

TECNOLOGIA DOS MATERIAIS: POLÍMEROS USADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Antônio Armando Torres Garcia¹

Cristiano da Silva Bastos²

Ricardo Oliveira Xavier³

Monica Peixoto Vianna⁴

Engenharia Civil



ISSN IMPRESSO 1980-1777

ISSN ELETRÔNICO 2316-3135

RESUMO

Os polímeros já existiam no mundo antes do surgimento da humanidade, esta aprendeu à utilizá-los para satisfazer suas necessidades, porém foi com a síntese desses elementos em laboratório, que foi permitido ao homem alcançar um elevado desenvolvimento tecnológico, sobretudo na área da construção civil. Este trabalho apresenta uma abordagem atualizada do uso dos polímeros na construção civil, com um maior enfoque nos plásticos, expondo os tipos de polímeros e seus diferentes usos. Posteriormente são descritos três estudos feitos com o objetivo de avaliar a eficácia do reaproveitamento de resíduos poliméricos na construção civil ao mesmo tempo que reduz o impacto ambiental causado pelos mesmos. O primeiro estudo aborda o uso do plástico como componente estrutural, provando ao seu término que ele pode suprir essa função. Já os estudos posteriores testam a eficiência da adição de resíduo de borracha ao asfalto e o uso de poliestireno sulfonado, obtido a partir de copos descartáveis como aditivo no concreto, sendo comprovado em ambos que a adição desses compostos, melhoraram as propriedades responsáveis pela eficácia desses materiais.

PALAVRAS-CHAVE

Polímeros. Civil. Construção. Plástico.

ABSTRACT

The polymers already existed in the world before the advent of humanity, that he learned to use them to meet your needs, but with the synthesis of these elements in the laboratory, which was allowed to man achieve a high technological development, especially in the area of construction. This work presents an updated approach to the use of polymers in construction, with a greater focus on plastics, polymers and their brands exhibiting different uses. Are later described three studies conducted to assess the effectiveness of polymeric waste reuse in construction while reducing environmental impact caused by the same. The first study discusses the use of plastic as a structural component, proving at its end that it can fulfill this function, the subsequent studies testing the effectiveness of adding the asphalt and rubber residue using sulfonated polystyrene, obtained from disposable cups as an additive in concrete, it being proven in both that the addition of these compounds improved the properties responsible for the effectiveness of these materials.

KEYWORDS

Polymers. Civil Construction. Plastic.

1 INTRODUÇÃO

Os polímeros são macromoléculas formadas por monômeros e já existiam no planeta antes do surgimento da humanidade, porém as necessidades e o avanço tecnológico oriundo da revolução industrial, possibilitou ao homem desenvolver polímeros artificiais e alcançar novos horizontes, sobretudo no campo da construção civil (CANEVAROLO, 2002, p. 21).

Esses novos polímeros, diferente dos naturais, possuem uma série de vantagens, podendo destacar entre elas, a alta durabilidade e o uso diversificado, visto que um único polímero pode apresentar propriedades que atendam diversos nichos de mercado, como foi observado na criação da celuloide, que originalmente foi desenvolvido para substituir o marfim, oriundo das presas dos elefantes e até então usado na produção de bolas de bilhar, mas por suas características podem ser empregado na fabricação de dentaduras, filmes fotográficos e colarinhos de camisas.

No entanto, os polímeros sintéticos representam um grande risco ao meio ambiente dada sua alta durabilidade e composição, permanecendo inertes na natureza por períodos que podem superar os milhares de anos. A fim de sanar esse problema novas pesquisas foram iniciadas, buscando um jeito de reduzir o impacto ambiental por meio da reciclagem desses materiais (CANEVAROLO, 2002, p. 21).

Assim surgem ainda no século XX, conceitos como o uso do plástico como componente na alvenaria estrutural, visto que embora os vários tipos de plásticos presentes no mercado atendam uma grande demanda na composição das edificações, sua natureza em virtude das características elásticas ou viscosas não lhe conferia a alta rigidez neces-

sária para as vigas, os mastros ou qualquer outro componente da alvenaria responsável pela sustentação de grandes cargas. Os posteriores estudos desse novo componente irão sanar esse ponto fraco, a fim de torná-lo competitivo em relação aos materiais usuais.

Outro campo a ser explorado será a adição de borracha reciclada na composição da manta asfáltica, o que lhe garantirá uma série de vantagens em relação a sua estrutura além de propiciar um grande avanço na luta em favor do meio ambiente, dado a alta demanda por estradas asfaltadas e a grande quantidade de borracha desperdiçada de maneira irregular.

Ainda haverá um breve estudo sobre os afeitos da aplicação de Poliestireno Sulfonado como aditivo em argamassas e concreto Portland, onde será demonstrado que a atuação desse polímero específico usado na fabricação de sacolas plásticas, copos descartáveis dentre outros nichos, na composição e argamassas e concretos eleva suas características conferindo-lhes maior resistência a compressão, elevada fluidificação, entre outras características que na prática representam uma série e vantagens em relação ao concreto e argamassas tradicionais.

2 HISTÓRIA

O primeiro contato do homem com materiais resinosos e graxos se deu com os egípcios e os romanos, que usavam essas matérias para colar, carimbar documentos ou vedar vasos. No século XVI, espanhóis e portugueses tiveram o primeiro contato com o látex, que quando seco, permitia apagar as marcas de lápis, o que lhe conferiu o nome de borracha. A utilização da borracha foi bastante restrita até Charles Goodyear descobrir em 1839 a vulcanização, que a conferiu as características de elasticidade, durabilidade.

Em 1846, Christian Schonbien, deu origem à nitrocelulose (nitrato de celulose) ao tratar algodão com ácido nítrico, esse foi o primeiro polímero semissintético. Em 1870, quando Marfim originário das presas de elefantes e utilizado na confecção de bolas de bilhar ficou muito caro, iniciou-se uma busca para um substituto, até que John Wesley Hyatt descobriu o celuloide, que passou a ser usado não só para se produzir bolas de bilhar, mas também dentaduras, filmes fotográficos e colarinhos de camisas (HIPOLITO *et al.*, 2013).

O primeiro polímero sintético foi produzido em 1912 por Leo Baekeland por meio da reação do fenol com formaldeído, o que originou a resina fenólica conhecida como baquelite, entretanto, foi na metade do século XX que os polímeros sintéticos se tornaram mais evidentes e de fato revolucionaram o mercado, visto que esses podiam ser processados de maneira barata e em muitos casos suas propriedades superavam a de seus antecessores naturais. Entre os polímeros sintéticos de mais destaque estão os plásticos, que receberam esse nome devido a sua maleabilidade.

O plástico é um material artificial resultado da combinação do carbono com outros elementos orgânicos ou inorgânicos, se apresentando como líquido na sua criação, mas ficando sólido na fase final. Desde então, as pesquisas não pararam e notoriamente novos polímeros assim como os já existentes são melhorados, o que torna que permite que esse material nunca pare de evoluir e surpreender (HIPOLITO *et al.*, 2013).

A palavra polímero origina-se do grego poli (muitos) e mero (unidade de repetição). Assim, um polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) de unidades de repetição denominadas meros, ligadas por ligação covalente. A matéria prima para a produção de um polímero é o monômero, isto é, uma molécula com uma (mono) unidade de repetição. (CANEVAROLO, 2002, p. 21).

Os polímeros podem ser naturais, como o algodão, a madeira e o látex, ou sintéticos como os plásticos e na construção civil, dentre os polímeros naturais a madeira domina por suas várias aplicações, embora possua muitas desvantagens. Já no que tange os sintéticos, o plástico, dada a sua enorme variedade e versatibilidade, dominam e englobam praticamente todos os setores da indústria, substituindo muitas vezes os materiais tradicionais, como a madeira, o aço, o alumínio etc. (HIPOLITO *et al.*, 2013).

3 POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 A MADEIRA

Esse deve ser o polímero mais antigo usado na construção civil, sendo até hoje utilizado para vários fins, desde a alvenaria de vedação, passando por pisos e coberturas e até com função estrutural, essa última deve ser a mais antiga. A madeira ainda é um material bastante utilizado na indústria da construção, dada suas boas propriedades mecânicas, isolamento térmico e acústico etc. No entanto, apesar de ser um material natural e renovável, o desmatamento de florestas para sua obtenção é visto como uma grande ameaça ao meio ambiente e além disso é um material que sofre muita influência do meio externo e sem uma devida preparação, sofrerá desgaste acelerado (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

3.2 OS PLÁSTICOS

Embora os polímeros não se reduzam a somente os plásticos, esses dentro da construção civil, são o de maior atuação, dadas as suas várias opções, esses materiais podem atender toda e qualquer necessidade, visto que por serem sintéticos, são constantemente melhorados e, portanto, não param de evoluir.

4 CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS SINTÉTICOS

Os polímeros, considerando suas propriedades mecânicas, podem ser classificados em 3 grupos:

4.1 TERMOPLÁSTICOS

São plásticos que quando aquecidos até certa temperatura podem ser moldados. Geralmente possuem um ponto de fusão baixo, podendo ser reaquecidos para sua modelagem várias vezes, sendo que quando expostos à temperaturas muito elevadas, podem sofrer danos irreversíveis. Alguns deles são o PVC, PVA, os acrílicos, dentre outros (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

4.2 TERMOFIXOS

São plásticos moldados para uma forma permanente, de modo que uma vez endurecido, não poderá ser alterado. Geralmente possui alta ponto de fusão e o processo de modelagem é reforçado por aditivos químicos. São geralmente plásticos mais rígidos, mas também podem ser frágeis, os mais conhecidos são a baquelite, a ureiaformaldéido, o dracon (poliéster), a resina alquídica, a resina epóxi e as melaminas (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

4.3 ELASTÔMEROS

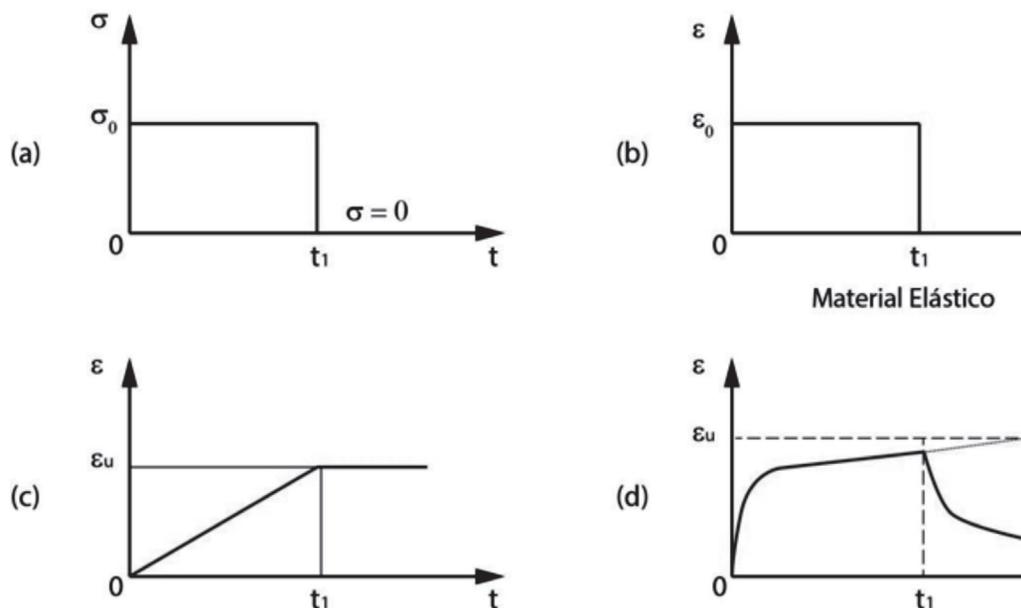
São denominadas borrachas sintéticas, já que podem sofrer elevada deformação, retornando por si só ao seu estado original de maneira integral ou parcial. Os mais utilizados são o neoprene, butyl, teflon, viton, tiocol, SBR, adiprene e o hypalon (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

5 TIPOS DE COMPORTAMENTO DO PLÁSTICO

Para analisar melhor o plástico interage frente as forças nele aplicadas, faz-se necessário testar também, materiais cuja a natureza é puramente elástica, viscoso e é claro o plástico que é viscoelástico, sujeitando-os à uma tensão constante. Essa tensão será aplicada no tempo $t=0$ e mantida até o tempo t_1 (FIGURA 1A) (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Como mostrado na Figura 1b, a resposta da deformação de um corpo-de-prova elástico tem a mesma forma da tensão aplicada. Na aplicação da força, a deformação alcança, instantaneamente, certo valor ϵ_0 e permanece constante (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Figura 1 – Comparação da deformação para os materiais elástico, viscoso e viscoelástico submetidos a uma tensão constante durante o tempo t_1



Fonte: HADDAD (1995).

Para um fluido viscoso – Figura 1c, o material flui a uma taxa constante e a resposta da deformação é proporcional ao tempo (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Já para o corpo-de-prova viscoelástico – Figura 1d, existe um aumento relativamente rápido nas deformações, para pequenos valores de t , imediatamente após a aplicação da força. Com o aumento de t , a inclinação da tangente à curva diminui e aproxima-se de zero ou de um valor finito, mantida uma tensão constante. (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Com a remoção da força no tempo t_1 , as deformações recuperam-se das maneiras mostradas na Figura 1 (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

O sólido perfeitamente elástico recuperar-se-á instantaneamente (figura 1b). Entretanto, com a remoção da força, o corpo-de-prova viscoelástico recuperará rapidamente a sua deformação elástica; no entanto, a parte retardada da resposta necessitará de mais tempo para se recuperar – Figura 1d (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

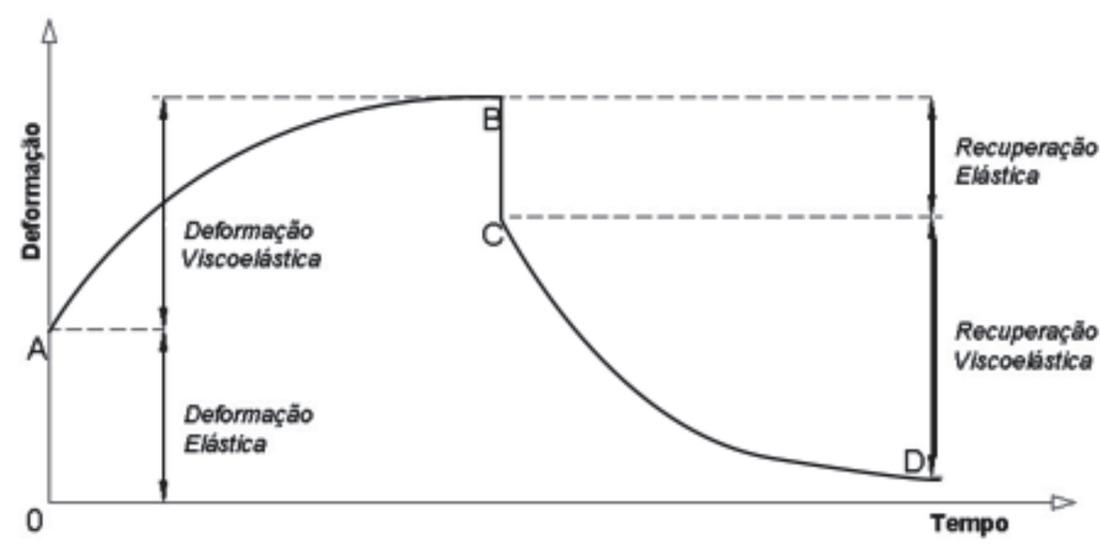
6 PROPRIEDADES MECÂNICAS

Uma particularidade dos plásticos é seu caráter viscoelástico, que lhe confere duas propriedades distintas, dando-lhe as características de líquido viscoso e sólido elástico. Devido à essa natureza, o comportamento do plástico dependerá do tempo, temperatura e da taxa de deformação. Essa última refere-se a capacidade do plástico moldar-se quando uma força de tração ou compressão é aplicada, assim como retornar ao seu estado anterior quando a mesma força é anulada, como exemplo observem a figura 2 (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Vale ressaltar, que o plástico assim como os metais, sofre fadiga e, ao aplicar de maneira cíclica alguma força, pode ser provocada a ruptura do material.

Cabe ainda ressaltar, que essas propriedades irão variar em decorrência de diversos fatores como temperatura (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Figura 2 – Fluência e recuperação de um material plástico



Fonte: Crawford (1987).

Conforme ilustra a Figura 2, quando se aplica uma força, ocorre uma primeira deformação, instantânea, que representa a parcela elástica (intervalo O–A). Com a manutenção das tensões, ocorre o fenômeno da fluência, que aumenta as deformações, representando a parcela viscoelástica (intervalo A–B). A restauração das deformações, quando se descarrega o material, ocorre de maneira similar. Tem-se inicialmente, uma parcela de restauração elástica (intervalo B–C) e, ao longo do tempo, a restauração viscoelástica (intervalo C–D) (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Com base na amostragem, que o material elástico, quando submetido a tensão, sofre uma deformação instantânea, mantendo-a até a remoção da força, quando o mesmo retorna a seu estado original, também de maneira instantânea. Já o fluido viscoso, quando sofre tensão, flui constantemente, mantendo esse tipo de resposta quando a força é removida. O material viscoelástico por sua vez, apresenta uma deformação elástica instantânea até certo momento, consequência de suas propriedades elásticas, passando para uma deformação gradual ou ao longo do tempo em que a força é aplicada.

Quando a força é removida, de maneira acelerada ele se recupera em parte de forma acelerada, enquanto uma outra parte de maneira gradual. Essas aceleração e desaceleração são consequência da natureza dupla do plástico, mas vale ressaltar que a fluidez viscosa, é um componente irreversível da transformação, logo, apresentando uma taxa de recuperação, o material viscoelástico, pode não recuperar totalmente a sua forma original.

7 PRINCIPAIS PLÁSTICOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.

7.1 PVC

O Policloreto de vinilo (PVC), é sem dúvida o plástico mais usado nesse setor, estimase que a indústria da construção civil consuma 60% de todo o PVC produzido no Brasil. O PVC apresenta uma série de vantagens, quando comparado a materiais tradicionais como a madeira, entre elas estão seu custo-benefício, baixa necessidade de manutenção e resistência a corrosão. O PVC é usado principalmente na fabricação de tubulações de água e esgoto, arremates, coberturas entre outros (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.2 FIBRA DE VIDRO

É obtida pela combinação de vidro com resina de poliéster. O resultado é um material que possui resistência superior ao aço, madeira e ao alumínio. É utilizado na fabricação de pisos, pias, banheiras além servir como reforço para plásticos e como armadura no concreto armado, aumentando suas respectivas resistências (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.3 ACRÍLICO

Também conhecido como vidro acrílico, o polimetil-metacrilato (PMMA) é um material termoplástico rígido e incolor. Sendo considerado um dos plásticos de maior qualidade na construção, possui como principal característica sua transparência aliada a alta resistência e maleabilidade, é largamente empregado na fabricação de materiais luminosos, portas de box, paredes divisórias entre outros (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.4 RESINA EPÓXI

É um tipo de resina, que pode apresentar vários comportamentos, indo da resina líquida até um sólido termorrígido. Adquiriu sua importância com o tempo, sendo essencialmente utilizada em pisos industriais. São atualmente utilizadas como selantes, adesivos, revestimentos etc. (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.5 HYPALON E NEOPRENE

São elastômeros usados na para impermeabilização e apresentam elasticidade e resistência à luz solar e ao calor (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.6 NYLON

É um dos plásticos mais nobres que existem dada suas excelentes qualidades, que podem ser reforçadas com a adição da fibra de vidro. São usados em telhas, buchas e até substituem ferragens em dobradiças (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.7 RESINAS ALQUÍDICAS, FENÓLICAS E VINÍLICAS

Essas resinas são largamente utilizadas na indústria, pela alta resistência térmica e estabilidade química. São usadas na fabricação de tintas e vernizes, usados como revestimentos em pisos, madeiras e laminados plásticos (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.8 POLIETILENO

É um termoplástico, que se apresenta como transparente ou opaco, com propriedades que variam em função da temperatura e de como foi constituído, já que pode possuir densidades muito distintas de acordo com sua aplicação. É usado usualmente na forma de folhas em rolos para revestimentos e vedações (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.9 POLIESTIRENO

O Poliestireno é termoplástico duro e cristalino, mas também apresenta versão no formato de espuma usada para isolamento acústico em coberturas. Pela sua transparência também é usado em equipamentos luminosos de baixo custo (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.10 POLICARBONATO

Sendo mais leve que o vidro, possui alta transparência e resistência à impactos. É usado onde se exige luz natural como substituto do vidro, já que possui 89% de transparência e resistência 200% superior a seu concorrente (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

7.11 SILICONES

Os silicones são quimicamente inertes, possuem resistência ao calor e a água, além de um excelente isolante elétrico. Apresenta-se na indústria como fluidos, resinas ou borrachas. São aplicados na construção civil como selantes, hidrofugantes e aditivos. Como selante é usado para a vedação. Já como hidrofugantes é utilizado como impermeabilizante em alvenarias. Como aditivo é adicionado a tintas e outros compostos aumentando sua aderência e resistência à intemperes (KONAGANO; LIMA; ROCHA, 2012).

8 OS POLÍMEROS E O MEIO AMBIENTE

O surgimento dos polímeros sintéticos permitiu à indústria um avanço sem precedentes. Eles estão presentes basicamente em tudo e todos os dias fazemos uso de suas funções. No entanto, o surgimento desses materiais trouxe consigo outro problema, o da poluição. Embora, alguns polímeros tenham sido criados para substituir suas versões naturais, seja pelo autocusto dessas ou para reduzir o impacto ambiental causado pela exploração desenfreada das mesmas, a sua durabilidade se mostrou como um vilão ao meio ambiente.

Um material que pode durar vários anos sem necessitar de manutenção, é, à primeira vista, bem-vindo, mas, só enquanto mesmo for utilizado. Materiais como a madeira, quando descartados como lixo, deixa de passar por manutenções e naturalmente é decomposta no próprio meio ambiente em pouco tempo, servindo como alimento para outros organismos, porém, quando falamos do plástico, isso não acontece, visto que, seu tempo de decomposição supera os milhares de anos, e sendo assim, seu alto descarte na natureza, só vai gerar pilhas de lixo que permaneceram intactas, mesmo depois que partirmos dessa para a melhor.

A fim de sanar esse e outros problemas, relacionados a poluição causada pelos polímeros, empresas e pesquisadores investem seus recursos, a fim de encontrar maneiras de pelo mitigar esse impacto e uma das formas encontradas está na reciclagem desses materiais, garantindo-lhes um novo uso, evitando que permaneçam na natureza meramente como lixo. Serão descritas aqui três formas de reaproveitamento desses materiais, que prometem minimizar os danos causados pelo homem a natureza (MORAIS; RIOS, 2014).

9 USO DO PLÁSTICO COMO ELEMENTO ESTRUTURAL

Embora o plástico seja um material bem difundido na construção civil, sendo esse o segundo maior mercado consumidor desse material polimérico, seu uso ainda é limitado nesse meio, sobretudo quanto à função estrutural (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Projetar elementos plásticos exige um delicado conhecimento de seu comportamento mecânico, e de qual forma esse comportamento é afetado em função das forças que atuam sobre ele e no caso do plástico, a dependência do tempo e da temperatura é mais acentuada. Isto se deve à sua natureza viscoelástica, que implica em um comportamento dual entre líquido viscoso e sólido elástico. Em sistemas viscosos o trabalho é dissipado como calor, enquanto no elástico é acumulado sob a forma de energia potencial (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Portanto, quando se projeta plásticos, observando uma possível solução estrutural, é necessário observar de maneira mais atenta suas propriedades mecânicas, dado o seu comportamento muito divergente, quando comparado aos materiais estruturais mais usados atualmente como o aço, o concreto e a madeira.

9.1 O COMPORTAMENTO DO PLÁSTICO

Desde 1988 os Estados Unidos investem em pesquisas para determinar o comportamento do plástico reciclado, a fim de verificar se ele pode ser usado como componente estrutural. Assim, em 1997 a pedido do Departamento de Recursos Naturais de Ohio, foram realizados ensaios, testando paletes de plástico reciclado. O relatório final concluiu que esses paletes, além de serem uma opção viável economicamente, eram em alguns casos superiores aos paletes de madeira e aço galvanizado no que diz respeito a sua integridade estrutural e o tempo de vida útil (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Os Pesquisadores da AMIPP, Centro de Materiais Avançados via Processamento de Polímeros Imiscíveis, da Universidade Rutgers em New Jersey/EUA, tem investido pesado nas pesquisas que visam viabilizar o plástico como elemento estrutural e, um exemplo disso são o professor Thomas Nosker e seu aluno de graduação Richard W. Renfree que desenvolveram uma blenda composta de 35% de poliestireno, PS, e 65% de polietileno de alta densidade, PEAD, obtendo um material mais resistente que o PEAD e mais rígido que o PS.

Essa descoberta lhes permitiu em 1996 iniciar a construção de pequenas pontes com material desenvolvido e em 1999 a construção de uma ponte mista de aço e plástico. Ainda em 1999 Nosker e Renfree desenvolveram um dormente para ferrovias com plástico reciclado (DCPR), para substituir os de madeira, onde foi apontado uma série de vantagens, entre elas o fato do desmatamento necessário para a produção dos dormentes de madeira (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

A partir do projeto e da fabricação de dormentes de compósito de plástico reciclado, Nosker e Renfree (1999b) continuaram a estudar as diversas aplicações desse material como substituto da madeira. Compararam-se as propriedades mecânicas dos elementos estruturais de plástico com as relativas aos de madeira, e observouse que o módulo de elasticidade do plástico ainda é bastante deficiente. Isso é evidenciado quando se comparam os módulos de elasticidade do pinho, cerca de 8.300MPa a 11.000MPa, com o mais alto valor obtido com o plástico, de 2.000MPa. A solução encontrada foi a adição de fibras de vidro dispostas de forma aproximadamente orientada, obtendo melhores resultados: aumento máximo de 68% na resistência e de até 176% no módulo de elasticidade (PARENTE; PINHEIRO, 2008).

Nosker e Renfree juntos de outros pesquisadores da AMIPP, construíram em 2002 sobre o rio Mullica, em New Jersey, uma ponte inteiramente de material reciclado, com exceção dos pilares de madeira, aproveitados da estrutura anterior. Possuindo de 14m de comprimento e cerca de 14t de peso, estima-se ter consumido cerca de 250.000 garrafas Pet e 750.000 copos de café.

Figura 3 – Ponte sobre o rio Mullica construída inteiramente de plástico



Fonte: Leite (2012).

Não só Nosker e Renfree, mas também outros pesquisadores da AMIPP e de outras empresas, mantêm desde 1999 projetos construtivos, onde um dos elementos estruturais utilizados é o plástico reciclado, e como tal vem sendo provado que esse é um material que não pode ser ignorado quanto à essa função. A construção utilizando esse material, já ultrapassou o estágio experimental e já é desenvolvido em larga escala nos Estados Unidos, Canadá e Inglaterra. A utilização de plástico reciclado além de ser uma alternativa viável, por suas vantagens construtivas e econômicas, também é uma alternativa marcante na redução do impacto ambiental causado pelo homem.

Figura 4 – Deque e pier com elementos de plástico reciclado



Fonte: Leite (2012).

10 UTILIZAÇÃO DA BORRACHA SINTÉTICA NO ASFALTO ECOLÓGICO

A indústria gera uma grande quantidade de resíduos de borracha elastomérica Estireno Butadieno (SBR) e elastômeros termoplásticos Etileno Acetato de Vinila (EVA), no processo de fabricação de pneus, solados, calçados tipo flip-flop, placas expandidas etc. Porém, os mecanismos de reaproveitamento, não são capazes de aproveitar todo o material, o que gera um acúmulo de compostos elásticos, que não são reaproveitados e sem maiores cuidados, são facilmente despejados em aterros a céu aberto, gerando um imenso dano ao meio ambiente (MORAIS; RIOS, 2014).

A sustentabilidade é conseguida pelo emprego de resíduos da construção civil (RCD), agregado de aciaria, cinzas volantes, resíduos de mármore, granito e ainda pneus e resíduos de borracha, que podem ser introduzidos na mistura asfáltica. Portanto, o mapeamento dos resíduos industriais para uso como materiais não convencionais tende a se ampliar, isto, devido à necessidade de novos materiais, soluções e alternativas para os passivos ambientais (LEITE, 2012).

Em contrapartida, a adição de materiais poliméricos ao ligante asfáltico, já é uma prática adotada, não só com o intuito de mitigar os impactos ambientais, mas também para corrigir algumas deficiências do ligante. Países como EUA, Alemanha, Espanha e França, já investem em pesquisas nesta área desde 1970, e comprovadamente, a adição de borracha, ao ligante asfáltico, melhora de maneira significativa sua resistência à deformação e a ductilidade, embora seja sensível a decomposição (MORAIS; RIOS, 2014).

A fim de avaliar a eficiência da adição de elastômeros na composição do asfalto ecológico, o Doutor em Engenharia de Materiais Fábio Remy de Assunção Rios juntamente com uma equipe, realizou testes, adicionando o resíduo de calçados (RCA) ao cimento asfáltico de petróleo (CAP), sendo esse último um ligante asfáltico convencional.

10.1 TESTE DE AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA ADIÇÃO DE RESÍDUO RCA À MANTA ASFÁLTICA

Foi utilizado o resíduo polimérico RCA, sendo esse um composto de SBR, contendo EVA em sua composição e um ligante asfáltico já produzido em escala industrial, o CAP 50/70 (MORAIS; RIOS, 2014).

O teste consiste em analisar o ponto de amolecimento, capacidade de absorção de água e a consistência do material, para isso, utilizando quatro amostras de ligante asfáltico, sendo a um convencional (CAP 50/70) e outros três ligantes modificados com a adição de resíduos de RCA, conforme descrito abaixo:

CAP 50/70 – Convencional;

CAPM1: CAP 50/70 + CAP + 5%-25% RCA + 0,2%ENXOFRE+2%MDG, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;

CAPM2: CAP 50/70 + CAP + 5%-25% RCA+ 0,2%PBO, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento;

CAPM3: CAP 50/70 + CAP + 5%-25% RCA + 2%MDG + 2% Filler, produzido em laboratório com agitação simples e aquecimento (MORAIS; RIOS, 2014).

10.2 ENSAIOS DE AMOLECIMENTO DO CAP MODIFICADO

Foram realizados ensaios empíricos de análises de ponto de amolecimento nas misturas asfalto-polímero das amostras respectivamente: CAPM1, CAPM2 e CAPM3. Portanto, com base na Norma Técnica do Departamento Nacional de Infraestrutura do Transporte (DNIT) 131/2010–ME, Materiais Asfálticos – Determinação do Ponto de Amolecimento: Método do Anel e Bola foi feito os ensaios, com um penetrômetro e consistiu em determinar a profundidade, em décimos de milímetros, onde a média dos resultados configurou-se conforme Tabela 1 (MORAIS; RIOS, 2014).

Tabela 1 – Ponto de amolecimento de CAP puro e modificado

ASFALTO	%	MÉTODO	UNID	PONTO DE AMOLECIMENTO
CAP 50/70	5	DNIT 131/2010–ME	°C	46,00
CAPM1	5	DNIT 131/2010–ME	°C	49,75
CAPM2	5	DNIT 131/2010–ME	°C	44,70
CAPM3	5	DNIT 131/2010–ME	°C	50,20

Fonte: Moraes e Rios (2014).

Aqui houve um aumento no ponto de amolecimento com adição dos resíduos, o que implica em um aumento na resistência à deformação permanente.

10.3 ENSAIO DE PENETRAÇÃO DO CAP MODIFICADO

O ensaio de penetração tem como objetivo principal determinar a consistência do material asfáltico para aplicação em pavimentação. Foram realizadas análises de penetração nas amostras: CAPM1, CAPM2 e CAPM3, e com base na Norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transito (DNIT) 155/2010 – ME, Material Asfáltico – Determinação da Penetração. Os resultados conforme a seguir na Tabela 2 (MORAIS; RIOS, 2014).

Tabela 2 – Ponto de penetração do CAP puro e modificado

ASFALTO	%	MÉTODO	UNID	PENETRAÇÃO (100 G, 5S, 25°C)
CAP 50/70	5	NBR 6576	0,1 mm	50,00
CAPM1	5	NBR 6576	0,1 mm	68,00
CAPM2	5	NBR 6576	0,1 mm	48,00
CAPM3	5	NBR 6576	0,1 mm	53,00

Fonte: Moraes e Rios (2014).

Segundo a ANP/2005, sob as seguintes condições (100g, 5s, 25° C) o ponto de penetração do ligante asfáltico CAP 50/70 é compreendido no intervalo de 50mm a

70mm (NBR6576) e os resultados mostraram-se diferentes. Em suma, o CAPM1 atendeu os requisitos da norma, ficando com a média parcial de 68,6mm. O CAPM3, atendeu os requisitos da norma, ficando com a média parcial de 51,4mm. O CAPM2 não atendeu os requisitos da norma, ficando com a média parcial de 45,2mm. (MORAIS; RIOS, 2014).

10.4 ENSAIO DE ABSORÇÃO D'ÁGUA

Aqui foram utilizadas seis amostras de cada material modificado, constatando que o material possui uma baixa taxa de absorção de água, sendo inferior a 1%, consequência das partículas de borracha adicionadas. A Figura 5 traz as Tabelas 3, 4 e 5, mostram os resultados (MORAIS; RIOS, 2014).

Figura 5 – Tabelas 3, 4, e 5 dos ensaios de absorção d'água do CAP puro e modificado

Tabela 3 - Absorção d'água dos 06 corpos de prova da mistura CAPM1.

MISTURA	%	UNID	AA (%)
01	5% (RCA)	%	0,88%
02	5% (RCA)	%	0,87%
03	5% (RCA)	%	0,87%
04	5% (RCA)	%	0,87%
05	5% (RCA)	%	0,87%
06	5% (RCA)	%	0,87%

Tabela 4 - Absorção d'água dos 06 corpos de prova da mistura CAPM3.

MISTURA	%	UNID	AA (%)
01	5% (RCA)	%	0,82%
02	5% (RCA)	%	0,83%
03	5% (RCA)	%	0,83%
04	5% (RCA)	%	0,84%
05	5% (RCA)	%	0,85%
06	5% (RCA)	%	0,84%

Tabela 5 - Absorção d'água dos 06 corpos de prova da mistura CAPM3.

MISTURA	%	UNID	AA (%)
01	5% (RCA)	%	0,62%
02	5% (RCA)	%	0,64%
03	5% (RCA)	%	0,64%
04	5% (RCA)	%	0,63%
05	5% (RCA)	%	0,64%
06	5% (RCA)	%	0,63%

Fonte: Morais e Rios (2014).

Os resultados dos ensaios, mostraram que a adição dos resíduos ao CAP 50/70 não o altera quimicamente, mas melhora de maneira significativa suas propriedades físicas e mecânicas. Deve ser observado que o resíduo de maior atuação em todas as amostras foi o composto de RCA, e, portanto, a utilização desse composto proveniente de restos de borracha, como aditivo para manta asfáltica é uma opção a ser considerada para redução do impacto ambiental causado pela borracha sintética exposta ao meio ambiente.

11 APLICAÇÃO DO POLIESTIRENO SULFONADO COMO ADITIVO

O poliestireno é um dos polímeros de maior participação na produção de materiais descartáveis tais como copos plásticos, bandejas de alimentos, sacolas plásticas etc. Um caminho alternativo para reaproveitamento do poliestireno descartado

consiste em sua transformação química para produção de um novo material. O poliestireno é um polímero que pode ser facilmente sulfonado, podendo ser modificado quimicamente pode ser empregado como floculante em tratamento de águas industriais e dispersante para cimento na preparação de pastas de cimento, argamassas e concretos (ASSUNÇÃO et al., 2005).

Os concretos são o material de maior aplicação na construção civil, assim como o uso de polímeros já está bem difundido, e sabe-se que usá-los como aditivos para melhorar suas propriedades mecânicas de certas matérias, entre eles o concreto é uma realidade (ASSUNÇÃO et al., 2005).

Nesse estudo conduzido por pesquisadores da Faculdade de Engenharia Civil e do Instituto de Química da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), o poliestireno obtido a partir de copos descartáveis usados, foi sulfonado e a solução resultante, foi adicionada à corpos de prova cilíndricos na proporção de 0,25 a 1% em relação à massa de cimento, os corpos de prova foram preparados com areia fina, água e cimento. Os testes de consistência foram realizados conforme a NBR 7215, testes de compressão foram realizados após 7 dias de cura. O aditivo foi adicionado na proporção de 0,28% durante a mistura na betoneira e o abatimento do concreto foi medido conforme a NBR 7223. Os resultados dos ensaios podem ser vistos na figura 6 que reúne uma coletânea de figuras e tabelas que ilustram todo o processo:

Figura 6 – Resultado dos ensaios

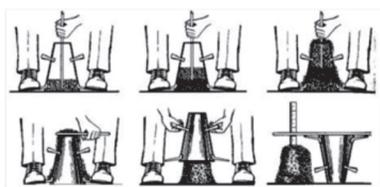


Figura 1. Ensaio para determinação da consistência do concreto através do abatimento do tronco de cone.

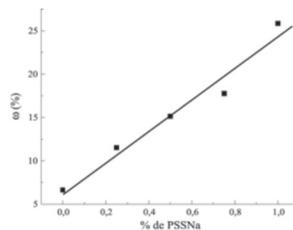


Figura 3. Efeito de plastificação em função da porcentagem de PSSNa utilizada nos ensaios de consistência.

Tabela 1- Proporção dos componentes da argamassa de cimento CPV32.

Componentes	Masca / g
Cimento Portland CPV 32	624
Areia fina	1872
Água	300

Tabela 2. Componentes para preparação do concreto de Portland CPV32 (355Kg/m³), traço 1:1,92:3,31:0,53 (cimento: areia: brita: água).

Componentes	% dos componentes
cimento Portland	14,80
areia média (módulo de finura)	28,43
brita (tamanho médio de 19 mm)	48,93
água	7,84

Tabela 3. Resultado do ensaio do índice de consistência e resistência à compressão para argamassas (a/c=0,48).

Argamassas	Consistência (mm)	Resistência mecânica à compressão (MPa) - 7 dias	
		7 dias	28 dias
referência	133,3	17,65	
0,25%	139,4	18,62	
0,50%	143,9	19,60	
0,75%	147,2	20,50	
1,00%	157,3	20,84	

Tabela 4. Avaliação dos testes de abatimento e resistência para concretos de cimento CPV32.

Concretos	Relação a/c	Abatimento (mm)	Resistência à Compressão (MPa)	
			7 dias	28 dias
referência	0,53	51	27,99	32,50
0,28 % de PSSNa (A)	0,53	200	29,37	37,26
0,28 % de PSSNa (B)	0,42	53	34,02	41,03

Fonte: Assunção e outros autores (2005).

O teste constatou que o PSSNa produzido a partir da sulfonação de copos plásticos descartáveis de PS foi aplicado em argamassas onde se mostrou eficiente, uma vez que se observou um aumento na plastificação das argamassas. A presença deste material é benéfica em relação à resistência à compressão uma vez que, para todas as dosagens ocorre um ganho de resistência explicado pela melhora nos processos de dispersão e homogeneização do cimento. O efeito positivo da aplicação deste material pode ser comprovado em sua utilização no concreto.

Observa-se também uma elevada fluidificação em ensaios para aumento de trabalhabilidade com a aplicação de uma dosagem baixa de PSSNa cerca de 0,28%. Com esta dosagem foi possível obter uma redução de água de 20,8% com um aumento na resistência mecânica à compressão de 26,3% aos 28 dias de cura do concreto, permitindo classificar o PSSNa como aditivo superplastificante.

12 CONCLUSÃO

A construção civil usa matérias poliméricas em praticamente todas as etapas de seu processo. Alguns desses polímeros já se encontravam no planeta, muito antes da espécie humana. Contudo, foi com o desenvolvimento das versões sintéticas desses materiais, que a construção civil experimentou um salto sem precedentes, nunca imaginado. Esses novos polímeros têm características, que superam seus concorrentes naturais em quaisquer aspectos, permitindo sobretudo ao setor da construção civil, alcançar novos patamares.

Dentre os polímeros utilizados na construção civil, é possível destacar a madeira como polímero natural, ainda largamente utilizado. Já, dentre os sintéticos, os plásticos dominam o setor, visto as mais variadas opções disponíveis que atendem qualquer necessidade aparente.

Apesar de terem sido criados para satisfazer uma necessidade e corrigir deficiências que os materiais naturais possuíam, os polímeros representam uma ameaça ao meio ambiente, visto que sua alta durabilidade que é tão bem vista quando esse é usado de alguma forma, torna-se um enorme problema quando é descartado sem nenhum cuidado na natureza, o que leva a busca para o reaproveitamento desses materiais de maneira a dar-lhes uma nova vida.

Os plásticos, embora largamente utilizados no setor de construção, ainda apresentam uma deficiência, quando o assunto é parte estrutural da edificação. A natureza viscoelástica do plástico, embora confira a ele uma alta versatilidade, também o torna pouco rígido, uma característica que não é bem-vinda para a sustentação de cargas. Empresas como a Imawood e Nosker e Renfree, desenvolveram e desenvolvem soluções que visam corrigir essa deficiência. Essas empresas criaram soluções, utilizando resíduos plásticos, reciclados ou não, para construir componentes estruturais, utilizando o plástico com uma densidade elevada, alcançando resultados que provam que o uso do plástico como solução estrutural é viável.

Além de encontrar novas funções para esses materiais, outros estudos tentam melhorar matérias que já existem com adição de resíduos que seriam descartados,

gerando lixo e degradando o ambiente. A adição de resíduo de borracha, proveniente da sola de calçados ao ligante asfáltico usado na pavimentação de ruas, se mostrou uma excelente medida para a mitigação do impacto ambiental causado por esses resíduos, ao tempo que melhora a eficiência do ligante.

Outra opção vem sendo testada, por meio da adição de poliestireno proveniente dos copos descartáveis ao concreto. O poliestireno é sulfonado e adicionado a massa, constatando-se uma melhora significativa em suas propriedades físicas e mecânicas, mesmo não alterando suas propriedades físicas e mecânicas.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P.W. **Moléculas**. Trad. P.S. Santos e F. Galembek. São Paulo: EDUSP, 2000. Capítulo 3.

CANEVAROLO Jr., Sebastião V. **Ciência dos polímeros** – Um texto básico para Tecnólogos e Engenheiros. São Paulo: Artliber, 2002.

FAEZ, R. *et al.* **Química Nova na Escola**, n.11, p.13-18, 2000.

KONAGANO; LIMA; ROCHA. A utilização de plásticos na construção civil. in: congresso brasileiro de educação em engenharia, 40, 2012, Belém. **Anais...** Belém: COBENGE, 2012.

LEITE, L.F.M. Misturas Mornas e Reciclagem parecem ser as Tecnologias mais importante para Garantir a Sustentabilidade. **Revista Asfalto**, p15, nov-dez. 2011.

LIMA, Ana Carolina A.C. COBENGE – XL Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia.

MORAIS, Crislene Rodrigues Silva; RIOS, Fábio Remy de Assunção. A utilização de plásticos na construção civil. In.: Belém-PA, set. 2012. **Revista Brasileira de Gestão ambiental** – RBGA, Pombal-PB, Brasil, v.8, n.1, p.7-13, jan-mar. 2014.

PARENTE, Ricardo Alves; PINHEIRO, Libano Miranda. **Cadernos de engenharia de Estruturas**, São Carlos, v.10, n.47, p.75-95, 2008.

PITT Fernando Darci; BOING, Denis; BARROS, António André Chivanga. Desenvolvimento histórico, científico e tecnológico de polímeros sintéticos e de fontes renováveis. **Revista Unifebe**, n.9, 2011.

RODRIGUES FILHO, G. *et al.* Efeito da aplicação do Poliestireno Sulfonado (PSSNa) como aditivo em argamassas e concreto de cimento Portland CPV32. **Polímeros - Ciência e Tecnologia**, Brasil, v.15, n.1, p.63-67, 2005.

Data do recebimento: 10 de fevereiro de 2018
Data da avaliação: 18 de março de 2018
Data de aceite: 29 de março de 2018

1 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: armandogarcia_profeiras@hotmail.com

2 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: cristianos.bastos@hotmail.com

3 Acadêmico do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: ricardoxavier_archi@outlook.com

4 Docente do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Tiradentes – UNIT-AL.

E-mail: monica.vianna@yahoo.com.br

