

Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil
Intelligent use of natural resources and sustainability in civil construction
Uso inteligente de recursos naturales y sostenibilidad en la construcción

Rodrigo Alexander Lombardi Roque

Universidade de Araraquara, Brasil

E-mail: ralroque@hotmail.com.

Alexandre Coan Pierri

Universidade de Araraquara, Brasil

E-mail: pierproj@gmail.com

Recebido: 29/10/2018 | Revisado: 23/11/2018 | Aceito: 28/11/2018 | Publicado: 28/11/2018

Resumo

Nas últimas décadas a construção civil tem se engajado para implementar uma série de iniciativas com intuito de modernizar a infraestrutura urbana e promover melhores condições ambientais, sociais e econômicas que se traduzam em competitividade para o setor. Este artigo busca mediante uma análise bibliográfica abrangente compreender as tecnologias empregadas na construção civil para promover o uso inteligente dos recursos naturais, tanto em países em desenvolvimento e como desenvolvidos. Como resultado são apresentados os principais métodos para o melhor aproveitamento de energia, hídrico, e o efeito que técnicas denominadas “verdes” tem sobre a redução de custos dos empreendimentos. São exibidos dados sobre impacto ambiental, a importância da reciclagem e reaproveitamento dos resíduos da construção civil e a repercussão positiva que as diferentes certificações podem trazer aos empreendimentos. O conhecimento das tecnologias levantadas nessa revisão pode encorajar profissionais da indústria e as partes interessadas a colocar em prática ações sustentáveis na construção.

Palavras-chave: Sustentabilidade na construção civil; Tecnologias verdes na construção; Telhados verdes e Certificações na construção civil.

Abstract

In the last decades, civil construction has been engaged to implement a series of initiatives aimed at modernizing urban infrastructure and promoting better environmental, social and economic conditions that translate into competitiveness for the sector. This article seeks through a comprehensive

bibliographic analysis to better understand what technologies are being employed in building construction to promote the intelligent use of natural resources in both developing and developed countries. As a result, the main methods for better use of energy, water, and the effect that so-called "green" techniques have on the cost reduction of the enterprise are presented. The data on environmental impact, the importance of recycling and reuse of construction waste and the positive impact that the different certifications can bring to the projects are displayed. Knowledge of the technologies raised in this review may encourage industry practitioners and stakeholders to put in place sustainable building actions.

Keywords: Sustainability in construction; Green technologies in construction; Green roofs; Certifications in construction.

Resumen

En las últimas décadas la construcción civil se ha comprometido a implementar una serie de iniciativas con el fin de modernizar la infraestructura urbana y promover mejores condiciones ambientales, sociales y económicas que se traduzcan en competitividad para el sector. Este artículo busca mediante un análisis bibliográfico integral comprender las tecnologías empleadas en la construcción civil para promover el uso inteligente de los recursos naturales, tanto en países en desarrollo y como desarrollados. Como resultado se presentan los principales métodos para el mejor aprovechamiento de energía, hídrico, y el efecto que técnicas denominadas "verdes" tiene sobre la reducción de costos de los emprendimientos. Se muestran datos sobre impacto ambiental, la importancia del reciclaje y reaprovechamiento de los residuos de la construcción civil y la repercusión positiva que las diferentes certificaciones pueden traer a los emprendimientos. El conocimiento de las tecnologías planteadas en esta revisión puede alentar a profesionales de la industria ya las partes interesadas a poner en práctica acciones sostenibles en la construcción.

Palabras clave: Sostenibilidad en la construcción civil; Tecnologías verdes en la construcción; Techos verdes y Certificaciones en la construcción.

1. Introdução

A construção civil é uma das atividades mais antigas, permeia de 4000 e 2000 anos a.C., sendo possivelmente as primeiras grandes construções, as pirâmides no Egito (ALGARVIO, 2009). Esta atividade está diretamente relacionada ao crescimento populacional, pois fornece à população tanto ambientes físicos para moradia quanto para o trabalho (KARPINSK et al., 2009).

A Revolução Industrial foi o marco para a expansão da construção civil, a qual mecanizou os sistemas de produção favorecendo a geração de mercadorias como o aço, o concreto, dentre outros, as quais são utilizadas nesta prática (ALGARVIO, 2009).

A economia nacional recebe grande participação do setor e de seus negócios. Mesmo com a queda em 5,6% em 2016 no PIB da construção civil, a indústria movimentou quase 319 bilhões de reais (IBGE, 2016).

Esse ramo exerce importância para o desenvolvimento do país pois é responsável pela criação de novas tecnologias e gerador de renda e emprego (PINTO et al., 2015). Do mais, a construção civil está vinculada aos indicadores de qualidade de vida da sociedade, pois o setor aponta soluções de urbanismo e realiza as estruturas que fornecem conforto e desenvolvimento para a sociedade (ALENCAR; SANTANA, 2010).

Apesar de sua contribuição socioeconômica tem-se uma preocupação para com este setor, pois a indústria da construção afeta significativamente o ambiente, a economia e a sociedade. Em escala mundial o setor consome 40% da produção total de energia, 12-16% de toda a água disponível, 32% de recursos não renováveis e renováveis, 25% de toda a madeira, 40% de todas as matérias-primas, 30-40% de todos resíduos sólidos, e emite 35% de CO₂ (DARKO et al., 2017, SON et al., 2011)

O uso inteligente dos recursos naturais pela construção civil, com a utilização de “tecnologias de construção verdes” podem se tornar a solução para mitigar ou minimizar esses impactos negativos. Essas tecnologias compreendem diversas ações como: maior eficiência energética e hídrica, melhoria do conforto e satisfação dos ocupantes, conforto térmico, redução e reutilização de resíduos, eficiência em processos de construção e práticas de gestão, geração de emprego e renda para população carente e etc.

Este artigo busca mediante uma revisão sistemática de literatura, compreender as tecnologias empregadas na construção civil para promover o uso inteligente dos recursos naturais, tanto em países em desenvolvimento e como desenvolvidos.

2. Sustentabilidade na Construção Civil

A construção civil é um dos setores da economia com maior desenvolvimento na última década, com o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) do setor superando o do país. Em 2016, a indústria da construção civil movimentou 318,7 bilhões de reais (IBGE, 2016).

Com o mercado cada vez mais exigente e com o aumento da concorrência, produzir de modo sustentável se tornou um diferencial competitivo. A sustentabilidade na construção civil trata não só da redução do desperdício de materiais, mas de ações que permitam reduzir custos e insumos, que reaproveitem e promovam o uso inteligente de recursos naturais em obras de engenharia e que

promovam o desenvolvimento econômico, regional e social. Não há como inserir sustentabilidade na construção civil, se esta não fizer parte desde a concepção do projeto.

Existem vários fatores que influenciam e moldam a implementação de práticas e tecnologias que utilizam os recursos naturais de modo sustentável na construção civil, dentre elas destacam-se: eficiência hídrica e energética, redução de impactos ambientais, saúde, conforto e satisfação dos ocupantes, e imagem/reputação da empresa (DARKO et al., 2017). Acrescentam-se a estes fatores o reaproveitamento de resíduos e as certificações.

3. Metodologia

Quanto aos objetivos, segundo Prodanov e Freitas (2013, p.52) a redação deste trabalho pode ser classificada como descritiva pois:

Os fatos são observados, registrados, analisados, classificados e interpretados, sem que o pesquisador interfira sobre eles, ou seja, os fenômenos do mundo físico e humano são estudados, mas não são manipulados pelo pesquisador.

Os procedimentos técnicos utilizados para a realização desta pesquisa são classificados por Prodanov e Freitas (2013, p.70) como bibliográfica integrativa, e a forma de abordagem é qualitativa pois:

A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Esta não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. Os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente. O processo e seu significado são os focos principais de abordagem.

O levantamento dos dados foi realizado nas bases científicas google acadêmico e web of Science, admitindo a entrada de publicações de 2000 a 2018. Os seguintes descritores foram aplicados: sustentabilidade na construção civil, gestão gerenciamento de resíduos da construção civil, certificação na construção civil, green roofs, photovoltaic panels for energy saving e green building technologies.

A coleta de dados deu-se por:

- a) Leitura superficial para verificar se a obra consultada é de interesse para o trabalho;
- b) Leitura aprofundada para seleção de ideias que possibilitassem atingir o objetivo da pesquisa;
- c) Registro das informações extraídas das fontes em instrumento específico (autores, ano, método, resultados e conclusões).

A análise e interpretação dos resultados deu-se por leitura, ordenação e escrita das informações contidas nas fontes, com o intuito de obter as respostas que levassem a compressão da sustentabilidade na construção civil.

4. Técnicas sustentáveis aplicadas na construção civil

4.1. Telhados verdes

A urbanização e impermeabilização do solo diminuem drasticamente as áreas permeáveis nas cidades. Para manter a qualidade ambiental se faz necessário recuperar e/ou usar novas técnicas para inserir áreas verdes nesses ambientes. Deste modo, os telhados vegetais ou verdes representam uma solução para esse problema (GETTER; ROWE, 2006). Esta técnica promove inúmeros benefícios ecológicos e econômicos, incluindo conservação de energia (CASTLETON, et al., 2010), gerenciamento de águas pluviais (MENTENS; RAES; HERMY, 2006) mitigação do efeito de ilha de calor urbana (SANTAMOURIS, 2014) e torna o ambiente urbano mais agradável, e, esteticamente belo para se trabalhar e viver.

O telhado verde pode ser dividido em duas categorias distintas (extensiva e intensiva) que são relacionadas a densidade de plantio, o tipo de vegetação utilizada e a capacidade estrutural do telhado (Figura 1).

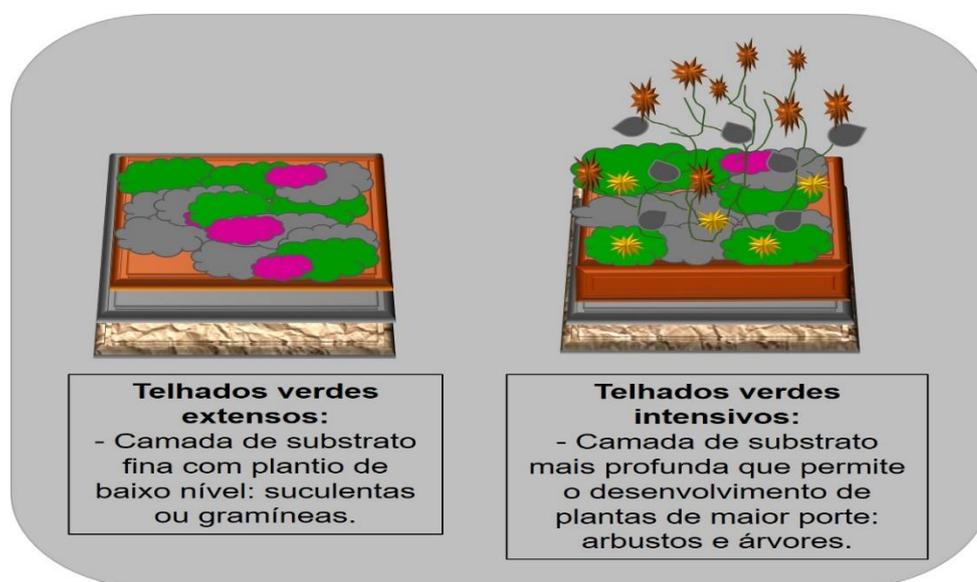


Figura 1. Esquema de telhado verde.
Adaptado de Castleton et al. (2010).

Esse sistema de cobertura é composto por camadas, sendo uma membrana impermeabilizante, meio de crescimento e a própria camada de vegetação. Em alguns projetos

são colocados uma camada para barreira de raízes e de drenagem, e, onde o clima exige, também são dimensionados sistemas de irrigação (CASTLETON, et al., 2010).

Muitos autores apontam que o escoamento das águas pluviais em áreas urbanas é um dos benefícios ambientais mais importantes dos telhados verdes (BERARDI et al., 2014; CARSON et al., 2017; CHOW; BAKAR, 2017). Isso porque estes sistemas são hidrológicamente eficientes quando comparados aos convencionais, pois aumentam a retenção de águas pluviais e diminuem o pico de vazão de água cheia em regiões muito urbanizadas (MORUZZI et al., 2014). Contudo, o efeito sobre as vazões decorrentes das precipitações pluviais em áreas urbanas está condicionado a estrutura do telhado e a inclinação, ao tipo de vegetação, o substrato e sua profundidade (BERARDI et al., 2014).

Outra vantagem do uso de telhados verdes está relacionada a diminuição da temperatura ambiente e, conseqüentemente, economia de energia com resfriamento do ambiente. Nesse tipo de cobertura, a perda de calor latente resfria e reflete mais satisfatoriamente a radiação solar incidente. A razão entre o total refletido e a radiação eletromagnética incidente é denominada albedo (CASTLETON, et al., 2010). A redução da temperatura pode ser na ordem de 1,5 a 2°C em média, com maior impacto nos climas mais quentes e secos (BERARDI et al., 2014) e a aplicação em larga escala em ambientes urbanos pode reduzir a temperatura ambiente de 0,3 °C para 3°C (SANTAMOURIS, 2014).

4.2. Reaproveitamento de águas pluviais

A gestão de recursos hídricos é uma demanda importante no planejamento de complexos residenciais em consequência à diminuição do suprimento de água doce (GARCIA-MONTOYA et al., 2016).

O desenvolvimento de modelos de reaproveitamento de águas pluviais é um conceito que há tempos tem sido aproveitado em complexos industriais. A aplicação destes modelos em ambientes residenciais, principalmente em conjuntos habitacionais vem recebendo maior ênfase nos últimos anos (GARCIA-MONTOYA et al., 2016) por ser uma medida que garante o uso sustentável do recurso, exerce menor pressão sobre os aquíferos em períodos críticos e ainda traz benefícios econômicos com a possível redução na tarifa de água.

A construção de dispositivos para armazenar água da chuva não é uma prática recente. Em ilhas gregas como Creta, esta prática é utilizada desde o início de sua habitação para garantir suprimento de água doce (ANGELAKIS, 2016).

De acordo com Domènech e Saurí, (2011) quando a água da chuva da cobertura de edifícios é captada pode atender a mais de 60% da demanda de irrigação da paisagem. Os autores citam, entretanto, que a principal desvantagem é o longo período de retorno que os sistemas de coleta de águas pluviais podem apresentar.

A captação de água da chuva em cobertura de edifícios poderia economizar até 41% de água potável no sudeste do Brasil (GHISI et al., 2007). Em Barcelona, o reaproveitamento poderia satisfazer cerca de 16% da demanda total de água doméstica da cidade, assumindo um coeficiente de escoamento de 0,8 (DOMÈNECH; SAURÍ, 2011). Em Paris, o aproveitamento de águas pluviais poderia gerar até 11% de economia do total de água potável (BELMEZETI et al, 2014).

A gestão de águas pluviais e seu melhor aproveitamento em ambientes urbanos pode ser feita de diversas maneiras. Para resolver os problemas de aumento das inundações locais, impermeabilização do solo, escassez e poluição da água promovida pelo modelo tradicional de desenvolvimento urbano, o governo chinês propôs um novo modelo chamado “Cidade Esponja” (ZHANG et al., 2018). A cidade esponja tem como objetivo inserir sustentabilidade no planejamento urbano, com ajuda do gerenciamento da construção. Nesse modelo, a água da chuva é absorvida pela cidade, armazenada, infiltrada e purificada. Se necessário, a água de armazenamento será liberada e utilizada (ZHANG et al., 2018).

Essa nova abordagem para o gerenciamento de águas pluviais utiliza procedimentos de controle multi-objetivo que buscam restaurar o ciclo hidrológico natural de águas pluviais (LI; WANG, 2015) sendo uma das melhores técnicas para adaptar os eventos de mudanças climáticas e utilizar de modo inteligente os recursos naturais em ambientes urbanos (MA et al., 2017).

De acordo com Zhang et al. (2018) a construção das cidades esponja tem as seguintes características:

- Multi-escalas: A construção é realizada em escala comunitária, escala de drenagem, escala de cidade e escala de bacia hidrográfica para que as chuvas e as inundações urbanas possam ser tratadas em multi-escalas, e o ciclo hidrológico urbano seja bem regulado.

- Período de retorno detalhado: o projeto deve abranger chuvas e inundações com período de retorno distintos (com previsão de eventos de pequeno a grande porte).

- Versatilidade: além de prevenir e aliviar o desastre de inundações urbanas, o projeto deve promover ações que mitiguem a poluição das chuvas e melhorem o escoamento e o ambiente ecológico da água.

- Multidisciplinaridade: o projeto deve ser sistemático e envolver ações para conservação da água, arquitetura, paisagismo e etc. contando com profissionais de diversas áreas para planejar, projetar, construir, operar e manter as instalações de engenharia, de supervisão e organização dos vários departamentos.

- Longevidade: A cidade da esponja precisa de longo prazo para sua construção e ter gerenciamento contínuo.

4.3. Uso de energia solar

A sustentabilidade fundamenta-se na utilização racional dos recursos disponíveis. O homem é dependente do uso de energia e equilibrar a demanda e oferta se tornou uma das principais agendas da sociedade moderna. Nesse contexto, a busca por fontes e modos alternativos para utilização da energia se mostram como solução para esta problemática (DINÇER,2011).

As tecnologias de energia renovável são conhecidas reduzir a dependência de recursos como combustíveis fósseis e, conseqüentemente, emitir menos carbono na atmosfera. Do mais, as energias renováveis evitam problemas de segurança e ambientais provenientes de energia atômica, e sob a ótica social, é mais atrativa do que a instalação de usinas hidrelétricas que provocam perda de áreas, flora e fauna e impactos sociais pela mudança da população das áreas que receberão o reservatório.

Desde a década de 1970 a utilização da energia solar ou fotovoltaica tem sido proposta como fonte de energia ilimitada e limpa. Os sistemas solares podem ter duas especificações: sistemas térmicos que convertem energia solar em energia térmica e sistemas fotovoltaicos que convertem energia solar em energia elétrica. Normalmente, os dois tipos de coletores são usados separadamente (SHAHSAVAR et al., 2011).

A radiação solar é aproveitada diretamente como fonte de energia térmica, para geração de potência mecânica ou elétrica (CHOW, 2010). O processo fotovoltaico ocorre, quando os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, valendo-se de materiais semicondutores como o silício, o arsenieto de gálio, telurieto de cádmio ou disselenieto de cobre e índio.

De acordo com Parida et al. (2011):

Os dispositivos fotovoltaicos são robustos e de design simples e exigem pouca manutenção. Com um vasto conjunto de aplicações são usados como fonte de energia, bombeamento de água, sistemas domésticos de energia solar, comunicações, satélites e veículos espaciais e até usinas elétricas de escala de megawatts.

Os sistemas de conversão de energia solar e esquemas de iluminação natural se efetivam como estratégias importantes para produção de energia limpa, e representam economia de gastos com eletricidade em edifícios (LI et al., 2009) ou em indústrias (TORRE et al., 2018).

Ao utilizar painéis fotovoltaicos semitransparentes, juntamente com controles de dimerização, Li et al. (2009) determinaram uma economia anual de eletricidade em um edifício em Hong Kong, na ordem de 1.203 MWh, o que representa 12% do gasto anual. Do ponto de vista ambiental, as emissões anuais de CO₂, SO₂, NO_x e partículas poderiam ser reduzidas em, 852; 2,62; 1,45 e 0,11 toneladas, respectivamente, em comparação a utilização de energia proveniente de combustíveis fósseis.

A desvantagem da utilização desse sistema está relacionada a sua eficiência. Fatores como radiação solar, sombreamento e temperatura das placas fotovoltaicas pode afetar negativamente o sistema e se traduzir em queda da produção de energia (GAGLIA et al., 2017). Diante da necessidade em melhorar a eficiência dos sistemas de geração de energia fotovoltaica Shamsavar et al. (2011) sugeriram a utilização do ar exaustão de condicionadores de ar como fluido de resfriamento de um painel fotovoltaico com 10 m² superfície, em uma configuração denominada instalação térmica fotovoltaica integrada. Os pesquisadores concluíram que se utilizados nesta configuração, há o aumento da produção de eletricidade pelas placas em quantidade de 10,1%, o que acarreta uma produção de 129,2 kWh de energia elétrica extra durante um ano.

Sob a ótica social, o uso da energia solar fotovoltaica se apresenta como boa prática para geração de emprego e renda. A nível mundial em 2017, 3,4 milhões de pessoas foram empregadas diretamente ou indiretamente pelo setor (IRENA, 2018).

4.4. Gestão e gerenciamento de resíduos na construção civil

Os resíduos da construção civil (RCC) são todos os resíduos provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil. Além dos resultantes da preparação e da escavação de terrenos, como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., os quais são comumente chamados de entulhos de obras (BRASIL, 2002).

Devido à falta de infraestrutura em consequência da não adoção de políticas públicas voltada ao setor, o descarte dos RCC ocorre de modo irregular muitas vezes em aterros clandestinos, acostamentos e rodovias e, portanto, poluem o solo, degradam paisagens e tornam-se uma ameaça à saúde pública, ao favorecer o aparecimento de animais peçonhentos, e, de espécies patogênicas como ratos, moscas, vermes, bactérias, vírus, dentre outras para o ser humano (SCHNEIDER, 2003). A demanda desses impactos é intensificada pela quantidade e volume dos RCC, que podem compreender de 50 a 70% do total de resíduos sólidos urbanos (BRASIL, 2005).

O volume gerado de RCC em 2014 no Brasil, compreende cerca de 45 milhões de toneladas, o que representa aumento de 4,1% em relação a 2013 (ABRELPE, 2014), encontrando-se na região sudeste, seguida de região nordeste e sul a maior geração destes resíduos (Figura 2).

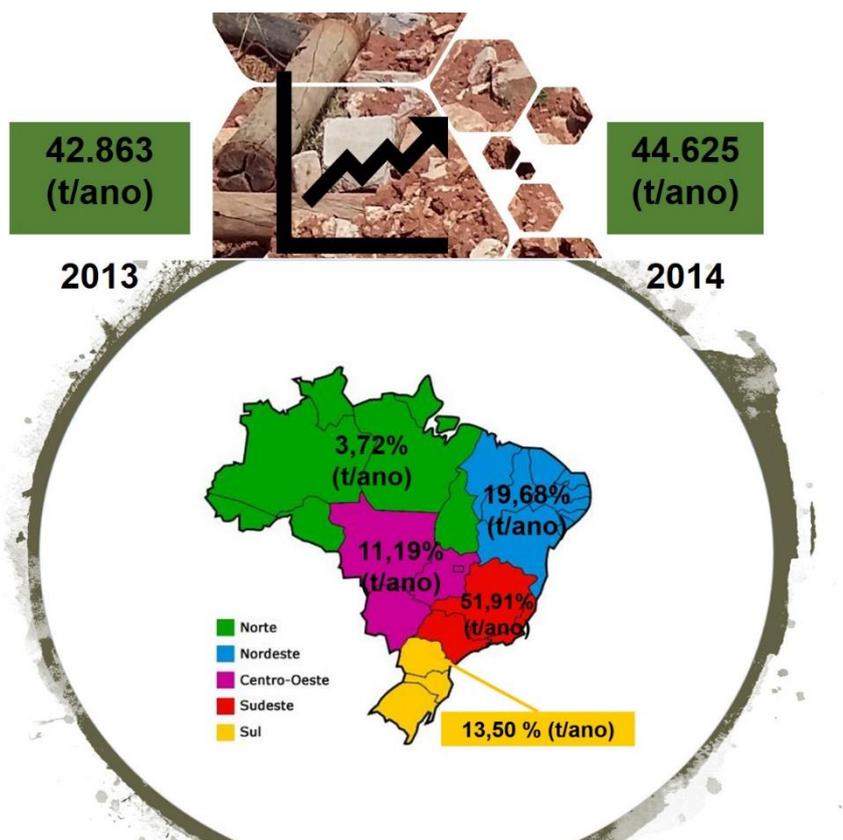


Figura 2. Quantidade total de RCC coletado no Brasil em 2014.
Adaptado de ABRELPE, 2014

A crescente quantidade de geração dos RCC's demanda atenção especial principalmente quanto ao seu tratamento e destinação final, pois geralmente os municípios coletam somente os resíduos deixados nos logradouros públicos (ABRELPE, 2014), sendo os demais depositados em locais inadequados.

A disposição inadequada trata-se de uma prática ilegal com implicações negativas e de difícil monitoramento que denota adoção de medidas de controle e remediação com custos cada vez mais elevados.

Para a gestão dos RCC é necessário o estabelecimento de diretrizes, critérios e metodologias que permitam ganhos de ordem social, econômica e ambiental, ao direcionar quais procedimentos para minimizar impactos ambientais gerados por este tipo de resíduo (BRANDÃO, 2013). A inserção de um programa de gestão e gerenciamento adequado evita a disposição em locais inapropriados como terrenos, encostas e áreas de preservação permanente.

Como forma de preservação de ecossistemas e da gestão adequada destes resíduos, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece diretrizes, critérios, classificação e procedimentos para a gestão e reutilização, com o intuito de minimizar os impactos ambientais ocasionados por estes (BRASIL, 2002). Mediante ao pressuposto, diversas práticas de reutilização dos

RCC em diversos setores, estão sendo adotados: na própria construção civil, na agricultura e como paisagismo.

Em países desenvolvidos a reciclagem ou reutilização de resíduos é vista como um mercado promissor e altamente rentável, pois propicia uma redução de gastos na compra de materiais originados pelos resíduos, visto servirem como matéria-prima para produção de outros compostos utilizados na prática da construção civil (MENEZES et al., 2002).

O reaproveitamento de resíduos em solos agrícolas é uma prática difundida em muitos países, principalmente quanto ao uso de resíduos orgânicos urbanos que podem agir como fertilizantes e/ou condicionadores do solo, a partir do o fornecimento de nutrientes neles contidos e/ou com benefícios ligados ao seu conteúdo orgânico (PIRES; MATIAZZO, 2009).

Em função de sua composição, RCC cinza podem exercer função condicionante do solo ou ser utilizados como substrato de plantas e mudas. Orlandi Lasso et al, (2013), verificaram que estes resíduos proporcionaram aumento de atributos que contribuem para fertilidade do solo (capacidade de troca catiônica, e teor de magnésio, cálcio), e que em concentrações superiores a 24 t ha⁻¹ podem exercer função na correção da acidez de solos, proporcionando significativos ganhos de produtividade na cultura da alfafa.

5. Certificações

Nas últimas décadas, diversos eventos como a Conferência Internacional em Estocolmo e a ECO 92 discutiram e levantaram questionamentos sobre a responsabilidade da sociedade para com os recursos naturais e tentaram definir ações que contemplassem atender as necessidades econômicas e sociais da humanidade sem comprometer as gerações futuras.

Sob esta ótica, o setor da construção civil passou a implementar ações na direção da sustentabilidade. Foi então criado o Conselho Brasileiro de Construção Sustentável em 2007, com o objetivo de difundir práticas sustentáveis no setor a fim de trazer qualidade de vida aos usuários, trabalhadores e para o ambiente em torno da edificação.

Das ações sugeridas para se alcançar a sustentabilidade, a certificação tem se tornado um diferencial de mercado ao implantar ações para melhorar o gerenciamento das obras, com redução de custos e que melhor aproveitem os recursos naturais.

Nascimento et al. (2016) destacam que o objetivo da certificação é promover a conscientização de todos os indivíduos envolvidos nas etapas da construção. Normas e instruções deverão ser definidas para que a realização do empreendimento ocorra da melhor maneira, com avaliações para garantir o desenvolvimento da obra segundo os conceitos estabelecidos.

A certificação traz diversos benefícios como maior valorização, visibilidade e credibilidade do empreendimento, potencial de atingir novos mercados, redução de custos de produção e na utilização de recursos naturais, menor impacto ambiental.

A metodologia de avaliação para a certificação pode ocorrer quando: 1) considerar análise estatística, a partir de um banco de dados de uma determinada população, que constitui uma determinada amostra são criados então valores estatísticos que servem como referência para definição de meta. 2) em créditos que se transformaram em índices com ponderação de uma categoria. A classificação se dá em níveis de ambientalmente correto, sendo o sistema fornecedor de padrões e diretrizes de projeto que possibilitam medir a eficiência e sintonia com o ambiente. E, finalmente se baseando no 3) desempenho, com gestão dos processos. Ocorre a divisão por categorias e o desempenho do empreendimento auditado deve ser igual ou maior ao normalizado. Não existem níveis intermediários a classificação é dada como ambientalmente correto ou não (Figura 3). Cada uma apresenta implicações diferentes dado a metodologia diferenciada (LEITE, 2011).

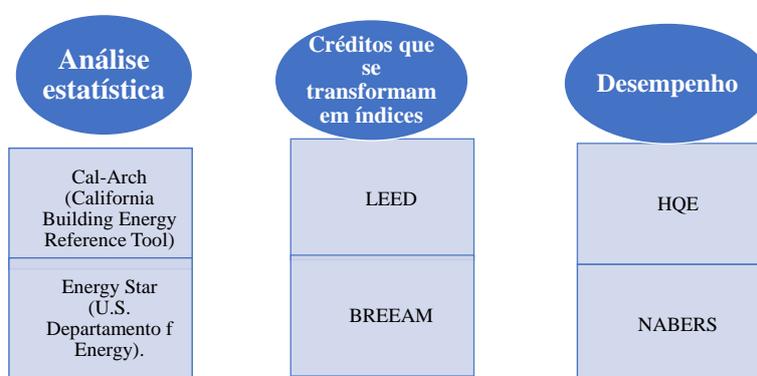


Figura 3. Exemplos de certificações de acordo com as diferentes metodologias de certificação.
Fonte: Adaptado de Leite (2011).

As certificações se dão por adesão, baseadas em modelos de instrumentos de avaliação da sustentabilidade. Os sistemas de certificação da construção civil mais utilizados no Brasil são o LEED e HQE (*Haute Qualité Environnementale*) ou AQUA (CONTO et al., 2017).

O sistema LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) está presente em mais 160 países, e fundamenta-se num programa que avalia o desempenho ambiental de um empreendimento, considerando seu ciclo de vida. Para a obtenção do selo, sete dimensões são avaliadas nas edificações: (i) implantação sustentável, (ii) eficiência hídrica, (iii) energia e atmosfera, (iv) materiais e recursos, (v) conforto ambiental, (vi) inovação e projeto e (vii) créditos regionais (CONTO et al., 2017).

Leite (2011) diz que:

A certificação acontece em níveis que quantificam o grau de proteção ambiental obtido no empreendimento. O método de avaliação acontece através da análise de documentos que indicam sua adequação aos itens obrigatórios e classificatórios. Em um sistema de pontos que pode variar dependendo da categoria de certificação, são definidos os níveis de certificação. Há requisitos mínimos que

devem ser atendidos ainda na fase de projeto, determinando ou não a possibilidade do projeto ser certificado.

O LEED oferece quatro níveis de certificação que dependem da pontuação total obtida na avaliação. Para obtenção da certificação básica deve-se obter de 40 a 49 pontos, selo prata (Silver) para pontuações entre 50 e 59 pontos, selo ouro (Gold) – para pontuações entre 60 e 79 pontos e, selo platina (Platinum) – para pontuações entre 80 e 110 pontos (GBC, 2018).

Os custos para a implantação de um sistema LEED são dependem do nível de certificação. No início da certificação (anos 2000) estimou-se que o custo de edifícios verdes representava 25% a mais em comparação a edifícios convencionais (UĞUR; LEBLEBICI, 2017). Contudo, não há um consenso que as técnicas de construção verdes que possibilitam a certificação representam um custo extra. Em uma revisão de literatura, Dwaikat e Ali (2016) avaliam que os custos para construções verdes variam de -0,4% a 21%. Na Turquia, para obtenção dos selos ouro o custo adicional de construção foi de 7,43% e platina 9,43%. Porém, a redução no custo anual de consumo de energia e água foi determinada em 31% e 40%, respectivamente nos 2 edifícios avaliados (UĞUR; LEBLEBICI, 2017). Nesse caso a certificação possibilitou maior economia nos custos operacionais.

A certificação HQE (Haute Qualité Environnementale) surgiu na França em 2002 e foi adaptada em 2007 como AQUA (Alta Qualidade Ambiental) no Brasil. O processo AQUA certifica a edificação, mediante auditorias independentes que avaliam 14 requisitos (1- relação do edifício com o seu entorno, 2- escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos, 3- canteiro de obras de baixo impacto ambiental, 4- gestão da energia, 5- gestão da água, 6- gestão de resíduos de uso e operação do edifício, 7- manutenção – permanência do desempenho ambiental, 8- conforto higrotérmico, 9- conforto acústico, 10- conforto visual, 11- conforto olfativo, 12- qualidade sanitária dos ambientes, 13- qualidade sanitária do ar, 14- qualidade sanitária da água), dos quais o empreendimento deve alcançar no mínimo três resultados de nível excelente, quatro superiores e sete bons para garantir a certificação (LEITE, 2011).

O processo de certificação é empregado nas fases de Programa, Concepção, Realização e Operação do empreendimento, por intermédio de auditorias presenciais agendadas, seguido de análise técnica e outorga dos certificados em cada etapa, que expiram sua validade até a auditoria final da próxima fase (DALLA COSTA et al., 2013).

Tanto o LEED quanto o AQUA têm em comum a busca pelo controle da geração de resíduos, a preservação dos recursos naturais e a redução no consumo de água e energia, porém, cada sistema possui características e exigências específicas (DALLA COSTA et al., 2013) e formas de certificação específicas.

A certificação pode ser considerada uma vantagem comercial que permite ao empreendedor agregar valor aos seu produto e ao aplicar ações sustentáveis na construção civil. A longo prazo tanto

o empreendedor quanto a sociedade ganham, pois, o investimento inicial poderá ser revertido na economia de insumos e recursos naturais.

6. Conclusões

Diante do exposto, é notório que construir de modo sustentável não é mais uma particularidade de países desenvolvidos que empregam em seus projetos ações para reciclagem de resíduos, conforto térmico e redução do consumo de energia com aplicação de telhados verdes, sistemas mais eficientes para drenagem urbana e reaproveitamento da água da chuva e etc. Nos países em desenvolvimento o conceito de construções sustentáveis que utilizam os recursos naturais de modo inteligente começa a tomar forma, principalmente, com reciclagem de resíduos, instituição de programas de gestão e certificação ambiental com o emprego de energia fotovoltaica em moradias populares.

Deste modo, vislumbramos que o desenvolvimento econômico da indústria da construção civil, com a utilização dos recursos naturais de forma sustentável é possível desde haja planejamento prévio e este seja um dos objetivos de todos os envolvidos no processo.

Ao aplicar processos denominados verdes tem-se menor pressão do setor sobre os recursos naturais e benefícios como a redução de custos de produção e de custos operacionais que seriam arcados pelo consumidor final. Cabe ao empreendedor selecionar as melhores técnicas que estejam ao alcance de acordo com sua realidade.

Do mais, o conhecimento das tecnologias levantadas nessa revisão pode encorajar profissionais da indústria e as partes interessadas alcançar a sustentabilidade na construção civil.

Partindo dos conceitos trabalhados no decorrer desse estudo, para novas pesquisas, sugere-se que seja realizada um levantamento mais aprofundado, em campo, das ações que construtoras e incorporadoras já realizam para promover o uso inteligente sustentável de recursos naturais. Esses resultados podem subsidiar novas políticas públicas para o incentivo destas ações, e também possibilitaria a criação de uma bases de dados nacional elencando as vantagens de se construir com conceitos de sustentabilidade para incentivar o crescimento e aplicação dessas ações.

Referências

- ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2010. (2011). Disponível em: <<http://www.abrelpe.org.br/downloads/Panorama2010.pdf>>.
- Alencar, L. H., & Santana, M. O. (2011). Análise do gerenciamento de múltiplos projetos na construção civil. *Revista de Gestão e Projetos-GeP*, 1(1), 74-92.

- Algarvio, D. A. N. (2009). *Reciclagem de resíduos de construção e demolição: Contribuição para controlo do processo* (Doctoral dissertation, FCT-UNL).
- Angelakis, A. N. (2016). Evolution of rainwater harvesting and use in Crete, Hellas, through the millennia. *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(6), 1624-1638.
- Belmeziti, A., Coutard, O., & De Gouvello, B. (2014). How much drinking water can be saved by using rainwater harvesting on a large urban area? Application to Paris agglomeration. *Water Science and Technology*, 70(11), 1782-1788.
- Berardi, U., GhaffarianHoseini, A., & GhaffarianHoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411-428.
- Brandão, M. F. (2013). Análise e avaliação da gestão de resíduos da construção civil em Belo Horizonte.
- Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução 307 de 5 de julho de 2002**. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2002. Disponível em: <
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>
- Brasil. Ministério das Cidades. Ministério do Meio Ambiente. Área de manejo de resíduos da construção e resíduos volumosos: Orientação para o seu licenciamento e aplicação da resolução CONAMA 307/2002. Brasília, DF, 2005.
- Carson, T., Keeley, M., Marasco, D. E., McGillis, W., & Culligan, P. (2017). Assessing methods for predicting green roof rainfall capture: A comparison between full-scale observations and four hydrologic models. *Urban Water Journal*, 14(6), 589-603.
- Castleton, H. F., Stovin, V., Beck, S. B., & Davison, J. B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and buildings*, 42(10), 1582-1591.
- Chow, M. F., & Bakar, M. F. A. (2017, July). Environmental Benefits of Green Roof to the Sustainable Urban Development: A Review. In *Global Civil Engineering Conference* (pp. 1525-1541). Springer, Singapore.
- Chow, T. T. (2010). A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology. *Applied energy*, 87(2), 365-379.
- Conto, V., de Oliveira, M. L., & Ruppenthal, J. E. (2017). Certificações ambientais: contribuição à sustentabilidade na construção civil no Brasil. *Revista GEPROS*, 12(4), 100.
- Corrêa, L. R. (2009). Sustentabilidade na construção civil. *Monografia (Curso de Especialização em Construção Civil)-Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais*.
- Dalla Costa, E., & MORAES, C. D. (2013). Construção Civil e a Certificação Ambiental: Análise comparativa das certificações LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) e AQUA (Alta Qualidade Ambiental). *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 10(3).
- Darko, A., Chan, A. P., Owusu-Manu, D. G., & Ameyaw, E. E. (2017). Drivers for implementing green building technologies: An international survey of experts. *Journal of cleaner production*, 145, 386-394.

- Dincer, F. (2011). The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 713-720.
- Domènech, L., & Saurí, D. (2011). A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner production*, 19(6-7), 598-608.
- Dwaikat, L. N., & Ali, K. N. (2016). Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. *Energy and Buildings*, 110, 396-403.
- Gaglia, A. G., Lykoudis, S., Argiriou, A. A., Balaras, C. A., & Dialynas, E. (2017). Energy efficiency of PV panels under real outdoor conditions—An experimental assessment in Athens, Greece. *Renewable energy*, 101, 236-243.
- García-Montoya, M., Sengupta, D., Nápoles-Rivera, F., Ponce-Ortega, J. M., & El-Halwagi, M. M. (2016). Environmental and economic analysis for the optimal reuse of water in a residential complex. *Journal of Cleaner Production*, 130, 82-91.
- GBC Brasil. Certificação LEED. Disponível em: <http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>. Acesso em 23 de setembro de 2018.
- Getter, K. L., & Rowe, D. B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285.
- Ghisi, E., Bressan, D. L., & Martini, M. (2007). Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*, 42(4), 1654-1666.
- IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Serviços e Comércio, Pesquisa Anual da Indústria da Construção 2016. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/54/paic_2016_v26_informativo.pdf
- International Renewable Energy Agency- IRENA. (2018). Renewable energy and jobs – annual review 2018, 28. Disponível em: <http://www.irena.org/publicationsearch>
- Karpinsk, L. A. (2009). Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Edipucrs.
- Orlandi Lasso, P. R., Pedro Vaz, C. M., de Campos Bernardi, A. C., Ribeiro de Oliveira, C., & Santos Bacchi, O. O. (2013). Avaliação do uso de resíduos de construção e demolição reciclados como corretivo da acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(6).
- Leite, V. F. (2011). Certificação ambiental na construção civil—Sistemas LEED e AQUA. *Belo Horizonte*.
- Li, D. H., Lam, T. N., Chan, W. W., & Mak, A. H. (2009). Energy and cost analysis of semi-transparent photovoltaic in office buildings. *Applied Energy*, 86(5), 722-729.
- Li, J.Q. and Wang, W.L. (2015) Construction and Prospect of Urban Rainwater System Based on Multiply Objective. *Water and Wastewater*, No. 4, 1-3.

- Ma, Z., Hu, J., Feng, P., Gao, Q., Qu, S., Song, W., & Liu, J. (2017). Assessment of Climate Technology Demands in Chinese Sponge City. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 5(12), 102.
- Menezes, R. R., Neves, G. D. A., & Ferreira, H. C. (2002). O estado da arte sobre o uso de resíduos como matérias-primas cerâmicas alternativas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 6(2), 303-313.
- Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. *Landscape and urban planning*, 77(3), 217-226.
- Moruzzi, R. B., Moura, C. C. D., & Barbassa, A. P. (2014). Avaliação do efeito da inclinação e umidade antecedente na qualidade e quantidade das parcelas escoadas, percoladas e armazenadas em telhado verde extensivo. *Ambiente Construído*, 59-73.
- Nascimento, T. L., Leão, D. C., & Rocha, J. S. M. (2016). Certificação Ambiental Na Construção Civil Brasileira. *Revista Acadêmica FEOL*, 1(1), 104-118.
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(3), 1625-1636.
- Pinto, J. S., Oliveira, A. C., Costa, H. S., Vilhena, J. P. (2015). Análise de viabilidade econômica de um imóvel na cidade de Macapá (AP) através do programa habitacional minha casa minha vida. In: *XXXV Encontro Nacional De Engenharia De Produção*, Fortaleza.
- Prodanov, C. C., & Freitas, E. C. (2006). Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013. SÃO PAULO. Lei Nº 12300, de 16 de março de 2006. *Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes*.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, 103, 682-703.
- Schneider, D. M. (2003). Deposições irregulares de resíduos da construção civil na cidade de São Paulo. *São Paulo*, 131.
- Shahsavari, A., Salmanzadeh, M., Ameri, M., & Talebizadeh, P. (2011). Energy saving in buildings by using the exhaust and ventilation air for cooling of photovoltaic panels. *Energy and Buildings*, 43(9), 2219-2226.
- Son, H., Kim, C., Chong, W. K., & Chou, J. S. (2011). Implementing sustainable development in the construction industry: constructors' perspectives in the US and Korea. *Sustainable Development*, 19(5), 337-347.
- Torre, P. Y. G., Alves, J. C. M., & Corrêa, S. F. (2018). Análise de eficiência energética para indústria têxtil: um estudo de caso em uma empresa de Minas Gerais. *Revista Produção Online*, 18(1), 238-264.
- Uğur, L. O., & Leblebici, N. (2017). An examination of the LEED green building certification system in terms of construction costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.

Zhang, S., Li, Y., Ma, M., Song, T., & Song, R. (2018). Storm Water Management and Flood Control in Sponge City Construction of Beijing. *Water*, 10(8), 1040.