



FUNDAÇÃO PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS – FUPAC
FACULDADE PRESIDENTE ANTÔNIO CARLOS DE UBÁ
ENGENHARIA CIVIL

EVANDRO FELIPE DE OLIVEIRA SANTOS

MATERIAIS ALTERNATIVOS NA ENGENHARIA CIVIL

UBÁ – MG

2017

EVANDRO FELIPE DE OLIVEIRA SANTOS

MATERIAIS ALTERNATIVOS NA ENGENHARIA CIVIL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Engenharia Civil,
da Faculdade Presidente Antônio Carlos
de Ubá, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Me. Liliane Souza Oliveira
Moni

UBÁ – MG

2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida.

Agradeço à minha orientadora, Professora Me. Liliane Oliveira de Souza Moni pela paciência tradicional, pelos bate papos a respeito do trabalho e pelos toques recebidos.

A todos os professores aos quais tive contato nessa trajetória acadêmica e que de alguma forma transmitiram seus conhecimentos.

A Mara pela dedicação e respeito, além da paciência.

Ao Xone que, mesmo sendo o maior responsável pelos apertos passados, foi o que na maioria das vezes aliviou o estresse.

Por fim agradeço aos meus pais, principalmente à minha mãe pela força e incentivo.

RESUMO

Este trabalho foi feito com base em estudo bibliográfico a respeito de materiais alternativos e tecnologias inovadoras empregadas no ramo da engenharia civil. O crescimento da população aumenta o consumo dos recursos naturais e degrada áreas de maneiras algumas vezes irreversíveis. A preocupação com o planeta e a busca por alternativas sustentáveis com objetivo de minimizar os impactos ambientais, além do interesse no desenvolvimento com qualidade e baixo custo reinventa o convencional e incentiva a busca por novas tecnologias e adaptações das conhecidas. A criatividade humana e sua capacidade de adaptar são postas a prova. Percebe-se que a humanidade ainda está dando seus primeiros passos em busca de alternativas, porém, há um aumento nas iniciativas e investimentos e que no futuro, o uso dos materiais alternativos será maior e que eles se tornarão os ditos convencionais. A produção dos materiais industrializados utilizados gera alto impacto ambiental, além de excessivo gasto energético. Alternativas são encontradas localmente e geralmente tem baixo custo, além de, em casos onde utiliza-se derivados da reutilização de materiais que seriam descartados e resíduos, minimizam a extração de recursos e poupam áreas que tornar-se-iam depósitos de acúmulo.

Palavras-chave: Materiais alternativos; Materiais não convencionais; Alternativas sustentáveis; Inovações

ABSTRACT

This work was done on the basis of biblioagraphical study regarding alternative materials and innovative Technologies employed in the civil engineering sector. Population growth increases the consumption of natural resources and degrades areas in ways sometimes irreversible. The concern for the planet and the search for sustainable alternatives to minimize environmental impacts, besides the interest in development with quality and low cost reinvents conventional and encourages the search for new Technologies and adaptations of the known. Human creativity and ability to adapt are exhibited. It is understood that humanity is still taking its first steps in seeking alternatives, however, there is na increase in initiatives and investiments and that in the future, the use of alternative materials will be greater than they were conventionally said. The production of industrialized materials used generates high environmetal impacts, besides excessive energy expenditure. Alternatives are found locally and generally have low cost, besides, in cause where they use derivatives of reused materials that would be desposed of and waste, minimize the extraction of resources and save areas that would become accumulating deposits.

Keywords: Alternatives materials; unconventional materials; Sustainable alternatives; Innovations

1 INTRODUÇÃO

No início da civilização, os materiais utilizados como elementos estruturais e construtivos variavam de acordo com a variedade disponível em cada região e cultura adquirida. Com o surgimento da indústria e posteriormente do trabalho em série, esses elementos construtivos começaram a se tornar um padrão (PERAZZO, 2011).

O problema é que esses elementos e a construção civil como um todo demandam um alto gasto energético, além de consumir muitos recursos naturais e causar degradação ambiental, produzindo resíduos sólidos, líquidos e gasosos.

O setor da construção civil é mundialmente reconhecido como um grande consumidor de recursos, e responsável por diversas emissões que causam impactos substanciais ao ambiente. Muitos destes estão diretamente relacionados à produção de insumos utilizados na construção. Porém, esse ramo tem altíssimo potencial para utilização de materiais reciclados ou reutilizados da indústria em geral, além dos resíduos da construção e demolição, (RCD) (OCHOA; HENDRICKSON; MATTHEWS, 2002).

No Brasil, pesquisas referentes à utilização de materiais alternativos como substitutos de agregados convencionais, principalmente em concretos e argamassas, é prática recorrente nas últimas décadas. A busca por materiais vem se intensificando com exemplos como reaproveitamento de borracha de pneu, cinza da casca de arroz, entulhos, entre tantos outros.

Há também o uso de alternativas fora do contexto de reciclados, como aditivos de baixo custo, baixo impacto ambiental e inovadoras, como o uso de detergente nos concretos e argamassas, para ajudar a fortalecer e garantir a longevidade, trabalhando como aditivo tensoativo, que nada mais é que uma molécula que apresenta uma parte com característica apolar ligada a outra polar. Esse recurso aumenta a fluidez com uma redução considerável de água na mistura. Em resumo, isso diminui a tensão superficial em relação a umectação do concreto ou argamassa.

As denominadas alternativas verdes, compósitos vegetais (material obtido a partir de uma matriz de cimento, cal ou gesso reforçada com fibras naturais ou artificiais), tem também elevado crescimento em relação ao seu uso. São realizados vários estudos em relação às características físico-mecânicas com produtos feitos à base de fibras vegetais como fibras de coco, de sisal, de juta, de capim elefante e de bagaço de cana. Na engenharia civil, a argamassa armada e o fibrocimento ainda são

produzidos, essencialmente com fibras de aço e asbesto, respectivamente, apesar da imensa disponibilidade de outras fibras para reforço. Tem-se percebido o crescimento do interesse sobre o potencial de aplicação das fibras vegetais.

Procuram-se também soluções que não prejudiquem ou coloquem em risco o bem-estar e a saúde humana. Soluções para substituição de materiais nocivos como, por exemplo, o amianto por fibrocimento tem tido uma grande procura, sendo o amianto até mesmo sido proibida a comercialização de produtos derivados como telhas e caixas d'água.

O uso de materiais alternativos incorporados com resíduos como opção ao convencional deve possibilitar a geração de um produto com qualidade, produtividade, estética e com potencial de reduzir impactos ambientais.

Este trabalho tem como objetivo apresentar alguns dos vários materiais considerados alternativos/não convencionais utilizados no dia-a-dia na Engenharia civil, bem como suas vantagens e desvantagens, aplicabilidade e viabilidade, além dos efeitos benéficos que eles geram na natureza e na sociedade.

2 DESENVOLVIMENTO

Sabe-se que a população mundial teve, nos últimos anos, uma crescente exponencial e desordenada, principalmente nos países emergentes, denominados terceiro mundo. Esse crescimento demanda um elevado problema habitacional, com êxodo rural e excesso de população nos centros urbanos, além do consumo excessivo dos recursos naturais (BELTRAME, 2013).

No atual contexto mundial, existe uma grande preocupação quando se trata do uso de recursos e nos impactos que as atividades podem gerar no ambiente. Palavras como sustentabilidade, autonomia e afins estão cada vez mais presentes nos diversos temas e setores. Porém não se pode deixar de lado o crescimento e o desenvolvimento (ORTIZ; CASTELL; SONNEMANN, 2009).

Tabela 1- Impactos da construção civil

Alguns impactos da construção civil
A operação dos edifícios consome mais de 40% de toda energia produzida no mundo;
Consome 50% da energia elétrica e 20% do total de energia produzida no Brasil;
A construção civil gera de 35% a 40% de todo resíduo produzido na atividade humana;
Na construção e reforma dos edifícios se produzem anualmente perto de 400 kg de entulho por habitante;
A produção de cimento gera 8% a 9% de todo o CO ₂ emitido no Brasil, sendo 6% somente na descarbonatação do calcário;
Assim como o cimento, a maioria dos insumos usados pela construção civil é produzida com alto consumo de energia e grande liberação de CO ₂ ;
Consumo de 66% de toda a madeira extraída;
34% do consumo mundial de água.

Fonte: Beltrame (2013)

Mesmo com o grande desenvolvimento tecnológico dos últimos anos, a sociedade ainda precisa enfrentar, neste novo milênio, três enormes desafios que são

a pobreza, a energia e os problemas ambientais. Pode-se dizer que estes desafios se ligam à arquitetura e engenharia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS¹, 2017).

Nos dias atuais, o pensamento para quando as mudanças climáticas e as alterações ambientais deixaram de ser um questionamento e tornou-se fato comum (GHAVAMI, 2014).

Segundo a publicação de Acosta e Carbonari (2017), a incorporação das práticas sustentáveis na construção civil é uma tendência que cresce no mundo diariamente. Logo, significa que tais construções, para ganharem o status de sustentáveis, precisam ser planejadas e concebidas a partir de algumas premissas. Dentre elas, deve-se escolher os materiais que agredam menos o meio ambiente, que tenham origem certificada e que emitam menores quantidades do gás CO₂; gerem menor volume de resíduos durante a fase de obra; que não comprometam o desempenho das edificações; que devastem menores áreas de vegetação; que necessitem o menos possível gasto de energia e água, tanto na fase de construção quanto na de uso; e que, ainda, possam ser reutilizadas quando ao fim de seu ciclo de vida.

“A busca por materiais alternativos e sua utilização na construção civil vem nos últimos anos se intensificando com exemplos como reaproveitamento de borracha de pneu, cinza da casca de arroz, entulhos, entre tantos outros.” (CAMPOS, 2015)

O desenvolvimento de materiais alternativos e inovadores a partir de resíduos industriais ou da construção civil, bem como a busca por materiais de baixo custo e baixo impacto ambiental, integrados no conceito de sustentabilidade, apresentam vantagens e tem despertado o interesse de pesquisadores e empresários do mundo todo.

2.1 Materiais de construção

Segundo a ABNT, “material de construção ou insumo de construção é todo corpo, objeto ou substância utilizado para realizar obras de Engenharia Civil. Os tipos de material de construção variam quanto à origem, função, composição e estrutura interna”. Eles podem ser do tipo simples (puros) ou composto, ou seja, formados por

¹Disponível em: <<http://www.abmtenc.civ.puc-rio.br/historico/>>. Acesso em 2 nov. 2017.

duas ou mais substâncias. Eles podem ser extraídos da natureza ou manufaturados por meio de indústrias.

“A seleção de materiais é determinada principalmente pelo custo e facilidade de produção ou processamento” (GHAVAMI, 2014).

Caiado (2014), diz que a história dos materiais de construção e da própria civilização se misturam, de modo que o desenvolvimento da cultura e da tecnologia exigem o avanço e aperfeiçoamento desses materiais utilizados em conjunto com sua obtenção e fabricação, de maneira mais simplificada possível, garantindo praticidade, facilidade de uso e aplicação.

Callister (2000) sugere a classificação dos materiais de construção em seis grupos distintos, sendo eles:

- **Metais:** materiais que são bons condutores de energia elétrica, calor, além de possuir grande resistência e deformação;
- **Cerâmicos:** materiais que são isolantes de energia elétrica, têm elevada resistência a altas temperaturas, mas que são muito quebradiços;
- **Polímeros:** matérias de maior flexibilidade, normalmente de borracha ou plástico;
- **Compósitos:** são os materiais constituídos por mais de um elemento e, assim, apresentando as características de cada um deles;
- **Semicondutores:** materiais presentes em componentes de equipamentos eletrônicos;
- **Biomateriais:** materiais originados de orgânicos.

“Materiais são substâncias cujas propriedades podem ser utilizadas direta ou indiretamente para inúmeros fins. Metais, cerâmicas, polímeros, semicondutores, vidros, fibras, madeira, areia, pedra e vários outros compósitos podem ser citados. Sua produção e processamento visando a produção de produtos acabados absorvem alta porcentagem dos empregos e grande parcela do produto interno bruto de um país”. (CAIADO, 2014).

O uso dos materiais adequadamente remete as suas características como, por exemplo, sua solidez, custo, vida útil, e até mesmo acabamento. É preciso ter o entendimento das suas propriedades e características, para que se possa extrair ao máximo fatores que irão garantir um maior desempenho no seu emprego no empreendimento desenvolvido.

Em relação ao custo, um material é considerado mais economicamente viável que outro quando, em condições semelhantes de durabilidade, resistência, estabilidade e ponto de vida estético, ter menor custo que outro, ou ainda, quando se tem preços semelhantes, apresentar melhores características de resistência, durabilidade, beleza e estabilidade. É cabido ao responsável técnico (engenheiro) analisar e estabelecer os que atendem em melhor condição a aplicação no empreendimento.

Perazzo (2011), alerta sobre os danos causados ao meio ambiente decorrentes do uso dos materiais, aqui denominados convencionais, produzidos nas indústrias, uma vez que para sua fabricação, é produzido grande quantidade de gás CO₂ e vários outros poluentes, além da modificação do relevo e a geração de entulhos e resíduos nas obras, tendo estes, uma reintegração com a natureza muito lenta e difícil.

2.2 Desenvolvimento Sustentável

De acordo com o consultor do Instituto para o Desenvolvimento da Habitação Ecológica (IDHEA), Araújo (2012), a construção sustentável tem como base o desenvolvimento de um modelo capaz de enfrentar e propor soluções para os principais problemas ambientais do seu tempo, sem abrir mão à moderna tecnologia e à criação de edificações que sejam capazes de atender as necessidades das pessoas.

Na busca de minimizar os impactos ambientais provocados pela construção, surge o paradigma da construção sustentável. No âmbito da Agenda 21 para a Construção Sustentável em Países em Desenvolvimento, a construção sustentável é definida como: "um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre o ambiente natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica" (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

Segundo Araújo (2012), há nove passos principais para a obra seja considerada sustentável estes passos estão conformes ao que recomendam alguns dos principais sistemas de avaliação e certificação de obras no mundo e são:

- Planejamento Sustentável da obra;
- Aproveitamento passivo dos recursos naturais;

- Eficiência energética;
- Gestão e economia da água;
- Gestão dos resíduos na edificação;
- Qualidade do ar e do ambiente interior;
- Conforto termo acústico;
- Uso racional de materiais;
- Uso de produtos e tecnologias ambientalmente amigáveis.

Pode-se dizer que os materiais de construção não- convencionais são ecologicamente corretos, pois:

- Tratam-se de materiais tradicionais disponíveis na natureza, muitos dos quais renováveis, e como no caso do aproveitamento dos resíduos, contribuem para livrar o ambiente de seu incômodo;
- Envolvem menor energia que os industrializados;
- Em geral são não poluentes;
- Muitos incorporam-se novamente à Natureza sem maiores danos;
- Podem ser obtidos em processos não centralizados;
- Podem gerar tecnologias apropriadas;
- Podem levar a um menor custo construtivo;
- Podem fazer uso intensivo de mão de obra;
- Podem ajudar na redução do problema da casa nos países em desenvolvimento.

2.3 Materiais alternativos

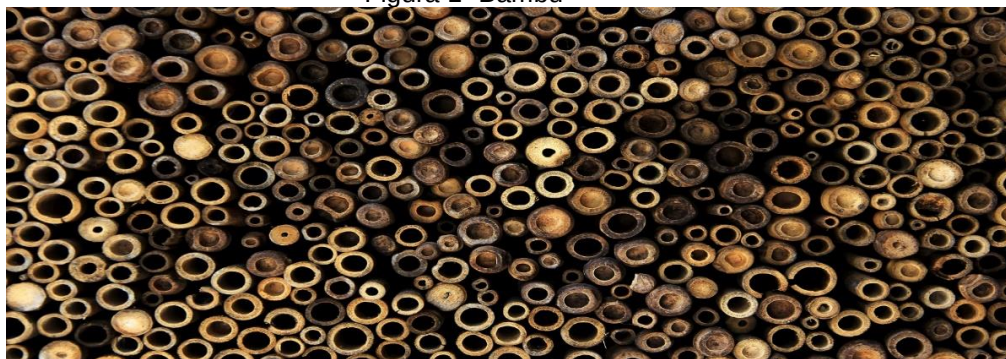
“Desde os primórdios o homem sempre utilizou para construir suas habitações materiais como pedra, palha, galhos, troncos de árvores, a própria terra entre outros. Com esses materiais o homem foi capaz de produzir obras belíssimas de engenharia. Obras estas elaboradas sem a existência do conhecimento do aço, alumínio, cimento Portland, etc. Com a revolução industrial (século XVII) começaram a aparecer os materiais de construção que hoje são conhecidos como materiais de construção convencionais. A partir disto, casas construídas com materiais industrializados eram símbolos de status e modernidade. Com a maciça propaganda e a difusão dos materiais convencionais ocasionou-se o desprezo, esquecimento e o abandono de técnicas e novas buscas por materiais não-convencionais, materiais estes que atualmente são associados à pobreza (PERAZZO, 2011)”.

Mesmo em países como o Brasil, em que há abundância em materiais alternativos, que são fabricados localmente, ainda se aplica, em quase a totalidade das obras, os materiais industrializados, ditos convencionais, devido, principalmente, à falta de incentivos e iniciativas suficientes e sistemáticas dos governos em pesquisas educacionais quanto às propriedades, aplicações e características desses materiais. O que falta, além de conhecimento, é interesse (GHAVAMI, 2014).

2.3.1 Bambu

O bambu é um material com excelentes propriedades mecânicas, de rápida produção para fins estruturais (a partir de 3 anos), baixo custo de produção, leve, de origem natural e totalmente renovável. É um material altamente renovável e abundante. Se comparado com outras madeiras que são também utilizadas pela engenharia e com crescimento rápido ele é muito avançado, já que madeiras como pinus e eucalipto demoram cerca de 10 anos até estarem em idade de corte para utilização (CNPq, 2010).

Figura 1- Bambu



FONTE: Bambu Carbono Zero (2017) ²

No Brasil, os estudos científicos e sistemáticos relativos ao bambu e fibras vegetais iniciaram-se em 1979 na PUC-Rio. A partir daí, desenvolveram-se dezenas de programas sobre a investigação do uso do bambu na engenharia. Como a indústria da construção é uma das mais degradantes ao meio ambiente, o uso de materiais alternativos, não convencionais e renováveis como bambu tem um papel muito importante na sustentabilidade e ecologia do mundo atual, porque esses materiais apresentam custo baixo, alta produtividade, relativamente boa resistência mecânica

² Disponível em: <<http://bambucarbonozero.com.br/produtos.html>>. Acesso em 2 nov. 2017.

(principalmente resistência à tração), e redução do consumo de energia na sua produção se comparado com materiais convencionais, como aço. Para ter-se um exemplo, o consumo de energia necessária na produção de bambu é cerca de cinquenta vezes menor do que o consumo de energia gasto na produção de aço (GHAVAMI, 1992; GHAVAMI & MARINHO, 2001 - 2002).

Segundo Ghavami (2002), emprego do bambu, como elemento estrutural, quando comparado com a madeira, apresenta vantagens e desvantagens.

Vantagens:

- as características físicas do bambu permitem seu emprego em todo tipo de estrutura, desde cabos para pontes pênséis e estruturas rígidas até as modernas estruturas geodésicas e laminadas;
- sua forma circular e sua seção em geral oca o tornam um material leve, de fácil transporte e armazenamento, permitindo a construção rápida de estruturas temporárias ou permanentes;
- em cada um dos nós do bambu existe um tabique ou parede transversal que, além de torná-lo mais rígido e elástico, evita sua ruptura ao curvar-se; por esse motivo, o bambu é um material muito apropriado para construções anti-sísmicas;
- a constituição das fibras das paredes do bambu permite que ele possa ser cortado transversal ou longitudinalmente em peças de qualquer comprimento com o auxílio de ferramentas manuais muito simples;
- a superfície natural do bambu é lisa, limpa, de cor atraente e dispensa pintura, raspagem ou polimento;
- os bambus não têm partes que possam ser consideradas desperdiçáveis;
- além de seu uso como elemento estrutural, o bambu pode ser empregado de outras formas na construção, tais como tubos para o transporte de água e para fins de;
- o bambu pode ser empregado em combinação com qualquer tipo de material de construção;
- do bambu pode obter-se diversos materiais, tais como chapas, esteiras, painéis contra chapeados, etc.;
- o bambu continua sendo um dos materiais de construção de mais baixo preço.

Desvantagens:

- o bambu, em contato permanente com a umidade do solo, apodrece e é atacado por térmitas e outros insetos;
- uma vez cortado, o bambu deve ser submetido imediatamente a um tratamento de cura e secagem para evitar que insetos, como o *Dinoderus minutus*, construam grandes galerias em sua parede, enfraquecendo-o;
- o bambu é um material altamente combustível quando seco; por isso deve ser recoberto com uma substância ou material à prova de fogo;
- o bambu ao envelhecer perde sua resistência, quando não tratado apropriadamente;
- o bambu não tem um diâmetro igual em todo o seu comprimento; tampouco é constante a espessura da parede, o que algumas vezes resulta em dificuldades na construção;
- o bambu ao secar-se se contrai e seu diâmetro se reduz, acarretando alguns problemas na construção, particularmente quando empregado como reforço no concreto;
- as uniões de partes estruturais não podem ser feitas à base de encaixes, como na madeira, devido às dificuldades na construção;
- devido à sua tendência em rachar-se, no bambu não devem ser usados pregos, grampos ou parafusos, que geralmente se empregam na madeira.

Muitas das desvantagens do bambu podem ser superadas:

- com a aplicação de preservativos apropriados;
- com um bom projeto estrutural;
- com a adoção de procedimentos adequados para a preparação e aplicação dos produtos químicos utilizados;

Figura 2- Construção de edificação à base de bambu



Fonte: Materioteca, (2017) ³

O bambu possui também aplicação na arquitetura, dando toques visuais que unem modernidade à sustentabilidade.

Figura 3- Decoração à base de bambu



Fonte: Bambu Carbono Zero (2017) ⁴

³ Disponível em: <<http://materioteca.paginas.ufsc.br/bambu/>>. Acesso em 2 nov. 2017.

⁴ Disponível em: <<http://bambucarbonozero.com.br/produtos.html>>. Acesso em 2 nov. 2017.

2.3.2 Fibras Vegetais e Fibras Recicladas

“Fibras recicladas e naturais são ótimas alternativas para inserção em concretos, podendo substituir a altura outros materiais, como o aço e os polímeros” (MAZZOLI; MONOSI; PLESCIA, 2015).

De acordo com Torgal e Jalali (2010), o uso das fibras vegetais na fabricação de compósitos cimentícios para realizar a substituição das fibras minerais de amianto, produto nocivo à saúde humana e de comercialização proibida no Brasil, ou mesmo das fibras sintéticas, contribui para uma maior sustentabilidade no ramo da construção civil. Existem, porém, algumas questões correlacionadas a esses materiais que foram reforçados com essas fibras vegetais e que precisam de um estudo mais aprofundado, uma vez que a literatura possui poucos e recentes estudos sobre o assunto.

O baixo custo, abundância, densidade baixa, por serem renováveis e não prejudiciais à saúde torna atrativo a produção e pesquisa referentes ao uso das fibras vegetais (BOGHOSIAN; WEGNER, 2008).

As fibras de origem vegetal possuem desvantagens, como, por exemplo, baixo módulo de elasticidade, alta absorção de água, se não obter tratamento químico pode sofrer ataques de fungos e insetos, além de apresentar grande variabilidade em suas propriedades para uma mesma espécie de fibra vegetal (GHAVAMI E TOLEDO, 1992).

Um exemplo desses estudos é, como a principal causa da degradação das fibras vegetais, que, de acordo com os autores, ocorre pela sua baixa resistência em meios de pH alcalinos, sendo preciso investigar mais profundamente as interações entre a pasta de cimento e essas fibras. É preciso a realização de novos estudos para se ter entendimento de quais tratamentos que podem colaborar para o aumento da compatibilidade entre as fibras vegetais e o cimento. São necessárias, também, novas investigações sobre métodos de controle de qualidade que minimizem a dispersão das propriedades das fibras. Essas necessidades estendem-se também à questão da durabilidade dos concretos com fibras vegetais.

São exemplos de fibras vegetais levantadas em estudo, com aplicação em concretos: as fibras de sisal, de coco, casca de arroz, fibras de cânhamo, etc.

“O sisal apresenta várias mutações naturais geradas a partir da espécie *Agave fourcroydes*. Na atualidade, conhecem-se cerca de 57 espécies e 300 variedades” (FUJIYAMA, 1997).

As dificuldades do uso das fibras vegetais, devido às suas desvantagens, falta de estudos e trabalhabilidade são evidentes. Por outro lado, as fibras poliméricas, resultantes da reciclagem são mais estáveis (BENTUR; MINDESS, 2006).

“...não há dúvida de que as fibras naturais e os materiais reciclados são ótimas alternativas para reforço estrutural de matrizes cimentícias.” (TUTIKIAN, 2016).

Figura 4- Blocos com fibras recicladas substituindo areia



Fonte: Cimento Itambé (2017) ⁵

2.3.3 Papel

O papel é um material provindo dos elementos fibrosos de origem vegetal, as principais matérias-primas do papel são as árvores de eucalipto e pinus onde passam por diversos processos para formá-lo. O papel é um material que pode ser reciclado (mantendo suas propriedades) o que é muito importante quando se fala em sustentabilidade. Agregar o papel na construção civil é uma questão que vem crescendo gradativamente tanto no âmbito econômico como ambiental, por ele ser considerado um elemento resistente, consideravelmente barato e economicamente viável (Fernandes, 2013).

⁵ Disponível em: <<http://www.cimentoitambe.com.br/garrafas-pet-em-bloco-de-concreto/>>. Acesso em 2 nov. 2017.

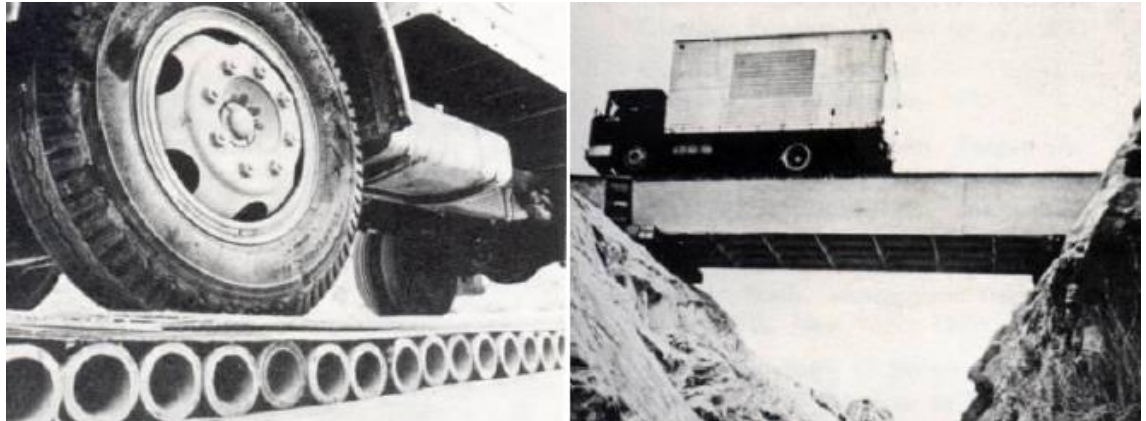
A utilização do papel no setor da construção civil não é um assunto tão novo, pesquisas sobre o ingresso deste material começaram por volta de 1970 com o intuito de desenvolver outro material de construção, porém com crescimento do uso dos materiais convencionais, muitas pesquisas foram deixadas de lado. As construções com papel obtiveram um grande reconhecimento mundial a partir das obras do arquiteto Shigeru Ban, que projeta belas construções, desde 1990, tendo como material principal o papelão.

O sistema construtivo de Drywall é constituído por um núcleo de gesso e em suas extremidades são colocadas placas de papel cartão; onde o gesso exerce uma resistência à compressão, e o papel resistência à tração. Paredes, forros e até revestimento são as finalidades deste sistema, que cada vez mais ganha à preferência na área da construção civil.

Já existem no mercado, telhas feitas a base de papel que possuem características semelhantes às telhas convencionais e, além disso, são flexíveis, leves e versáteis. Atualmente no Brasil, existem pesquisas que tem como objetivo desenvolver tijolos, forros e até casas feitas de papel. Nestes projetos foram elaborados protótipos e trata-se apenas de uma questão de tempo para entrarem no mercado da construção civil.

A aplicação do papel no setor da construção civil é considerada uma técnica inovadora e ainda se encontra em fases de testes para verificar os efeitos que o papel pode sofrer ficando exposto as oscilações do tempo. O intuito destas pesquisas é utilizar o papel como material alternativo nas construções futuras, porque este material é oriundo de reciclagem, podendo voltar a ser reciclado diversas vezes, além disso, é fácil de ser encontrado, evitando o desperdício no canteiro de obras e gerando o mínimo de resíduos, sendo técnica e ecologicamente mais viável que os materiais convencionais (BAHIA *et al.* 2011).

Figura 5- Ponte feita com tubos de papel nos EUA



Fonte: Minke (1980)

2.3.4 Concreto auto curável

De acordo com a Universidade de Delft⁶, Holanda, foi desenvolvido um tipo de bactéria que promove o processo de “auto cura” do concreto. A partir do paralelo de como o corpo pode curar os ossos através da mineralização, os pesquisadores holandeses utilizaram um método similar para o concreto. Misturando-o com bactérias produtoras de calcário, descobriu-se que as rachaduras foram se “remendendo”. O produto é chamado de bioconcreto ou concreto auto curável.

A fim de manter as bactérias dormentes até que seja necessário, elas são colocadas em cápsulas pequenas, biodegradáveis, contendo cálcio. Quando as fendas se abrem e a água entra em contato com as cápsulas, as bactérias passam a se alimentar do cálcio, que reage com o carbono produzindo calcário, fechando as fissuras. O processo tem se mostrado eficaz, e podendo até mesmo ser adicionado a um líquido a ser pulverizado sobre edifícios existentes. O problema, no entanto, são os altos custos. Atualmente é duas vezes o custo do concreto tradicional (BOELEN et al. 2012).

⁶ Disponível em: <<https://www.tudelft.nl/en/ceg/research/stories-of-science/self-healing-of-concrete-by-bacterial-mineral-precipitation/>>. Acesso em 5 nov. 2017.

Figura 6- Concreto em processo de “auto cura”

Fonte: Meio Info (2017) ⁷

2.3.5 Solo Cimento

A construção em terra já é usada há mais de 9000 anos pelo homem em todo o mundo. Nela fazem parte várias técnicas de construção, como a construção em taipa, em adobe ou em bloco de terra compactado (MATOS, 2012).

Se for assumido que a execução de um edifício será utilizando o solo localizado na sua proximidade, não ocorre nem mesmo poluição causada pelo traslado deste material. Já a utilização de alvenarias de tijolos cerâmicos ou de concreto, cuja produção é muitas vezes localizada distante das zonas de construção, implicam sempre elevadas distâncias de transporte com os consequentes impactos em termos de emissões de poluentes gasosos.

Estudos acadêmicos afirmam também a possibilidade do uso do material solo-cimento em seu estado plástico, com consistência próxima a de uma argamassa, sendo empregado em fundações e revestimento de edificações. O uso do solo-cimento plástico (SCP) permite maior agilidade na produção e aplicação do material, uma vez que o processo de preparo da mistura em betoneira proporciona maior rapidez e qualidade final, possibilitando a boa homogeneização dos elementos (SEGANTINI, 2000).

Torgal e Jalali (2010) afirmam que uma outra vantagem da construção em terra são os resultados relativos à qualidade do ar no interior das habitações. Segundo os

⁷ Disponível em: <<http://meioinfo.eco.br/bioconcreto-concreto-vivo-se-auto-regenera/>>. Acesso em 7 nov. 2017.

autores, o fato tem a ver com a sua capacidade em controlar o nível de umidade relativa.

2.3.6 Lã de Ovelhas

A lã animal pode ser utilizada em isolamentos térmicos e acústicos. Apresenta inúmeras vantagens, como: controla as condensações, absorvendo e libertando umidade sem que haja perda das suas características térmicas; aquece até 7 °C quando absorve umidade, reduzindo o risco de condensações; absorve até 30% do seu peso em água, evitando recorrer a uma proteção contra o vapor; absorve gases perigosos, como CO₂, retendo-os permanentemente; tem grande durabilidade, pois em contato com umidade não se degrada; provém de fontes renováveis; é biodegradável após o seu fim de vida útil; pode ser reutilizado se estiver em boas condições; é reciclável; e não provoca problemas respiratórios ou de pele durante a sua aplicação (MATEUS e BRAGANÇA, 2006).

Figura 7- Lã de Ovelha usada como isolante térmico



Fonte: Faz Fácil (2017) ⁸

2.3.7 Tijolo ecológico

Uma alternativa muito difundida como material eco eficiente que utiliza a terra em sua composição é o tijolo solo-cimento, conhecido como tijolo ecológico. Sala (2006) o define como:

O tijolo ecológico ou de solo-cimento é feito de uma mistura de solo e cimento, que depois são prensados; seu processo de fabricação não exige queima, o que evita

⁸ Disponível em: <<http://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/materiais-construcao-sustentaveis/>>. Acesso em 7 nov. 2017.

desmatamentos e não polui o ar, pois não lança resíduos tóxicos no meio ambiente. Para o assentamento, no lugar de argamassa comum é utilizada uma cola especial (SALA, 2006).

Além do benefício ambiental por não ter o processo de queima, o tijolo ecológico é auto travado, ou seja, dispensa a argamassa, necessitando apenas de cola, reduzindo em até 50% o tempo de execução. Sua aparência lisa permite que o tijolo seja aplicado sem reboco, reduzindo ainda mais o uso de material. Além disso, possui resistência à compressão semelhante à do tijolo tradicional, porém a qualidade final é superior com dimensões regulares e faces planas (MOTA *et al*, 2010; CARDOSO, DETRO, JÚNIOR, 2011).

Motta (*et al* 2010) lista outras vantagens além das citadas, como o comportamento térmico e durabilidade equivalentes às construídas com tijolos ou blocos cerâmicos. Também, os tijolos de solo-cimento podem ser utilizados em alvenaria de vedação ou estrutural, desde que atendam às resistências estabelecidas nos critérios de projetos, que devem ser os mesmos aplicados aos materiais de alvenaria convencional, bem como devem seguir as indicações de cuidados e manutenção do material.

Além da unidade comum, Cardoso, Detro e Júnior (2011) também listam alguns resíduos que podem ser adicionados aos tijolos cimentos a partir de dados da literatura. Como exemplo:

a) Tijolo de solo-cimento com pó de mármore: os resíduos provenientes da serragem de rochas ornamentais também podem ser utilizados para confecção de tijolos ecológicos de solo-cimento. A utilização de pó de mármore nos tijolos reduz o custo, pois o seu uso diminui o consumo de cimento ou de areia, além de minimizar os impactos ambientais já que estes materiais são extraídos da natureza;

b) Tijolo de solo-cimento com calça: a inserção destes resíduos tem o objetivo de melhorar as características do tijolo solo-cimento, além de prover um destino aos resíduos da construção civil. Estudos a respeito das características deste tipo de tijolo mostram que as características dos solos são melhoradas devido à inserção dos resíduos, assim como as propriedades mecânicas do tijolo.

Figura 8- Construção com tijolo ecológico de solo cimento

Fonte: MF Rural (2017) ⁹

Além destes, Souza, Segantini e Pereira (2007) apresentaram a possibilidade de utilizar resíduos de concreto nos tijolos ecológicos, que a partir de ensaios laboratoriais, concluíram que o solo-cimento é uma excelente matriz para o aproveitamento dos resíduos de concreto, possibilitando a adição de 60% de resíduos em relação à massa de solo, sem prejuízos para as características do solo-cimento. Nos ensaios foram constatados que todos os traços com adição de resíduos atenderam plenamente às especificações das normas brasileiras, mostrando haver possibilidade de se utilizar dosagens com menos de 6% de cimento na confecção dos tijolos.

Como desvantagem do produto, tem-se o perigo do próprio uso de solo, pois quando usado indiscriminadamente pode favorecer processos erosivos ao meio ambiente. Outro ponto é o erro de dosagem, o qual pode favorecer o surgimento de patologias na construção.

2.3.8 Resíduos da construção e demolição (RCD)

Devido à grande quantidade de estudos que comprovavam os danos causados pela utilização desordenada de matéria prima, depósitos incorretos de rejeitos e poluição do meio ambiente, surgiram novas técnicas que revolucionaram a construção civil ao mesmo tempo colaboram com a ideia de uma indústria mais ecologicamente

⁹ Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/detalhe/tijolo-ecologico-solo-cimento-104899.aspx>>. Acesso em 8 nov. 2017.

correta. Dentre elas cita-se a utilização do pó de mármore e do RCD como agregado (BARBOSA *et al.* 2011)

Barbosa *et al.* (2011), por meio de ensaios em laboratório, afirma que o concreto com agregado alternativo (rejeito) alcançou melhor desempenho que o convencional (fabricado com areia de rio e agregado britado), sendo, portanto, uma solução viável o emprego desses rejeitos em conjunto. No que se refere às propriedades mecânicas, constatou-se que houve um ganho no resultado final do concreto fabricado com os rejeitos. Outra vantagem verificada foi a substituição aos materiais tradicionais (areia de rio e brita) para a produção de concreto que possibilita além da proteção do meio ambiente a redução do custo do material de construção. Porém, também apresentou menor fluidez, afetando sua trabalhabilidade e redução do módulo de elasticidade, produzindo maior tendência à formação de microfissuras.

Figura 9- Usina de britagem RCD em São Paulo



Fonte: Infraestrutura Urbana (2017) ¹⁰

¹⁰ Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/7/orgaos-publicos-reciclam-entulho-235507-1.aspx>>. Acesso em 9 nov. 2017.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se nesta pesquisa que, nesse momento de reflexão sobre a degradação e os impactos ambientais, além da preocupação com o que vai ser do planeta para as gerações futuras, tem-se na construção civil como um todo uma grande responsável por grande parcela dos danos ecológicos devido ao gasto energético para produção dos insumos e extração dos recursos naturais utilizados.

É visto que há um esforço de pesquisadores, inclusive no Brasil, sobre alternativas sustentáveis e inovadoras, buscando-se qualidade e diminuição de custos e recursos. É provado que a criatividade humana e sua capacidade de se reinventar é surpreendente e que gera frutos, desde que se haja interesse e investimentos.

Dentro da infinidade de materiais alternativos em estudo, foram abordados apenas alguns, ao meu ver, mais curiosos e acessíveis no nosso dia-a-dia.

É necessário interesse e investimentos, principalmente por parte de empresas do ramo da construção civil, uma vez que elas estão integralmente ligadas ao que diz respeito à demanda de consumo de insumos e produção de resíduos. Em tese, o custo benefício destes investimentos é altíssimo, dito que as pesquisas são direcionadas para descobertas de alternativas sustentáveis, baratas e de alta qualidade, que não comprometam a eficiência de aplicação e resistência.

Fica claro que os materiais alternativos não necessitam ser nenhuma inovação tecnológica, podem ser objetos simples e que são encontrados facilmente no dia-a-dia, dependendo apenas de estudos que comprovem sua viabilidade de aplicação. Podem ser derivados de plantas, animais e até mesmo do descarte industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, C. C. V.; CARBONARI, G. **Laje mista de bambu-concreto leve**: estudo teórico e experimental. *In*: MIX SUSTENTÁVEL, n. 2, 2017, Florianópolis.

ARAÚJO, M. **A moderna construção sustentável**. IDHEA. 2012. Disponível em: <<http://www.idhea.com.br/pdf/moderna>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

BAHIA, L. *et al.* **Utilização do papelão como alternativa de material no ramo da construção civil**. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/producao-academica/utilizacao-do-papelao-como-alternativa-de-material-no-ramo-da-construcao-civil/4630/>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

BARBOSA, M. T. *et al.* **Concreto Ecológico**. Universidade Federal de Juiz de Fora/UFJF. 18º Concurso Falcão Bauer. 2011.

BELTRAME, E. de S. **Meio Ambiente na Construção Civil**. 2013. Disponível em: <http://www.eduardo.floripa.com.br/download/Artigo_meio_ambiente.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2015.

BOELEN, S. *et al.* **A Concrete Solution for a Concrete Problem**. Universidade de Delft. 2012. Disponível em: <http://www.foundationimagine.org/uploads/media/Finalist_Bioconstruction_A_concrete_solution_for_a_concrete_problem.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2015.

BUENO, Carlos Frederico Hermeto. **Tecnologia de materiais de construção**. 1. ed. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2000. 40p.

CAIADO, A. R. **Contribuição ao Estudo da Rotulagem Ambiental dos Materiais de Construção Civil. Tese (Doutorado)**. Universidade de São Paulo/USP. 2014.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência dos materiais**: Uma introdução. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC.

CARDOSO, R. da R.; DETRO, S. P.; JÚNIOR, O. C. **Uma Visão Tecnológica sobre o Desenvolvimento de Produtos e a Sustentabilidade**. 2011. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cbgdp2011/downloads/10215.pdf>>. Acesso em 11 nov. 2017.

CNPQ. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/editais/ct/2008/025.htm>>. Acesso em nov. 2017.

DELGADO, Patrícia Santos. **O bambu como material eco eficiente**: Caracterização e estudos exploratórios de aplicação. 2011. 81f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia de Materiais) – Rede Temática em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

EHRENBRING, H. Z.; TUTIKIAN, B. F. **CONCRETOS REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS E FIBRAS RECICLADAS**. In: 7º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2016, Porto Alegre.

ENGENHARIA E CUSTOS. Pini. **Alternativas tecnológicas para edificações**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2008. 244p. v. 1.

FREIRE, Wesley Jorge, **Materiais alternativos de construção**. 1. ed. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2010. 76p.

GHAVAMI, K.; MARINHO, A.B. **Propriedades Mecânicas dos Colmos dos Bambus das Espécies: Mosó e Guadua Angustifolia para Utilização na Engenharia**. Publicação – RMNC-2 Bambu 02/2002 do Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, 45 páginas.

GHAVAMI, K.; PICANÇO, M. S. **Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia**. Artigo - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

IZQUIERDO, Indara Soto. **Uso da fibra natural de sisal em blocos de concreto para alvenaria estrutural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

KRAUSE, J. Q. **Desenvolvimento de Elementos Especiais de Bambu para Trelças Espaciais**. 2009. 138f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

MATOS, A. C. **Uso da Terra Crua em Blocos de Terra Compactada**. Monografia (Graduação em Ciência e Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido/UFERSA. 2012.

MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. **Tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção**. Universidade do Minho. Edições Ecopy. 2006.

MAZZOLI, A. MONOSI, S. PLESCIA, E. S. Evaluation of the early-age-shrinkage of fiber reinforced concrete (FRC) using image analysis methods. *Construction and Building Materials* 101 (2015) 596 – 601.

MINKE, G. **Bauen mit paper**. In: *Alternatives Bauen*. Kassel (Alemanha), 1980.

MOTTA, J. C. *et al.* **Tijolo de Solo-Cimento: Análise das Características Físicas e Viabilidade Econômica de Técnicas Construtivas Sustentáveis**. 2014. Disponível em: <<http://revistas.unibh.br/index.php/dcet/article/view/1038/665>>. Acesso em: 11 nov. 2017.

PERAZZO, N. **Considerações sobre materiais de construção convencionais e não convencionais**. Programa de pós-graduação em engenharia urbana. UFPB. 2011.

SALA, L. G. **Proposta de Habitação Sustentável para Estudantes Universitários**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul/UNIJUI. 2006.

SOUZA, M. I.; SEGANTINI, A. A.; PEREIRA, J. A. **Tijolos prensados de solo-cimento confeccionados com resíduos de concreto**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v12n2/v12n02a14.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2017.

TORGAL, F. P.; SAID, J. **A sustentabilidade dos materiais de construção**. 2.ed. Vila Verde: TecMinho, 2010. 462p.