestimento, nos intervalos de 5, 10 e 15 minutos. Os pontos de fixação dos dispositivos foram divididos em três regiões: superior, central e inferior, com dois cachimbos por região.

3.2.3.4 – Verificação da formação de fissuras.

Para a verificação das fissuras formadas pela retração da argamassa, foram produzidos 4 painéis de alvenaria de dimensões de 150 x 75 cm x 3 cm (altura x largura x espessura), revestindo cada um com um tipo de argamassas, conforme dosagem indicada na Tabela 1. Os painéis foram submetidos às mesmas condições climáticas (vento, umidade, insolação). Nas idades de 3, 7, 28 e 56 dias, os painéis foram inspecionados visualmente e identificadas as fissuras formadas em cada idade, oportunizando identificar qual dos materiais teve os menores e maiores níveis de fissuração.

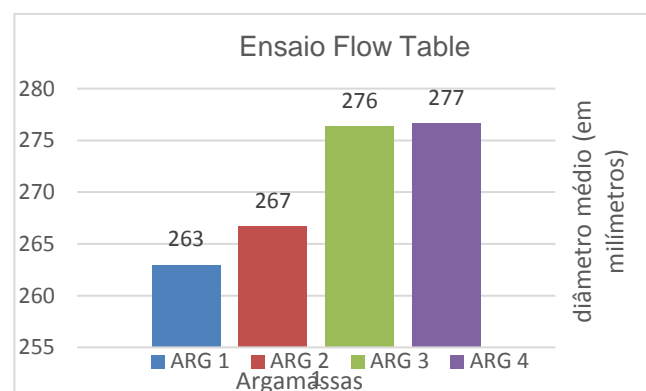
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise e discussão dos ensaios físicos e mecânicos

4.2.1 Análise das propriedades do material no estado fresco

O resultado do índice de consistência está apresentado no Gráfico 1

Gráfico 1 – Índice de consistência da argamassa



A partir dos dados observados no gráfico 1, pode-se perceber que quanto maior o teor do aditivo a base de PSS na mistura, maior foi a medida de sua plasticidade.

Esses resultados obtidos, corroboram com os estudos de Faria et al. (2011) onde também se analisou o índice de

consistência da argamassa pelo método da mesa de fluxo, em que também se concluiu que o uso de PSS como aditivo obtido a partir da sulfonação do PS atuou como fluidificante do sistema, tornando mais homogênea a dispersão de suas partículas, aumentando, portanto, o índice de consistência.

4.2.2 Propriedades do material no estado endurecido

4.2.2.1 Ensaio de resistência a compressão

Para o cálculo da resistência à compressão das amostras, os valores individuais foram submetidos à análise de variância por meio do desvio padrão e o resultado apresentado na tabela 3, em que se apresenta o valor médio de cada tipo de argamassa obtido a partir de 4 amostras rompidas nas idades de 7, 28 e 56 dias.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de resistência a compressão

Mistura	7 dias	28 dias	56 dias
ARGI	5,18	6,26	7,57
ARGII	4,63	5,81	6,98
ARGIII	4,61	5,77	6,72
ARGIV	5,02	6,06	7,41

De acordo com os valores observados, percebe-se que a ARGI, sem a incorporação do aditivo, foi a mistura que apresentou os maiores resultados de resistência à compressão em todas as idades, o que demonstrou que a incorporação do aditivo não produziu efeitos sob o incremento de resistência. No entanto, verifica-se que quanto maior o teor de aditivo incorporado, mais os valores de resistência das argamassas com incorporação desse material, se aproximam da argamassa padrão sem aditivo (ARGI).

Esses resultados corroboram com o estudo de Royer et al. (2005), que demonstra que quanto maior a absorção do Poliestireno Sulfonado sobre as partículas do cimento, melhor a dispersão dos componentes da argamassa, reduzindo a sua porosidade e aumentando assim a sua resistência mecânica. No caso em estudo, a ARGIV, com teor de adição de 1,5% obteve resultados no ensaio de compressão, bem próximos a ARGI.

4.2.2.2 Ensaio de absorção por capilaridade

O ensaio de absorção por capilaridade reflete o comportamento do fluido de percolar através do

material por meio da força capilar. Assim esse ensaio qualitativo, demonstra o quanto a absorção é influenciada pela quantidade de poros formadas pela produção do material.

Os valores percentuais de absorção obtidos nesse estudo são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Resultados percentuais do ensaio de absorção por capilaridade

Mistura	7 dias	28 dias	56 dias
ARGI	22%	18%	17%
ARGII	22%	17%	16%
ARGIII	19%	17%	15%
ARGIV	19%	16%	15%

Assim a partir dos resultados observados, nota-se que as argamassas com adição do PSS, apresentaram os melhores resultados frente a absorção por capilaridade, e então, podemos concluir que quanto maior a concentração do PSS menor é seu percentual de absorção de água em todas as idades, por meio da redução da porosidade, demonstrando uma importante vantagem do uso do PSS, tendo em vista que estanqueidade a água é uma das principais funções da argamassa.

Complementar a aferição qualitativa da absorção capilar, também é verificado nível ou altura da ascensão capilar. Nesse caso, após as 72 horas de imersão de 1 cm da amostra em água, com o intuito de identificar a distribuição de água no interior do corpo de prova as amostras são rompidas diametralmente para verificar a altura de ascensão, produzida pela marca d'água no corpo de prova. Para todos os traços, verificou-se uma ascensão total da água, impossibilitando uma análise comparativa deste quesito sobre as adições incorporadas nas argamassas.

4.1.2.3 Ensaio de permeabilidade

O ensaio de permeabilidade pelo método do cachimbo expressa numericamente a maior ou menor facilidade que a água tem de percolar através da argamassa, o que o torna, juntamente com o ensaio de absorção, um importante parâmetro para verificação da estanqueidade da argamassa. No entanto, os resultados obtidos não se relacionam diretamente com o volume de poros do material, mas com a forma e a interconexão entre os poros, tornando-os mais ou menos permeáveis.

A tabela 5 mostra os resultados do ensaio de permeabilidade, em termos de volume de água percolada na argamassa após 15 minutos, nas idades de 7, 28 e 56 dias.

Tabela 5 – Resultados de permeabilidade aos 15 minutos

Mistura	7 dias (ml)	28 dias (ml)	56 dias (ml)
ARGI	5,2	4,1	4,05
ARGII	5,2	3,9	4,0
ARGIII	3,75	3,2	2,45
ARGIV	3,4	2,1	2,4

De acordo com as medidas expostas na tabela 5, podemos identificar que quanto maior a quantidade de aditivo a base de PSS é incorporado na mistura, melhor seu grau de impermeabilidade. E ainda, que essa redução se acentua com o tempo, demonstrando uma estreita relação da redução dos poros e da conexão entre eles.

4.1.2.4 Análise da formação de fissuras

A análise da formação de fissuras teve como objetivo verificar o comportamento das argamassas frente a deformação provocada pela retração do material.

Em cada uma das idades programadas (7, 29 e 56 dias) uma marcação das fissuras formadas foi registrada em cores diferentes: 7 dias (cor vermelha), 28 dias (cor preta) e 56 dias (cor verde) – Figuras 10 a 13.

Figura 10 – Análise de formação de fissuras (ARGI)



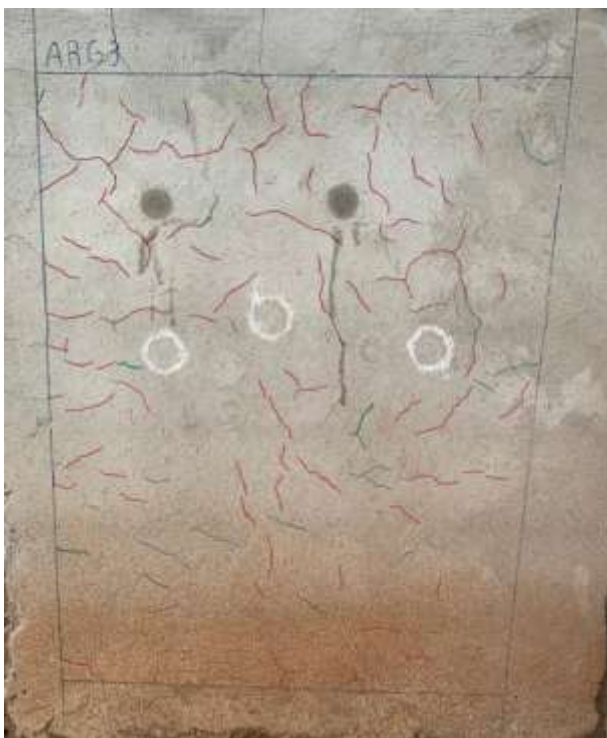
Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 11 – Análise de formação fissuras (ARGII)



Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 12 – Análise de formação de fissuras (ARGIII)



Fonte: Próprio Autor (2021).

Figura 13 – Análise de formação de fissuras (ARGIV)



Fonte: Próprio Autor (2021).

Pelas imagens exibidas, verifica-se que os revestimentos com a incorporação de PSS, em todas as dosagens apresentaram alto grau de fissuração nos primeiros 7 dias (marcações vermelhas). Esse fato, não esperado, até pela avaliação da plasticidade na mesa de fluxo (Flow-table) pode ser traduzido pela variação de

procedimentos de execução do revestimento pelo operário: chapar a massa, comprimí-la sobre o substrato, sarrafejar e desempena-la.

Essa variação e diferença de comportamento esperado, é citada no trabalho de CASCUDO e CARASEK (2007), em que esses autores relatam que método de consistência da mesa não reproduz as condições de aplicação do material como argamassa de revestimento de paredes e tetos, isto é, ele não reproduz o lançamento com elevado impacto, seguido de espalhamento sob intenso cisalhamento.

Após os primeiros dias (7), o que se verificou no decorrer do tempo, é que houve uma melhora substancial na redução de formação de fissuras ao longo do tempo, e que foi tão melhor quanto menor o incremento percentual do aditivo de PSS, demonstrando que nem sempre a melhoria na plasticidade resulta em um melhor desempenho em relação a resiliência do material.

5 CONCLUSÕES

Este estudo analisou propriedades físicas e mecânicas de argamassas com incremento de um aditivo a base de Poliestireno Sulfonado, obtido a partir da reciclagem e beneficiamento de copos plásticos descartados.

Por meio dos dados obtidos e das análises feitas, nota-se que a adição do poliestireno sulfonado é responsável por um aumento da plasticidade da argamassa no estado fresco, atuando como fluidificante do sistema. O incremento desse aditivo também se mostrou eficaz nas características de porosidade do material, resultando em resultados melhores de absorção e permeabilidade, quando comparados à uma argamassa sem adição do aditivo, o que é relevante, visto que porosidade e permeabilidade são fatores importantes no controle da durabilidade do material. No entanto, os resultados demonstraram que a resistência a compressão nas amostras com adição de PSS, mesmo mantendo a mesma relação água/cimento, não tiveram melhor desempenho que a amostra padrão (sem adição), fato que comprova que a propriedade de resistência mecânica não pode ser tomada como parâmetro único de durabilidade.

Assim, a adição de PSS obtido a partir da reciclagem de copos descartáveis, se mostrou eficiente para utilização em argamassas de revestimento, tanto no estado fresco, como no estado endurecido características finais. No

entanto, estudos complementares devem ser conduzidos, a fim de determinar a proporção ideal de adição desse composto, bem como na viabilidade de produção do PSS, considerando o custo dos insumos químicos, custos de coleta, separação e preparação do PS, de modo a garantir o uso sustentável desse resíduo, partindo do princípio que, para as dosagens utilizadas, calculou-se o consumo equivalente de 123 copos plásticos (201,4g) para cada metro cúbico de argamassa utilizada.

6 AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus, que permitiu que nossos objetivos fossem alcançados, e aos amigos e familiares por todo apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização desse trabalho.

Ao nosso Professor: Epaminondas Luiz Ferreira Junior, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com tanta dedicação, proporcionando um melhor desempenho na nossa carreira profissional.

À Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC), essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR 7215: 2019 – **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR 7222: 2011 – **Concreto e Argamassa – Determinação a resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR 13276: 2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR 13277: 2005 – **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 11.579: 2012 – **Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200)**. Rio de Janeiro, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 23: 2001 – **Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 30: 2001 – **Agregado miúdo – Determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 45 – **Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS – NBR NM 52: 2009 – **Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2009.

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

ASSUNÇÃO, R. M. N.; RODRIGUES FILHO, G.; ROYER, B.; OLIVEIRA, J. S.; MOTTA, L. A. C – **Efeito da Aplicação do Poliestireno Sulfonado (PSSNa) como Aditivo em Argamassas e Concretos de Cimento Portland CPV32**. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia. Vol. 15, n.1. p. 63-67, 2005.

BEEGREEN. **O impacto do copo plástico descartável no Meio Ambiente**. Revista Eletrônica. 2018. Disponível em: <https://beegreen.eco.br/impacto-copo-plastico-descartavel/>. Acesso em março de 2021.

BEEGREEN. **Poluição plástica: como o consumo continua poluindo o planeta**. Revista Eletrônica. 2019. Disponível em: <https://beegreen.eco.br/poluicao-plastica-e-consumo/>. Acesso em março de 2021.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988.

BRASIL. **Lei Federal N. 12.305 de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei N. 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: abril de 2021.

BRASIL. **Lei Federal N. 14.026 de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000 e da outras providências. Disponível em

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421> . Acesso em: maio de 2021.

CANOVA, J. A., BERGAMSCO, R., & NETO, G. D. A. **Pó de borracha de pneus inservíveis em argamassa de revestimento.** REEC - Revista Eletrônica De Engenharia Civil, n. 10, 2015. Disponível em <https://doi.org/10.5216/reec.v10i3.32980>. Acesso em abril de 2021.

CARASEK, H. **Materiais de Construção e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais.** São Paulo: IBRACON, 2007.

CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Controle de Produção de Argamassas Industrializadas em Obra Empregando o Método de Penetração do Cone.** 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção, 2007.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION – **Hydrofuges de surface: choix et mise em oeuvre.** Bruxelles. Note D'Information Technique – NIT n. 140, 24 p., 1982.

CINTRA, C. C. **Viabilidade do uso de fibras de papel Kraft provenientes do beneficiamento de embalagens de cimento e cal em argamassas.** Monografia (Especialização em Construção Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307, de 05 de julho de 2002:** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, D, 17 jul. 2002.

FARIA, F. A. C.; GOMIDE, D. D.; VIEIRA, J. V.; RODRIGUES FILHO G.; ASSUNÇÃO R. M. N. E MOTTA, L. A. **Síntese do poliestireno sulfonado a partir de copos plásticos descartados e aplicação em argamassas para melhoria de suas propriedades de aderência.** 11º Congresso Brasileiro de polímeros. Campos do Jordão – SP, 2011.

MONTENEGRO, R. S P.; SERFATY, M. E. **Aspectos gerais do poliestireno.** Ed. BNDES. Rio de Janeiro, 2002.

OLIVEIRA, M. C. B. R. **Gestão de resíduos plásticos pós-consumo: perspectiva para a reciclagem no Brasil.** Dissertação. Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012.

RAMALHO, M. **Plásticos biodegradáveis provenientes da cana de açúcar.** Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo, 2009.

ROYER, B.; ASSUNÇÃO, R. M. N.; RODRIGUES FILHO, G. E MOTTA, L. A. C. **Efeito de aplicação do poliestireno sulfonado (PSSNa) como aditivo em argamassas e concreto de cimento Portland CPV32.** Polímeros: ciência e tecnologia. .v. 15, n.1, p.63-67, 2005.

SANTOS, H. B. **Ensaio de aderências das argamassas para revestimento.** Monografia (Especialização em construção civil) – Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, H. M. M. **Disposição final dos resíduos sólidos em Maringa-PR: impactos e soluções.** Dissertação. Universidade Federal do Paraná. Dezembro, 2010.

XAVIER, L. H.; CARDOSO, R.; MATOS, R. M.; ADISSI, P. J. **Legislação ambiental sobre destinação de resíduos sólidos: o caso das embalagens plásticas pós-consumo.** XIII SIMPEP – Bauru, São Paulo. 6 a 8 de novembro de 2006.

RESOLUÇÃO nº 038/2020 - CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

A estudante **AMANDA CÉSAR AZEVEDO BRASIL** do Curso de **ENGENHARIA CIVIL**, matrícula 2016.2.0025.00221-1, telefone: 62-992076837, e-mail: amandaudio@gmail.com na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autorizam a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **APLICAÇÃO DO POLIESTIRENO-SULFONADO - PSS, OBTIDO POR MEIO DA RECICLAGEM E PROCESSAMENTO DE COPOS PLÁSTICOS DESCARTÁVEIS, EM ADIÇÃO NA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS**, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MOV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 17 de dezembro de 2021.

Assinatura dos autores: → → → Amanda César Azevedo Brasil →
→ → → → → Gabriel Graciano Inácio →

Nome completo dos autores: → → **AMANDA CÉSAR AZEVEDO BRASIL** → →
→ → → → → **GABRIEL GRACIANO INÁCIO** → →

Assinatura do professor orientador: → → Epaminondas Luiz Ferreira Júnior →
Nome completo do professor orientador: **EPAMINONDAS LUIZ FERREIRA JÚNIOR**

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante **GABRIEL GRACIANO INACIO** do Curso de **ENGENHARIA CIVIL**, matrícula **2016.2.0025.0026-0**, telefone: **62-98326-0054** e-mail: **gabriel_messi36@hotmail.com**, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autorizam a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **PLICAÇÃO DO POLIESTIRENO SULFONADO – PSS, OBTIDO POR MEIO DA RECICLAGEM E PROCESSAMENTO DE COPOS PLÁSTICOS DESCARTÁVEIS, EM ADIÇÃO NA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS CIMENTÍCIAS** gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF), Imagem (GIF ou JPEG), Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND), Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 17 de dezembro de 2021.

Assinatura dos autores:

→ → → Amanda César Azevedo Brasil

→ → → → → Gabriel Graciano Inácio

Nome completo dos autores:

→ → → **AMANDA CÉSAR AZEVEDO BRASIL** →

→ → → → → **GABRIEL GRACIANO INÁCIO** →

Assinatura do professor orientador:

→ → Epaminondas Luiz Ferreira Júnior

Nome completo do professor orientador: **EPAMINONDAS LUIZ FERREIRA JÚNIOR**