

86 – Coordenação Modular e Arquitetura: Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade

Modular Coordination and Architecture: Technology, Innovation and Sustainable Development

FERREIRA, Mario dos Santos(1), BREGATTO, Paulo Ricardo (2), D'AVILA, Márcio Rosa (3)

(1)Arq., Dr. Eng., Docente Pesquisador na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAUPUCRS
msferreira@pucrs.br

(2)Arq., Me., Docente Pesquisador na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAUPUCRS
bregatto@bregatto.com.br

(3)Arq., Dr. Eng., Docente Pesquisador na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAUPUCRS
davila@pucrs.br

Resumo

O artigo aborda uma revisão dos conceitos correntes da arquitetura, ainda hoje adotados para execução do ambiente construído, na busca de uma condição de equilíbrio na extração, utilização e reutilização dos recursos renováveis e não-renováveis disponíveis no meio. Sabe-se hoje que a relação entre o princípio da sustentabilidade planetária e o conceito de eco-eficiência é o condicionante principal no projeto das edificações para este milênio. A arquitetura, vista neste particular como um agente de materialização de tecnologia, pode conferir ao ambiente construído um novo caráter, sob a ótica da preservação e recuperação ambiental. A ferramenta coordenação modular comparece como variável determinante na otimização dos insumos e componentes envolvidos neste cenário, em especial, em estudo de caso da *ökologische siedlung* na Alemanha .

Palavras-chave: Teoria do Arquitetura; Coordenação Modular; Sustentabilidade.

Abstract

*This paper presents a revision of current architectural concepts, still in use for the construction process of built environments, within the search for a condition of balance in the extration, use and re-use of recyclable and non-recyclable natural resources. It is common knowledge that relation between the principle of planetary sustainability and that of eco-efficiency is the main issue for the design of buildings in this millennium. Architecture, viewed as a materializing agent of technology, can bring about a new qualitative character to the built environment, from the point of view of preservation and environmental renovation. The modular coordination tool may act as a deciding variable in the optimization of raw-materials and components involved in this scenario, especially in the case study of the *Ökologische Siedlung*, in Germany.*

Keywords: *Architectural Theory; Modular Coordination; Sustainable Development.*

Sustentabilidade: eco-eficiência de materiais e componentes da edificação

Sabe-se que a manutenção do equilíbrio dos ecossistemas passa obrigatoriamente por mudanças nos processos industriais, nos modelos de produção hoje utilizados, os quais permitam aproximações do modelo de sustentabilidade estabelecido como adequado ao planeta.

Desenvolvimento sustentável é definido como a busca pelo atendimento das necessidades da geração atual sem comprometer o direito das futuras gerações. Esta postura passa pelo equacionamento de dois fatores:

atendimento das necessidades humanas (condições essenciais de vida) e as limitações que devem ser estabelecidas para as soluções tecnológicas e a utilização dos recursos naturais renováveis e não-renováveis (ou renováveis em longo prazo). A fixação de conceitos de sustentabilidade determina que o *melhor produto e o melhor processo* são aqueles que forem melhores para a preservação do ambiente. Este conceito incorpora, portanto, aspectos de rentabilidade econômico-financeira, eficiência produtiva, qualidade de processo e de produto.

Ecologia, segundo Munasinghe (1993), é um problema econômico na medida em que, os ecossistemas que dependem de condições de equilíbrio de relações de trocas, envolvidos, neste caso, aspectos referentes à produção e consumo. Em nível mundial estão estabelecidos conceitos de sustentabilidade dentre os quais o melhor produto e o melhor processo são aqueles que forem melhores para o ambiente, com a consideração de fatores como rentabilidade econômico-financeira, eficiência produtiva e qualidade de processo e produto. Segundo Lerípio (1997), a corrente da sustentabilidade entende ainda que poluição é uma forma de desperdício e ineficiência dos processos produtivos pela perda de matérias-primas e insumos, nos processos de produção. Neste cenário descrito, pode-se afirmar que a busca da qualidade ambiental no projeto da edificação passa necessariamente pela escolha de materiais e componentes, a partir do efetivo conhecimento de seu processo produtivo, do balanço energético final, seu potencial de inserção num sistema construtivo racional e otimizado, no que tange a processo construtivo, além das usuais variáveis estético-formais que configuram o ente arquitetônico.



Figura 1 - Lojas alemãs, especializadas em matérias de construção não-convencionais, com balanço energético da produção equilibrado.

Hoje o requisito principal de projeto reside na *eco-eficiência* da edificação. *Eco-eficiência* de um produto ou componente consiste na característica ambiental incorporada via projeto. O produto eco-eficiente apresenta requisitos especiais, que o diferencia de outros, no que se refere ao processo de fabricação, estoque, distribuição, utilização e descarte, adequado aos seus usuários e ao meio natural, no qual estes se inserem. Configura-se como o mais importante em qualquer programa de necessidades a ser concebido, com características de sustentabilidade.

Sustentabilidade na edificação versus balanço energético dos componentes: pinus, eucalipto e cerâmica.

Nas décadas de oitenta e noventa, proliferaram políticas públicas orientadas para soluções de habitação de interesse social, orientadas para a utilização de materiais dito “ecológicos” como materiais cerâmicos e madeiras de reflorestamento. No entanto, pesquisas anteriores na década de setenta, já demonstravam perdas energéticas nos processos de produção e danos ambientais significativos. Atualmente, com a incorporação dos fundamentos da sustentabilidade, as conclusões são reafirmadas por autores atuais.

As repercussões ambientais da monocultura do eucalipto e do pinus concentram-se, dentre outras, no consumo de reservas hídricas. Segundo Oliveira (2007), considerando apenas as plantações comerciais das principais espécies introduzidas plantadas no país, o eucalipto responde por mais de 2/3 (135 milhões de m³), da capacidade de produção sustentada (184 milhões de m³ anuais) enquanto que o pinus contribui com 1/3 restante (49 milhões de m³).

Afirma ainda que um dos impactos ambientais causado pelo monocultivo do eucalipto é a redução e perda da biodiversidade da flora e da fauna. A monocultura do pínus e eucalipto representam perda (extinção) de espécies nativas e alterações ambientais como a biocontaminação dos ecossistemas adjacentes por espécies invasoras como o Pínus *elliottii*. Estudos à época apontavam para o alto consumo de água das plantações de eucalipto causando a redução da quantidade de água presente naturalmente na região do plantio. Alguns estudos comprovam que o Eucalipto consome pelo menos 200 litros de água por dia. Informava, ainda, que para produzir um quilo de madeira de eucalipto são necessários 350 litros de água.

Segundo Elia (2006), o pinus também avança sobre as matas nativas por conta própria. Suas sementes se propagam facilmente e germinam em qualquer lugar. No Rio Grande do Sul, a invasão aconteceu na área de restinga do Parque Nacional Lagoa do Peixe. Completa o autor afirmando que cerca de 5% do território de Santa Catarina já está coberto por plantações de pinus com tendência de aumento. Corresponde hoje a 85% das espécies cultivadas em solo catarinense.

Com relação aos produtos cerâmicos, Soares (2003) afirma que “*Cada etapa do ciclo de vida do produto tem conseqüências ambientais, desde a extração da matéria-prima até a eliminação do resíduo*”. De acordo com o pesquisador, as etapas do ciclo de vida da cerâmica que mais exercem influência sobre o meio ambiente são três: a extração da matéria-prima, a escolha e forma de utilização da fonte energética e a emissão dos resíduos resultantes do processo de produção.

Na década de noventa, Langhans (1991) já demonstrava preocupação com as perdas de 32% na produção de telhas cerâmicas e alertava para os custos de energia (em torno de 40%) em relação aos custos totais de produção. Sales et al (2007) afirmam que no Ceará as mais de 300 cerâmicas usam lenha como combustível acelerando o desmatamento, a níveis alarmantes, além da extração de argila, feita de maneira degradante. Satler (2007), de sua parte, destaca o empirismo no processo de composição da mistura a ser conformada, considerado o consumo de água. O consumo energético e respectivas perdas no processo de fabricação de produtos de cerâmica vermelha, telhas e tijolos, são ainda incógnitas nas indústrias de pequeno e médio porte, segundo o autor. O modo de produção industrial se propõe a obter, com economia de escala, a compatibilização e a otimização de qualidade, quantidade e custo. Esta meta resulta de uma racional aplicação de recursos, da eliminação dos desperdícios e do aumento de eficiência dos fatores de

produção, mão-de-obra e equipamentos. A coordenação modular deve ser entendida como um instrumento físico e econômico, vinculada à composição arquitetônica, à tecnologia e à produção.

Coordenação Modular na Arquitetura

A coordenação modular em arquitetura é definida como um método ou abordagem de projeto, com elementos construtivos dimensionados a partir de uma unidade de medida comum. A unidade, chamada de módulo, define as dimensões e proporções dos elementos, estabelecendo uma relação de dependência entre eles e o produto final, a edificação. O uso de módulos na arquitetura pode ser encontrado em várias épocas, desde a Antiguidade. O módulo dos clássicos era certamente um *módulo-forma*, enquanto o *Modular* de Le Corbusier (1976), pode ser considerado como *módulo-função*. As séries de módulos, adotados pelos romanos, revelam características de *módulo-objeto*. Dentre as aplicações mais antigas o *Ken*, módulo japonês, derivado do *tatami*, representa também um raro exemplo de *módulo-objeto*. A partir disto, é oportuno ressaltar que a coordenação dimensional é habitualmente entendida como um instrumento de normalização das partes da edificação.

No caso da coordenação modular, a norma brasileira NBR-5706 (ABNT, 1977) assim a define:

“Técnica que permite relacionar as medidas de projeto com as medidas modulares por meio de um retículo espacial de referência.”

Ao serem utilizadas, simultaneamente, unidade de medida para um espaço organizado (*módulo-função*) e outra para o invólucro (*módulo-forma*), se está articulando as dimensões dos espaços parciais com as dos componentes e compatibilizando-as entre si. A compatibilização geral, entretanto, ocorrerá a partir da definição do *módulo-objeto*, responsável pela repetitividade exigida pela escala de produção .

A ordenação e a organização destes elementos-módulos, dentro da construção, ocorreram de forma diferenciada, em cada período da história da arquitetura. A coordenação modular hoje, no entanto, apresenta uma série de problemas ainda não solucionados, quais sejam: adaptação dos materiais e componentes a um sistema modular único, padronização e unificação do módulo base no mercado mundial e a preparação dos profissionais para a utilização do sistema de coordenação modular. Para que a aplicação da coordenação modular se dê de uma forma abrangente será necessária uma mudança radical das técnicas construtivas, modificação dos métodos de fabricação e um nível de projeto e detalhamento mais apurado.

O modo de produção industrial está fundamentado em princípios de continuidade física, temporal e conceitual. O princípio da continuidade física está vinculada à organização da produção, no que tange a arranjo físico e meio de produção (máquinas, ferramentas e dispositivos). O princípio da continuidade temporal depende do sincronismo de tempos de produção previstos e dimensionados de acordo com metas e capacidade instalada. O princípio conceitual resulta da unidade e coerência entre previsão e ação dos recursos humanos intervenientes no processo. A continuidade é fruto de organização e da previsão, decorrente da simplificação, através do estabelecimento de rotinas produtivas e da eliminação da casualidade nas decisões, eliminando erro e acidente, otimizando o trabalho.

A coordenação modular é o instrumento destinado a coordenar as dimensões dos elementos produzidos na fábrica com os projetos arquitetônicos. Sua aplicação implica numa disciplina de trabalho considerada indispensável para que a industrialização e racionalização do processo construtivo possam ser realizadas de

forma orgânica, correta e segura. Cabe, porém, salientar que a coordenação modular, na construção civil, é impossível se não existir um projeto integral do edifício. Nada poderá ser omitido ou deixado para estudo posterior no decorrer da execução (montagem). O arquiteto, portanto, passa a modificar sua lógica de projeto compreendendo que o problema não é de modulação de espaços e sim, de dimensões que se relacionam com a utilização de elementos construtivos pré-fabricados. A coordenação modular, como muitos acreditam, jamais compromete a capacidade criativa de um arquiteto. Pelo contrário, a existência dos condicionantes da coordenação modular resulta em obras cujos valores estético-formais estarão em harmonia perfeita com os valores sócio-econômicos.

Coordenação modular e sustentabilidade: experiência com *ökologische siedlung* na Alemanha

Os movimentos alternativos da década de 60, a procura de um outro modo de vida, de moradia e de integração com a natureza, buscaram o desenvolvimento de uma construção civil direcionada ao resgate da tradição, da qualidade de vida e construtiva da habitação de forma participativa. Estes movimentos levaram ao surgimento de várias iniciativas, as quais objetivavam integrar em um ambiente natural uma concepção de vida e moradia que diferenciava-se da vigente. O planejamento e construção da habitação de forma participativa e o anseio por um modo de vida mais comunitário foram colocados em práticas em inúmeros projetos, os quais não restringiam-se somente na habitação individual mas englobaram aspectos múltiplos.

Na década de 70 são implementados, na Alemanha, os primeiros projetos individuais mais sustentáveis denominados "*Ökohäuser*" (casas ecológicas). Somente a partir da década de 80 iniciou-se a construção de prédios administrativos com princípios ecológicos e uma intervenção urbana mais sustentável. Essas intervenções objetivam uma orientação para a construção ecológica denominada "*ökologisch orientiertes Bauen*", a qual apira em todas as fases do ciclo de uso da construção -desde a produção, uso, renovação e demolição da construção- a minimização do uso da energia, dos recursos naturais e interferência no ecossistema" (Umweltbundesamt, 1991, S.9).

Os termos mais utilizados na Alemanha para a conceituação de iniciativas mais sustentáveis dentro do contexto de uma intervenção no meio urbano e rural são: "*ökologische Siedlung*" e "*Ökodorf*". O termo *Siedlung* traduzido literalmente para a língua portuguesa significa colônia. A colônia traduz-se em um local, no qual as pessoas se coligam e se estabelecem, com objetivos em comum, sejam esses de ordem de sobrevivência, de subsistência, econômica ou social.

Das três experiências realizadas na Alemanha com "*ökologische Siedlung*" (*bairros ecológicos*) realizadas na década de 80 nas cidades de Düsseldorf-Unterbach, Colônia-Blumenberg e Herzogenrath na Alemanha, cumpre destacar o sistema construtivo de Herzogenrath.

Dentre os elementos analisados privilegiou-se os princípios arquitetônicos, urbanísticos e de sustentabilidade, com ênfase na coordenação modular. A idéia do projeto de Alte Windkust, na cidade de Herzogenrath, Alemanha, partiu do ponto de vista urbanístico de que as áreas comunitárias (pátio e infraestrutura) e os espaços de acesso e interligação das habitações (corredores, Balcões, locais de recreação) são aspectos determinantes para a interlocução e convívio entre os moradores. Ressalta-se ainda o êxito deste projeto na criação de espaços privados para as famílias, os quais possibilitam o convívio familiar e a produção de hortaliças. Com área total de 4.300 m² e área construída de 1490 m², as nove habitações

unifamiliares, com áreas entre 120 e 180 m² apresentam duas tipologias (planta baixa retangular e planta baixa em forma de trapézio).



Figura 2 – Conjunto habitacional “Ökologische Siedlung” Alte Windkust-Herzogenrath

Ao todo são nove unidades habitacionais de três pisos, que, de acordo com suas disposições, constituem uma forma geométrica octogonal, cujo padrão modular permite outras configurações e padrão de crescimento que possibilita arranjos a partir de uma configuração adotada. A configuração octogonal origina um espaço de convívio central. Todas as unidades habitacionais estão orientadas para o sudoeste. Na entrada principal deste complexo habitacional estão localizadas as vias de acesso externo (escadas e corredores) e algumas áreas comunitárias (depósitos de bicicletas, pátio central oficinas de trabalho e salas de reuniões). As vias de acesso externo possibilitam um maior contacto entre os moradores. No primeiro piso encontram-se também áreas comunitárias destinadas para atividades, como reuniões dos moradores, aulas de reforço escolar, organizadas pelos próprios moradores e um jardim de infância destinado às crianças residentes e de famílias da vizinhança.

Do ponto de vista construtivo, utilizou-se para fundações concreto com isolamento térmico. As paredes divisórias (entre as unidades habitacionais) foram executadas em tijolos de cal (2x 17.5 cm), com vistas à proteção contra incêndio, estática e isolamento acústico. As paredes externas são em estrutura de madeira, com revestimento no lado interno com placas de fibra natural e externo com madeira não tratada, com recheio em celulose picada para isolamento térmico. As paredes divisórias internas foram executadas em estrutura de madeira, revestidas com placas compostas de serragem de madeira (Holzwolleleichtbauplatten).

O assoalho foi executado em estrutura em madeira com isolamento térmico em celulose e revestimentos em madeira e cerâmica. O telhado foi executado em estrutura de madeira com caibros aparentes, tábuas, isolamento térmico, substrato e vegetação. As janelas foram fabricadas em madeira e vidro térmico. Nas questões de água e esgoto, houve a implementação de estratégias para a redução do consumo de água na habitação, como por exemplo, reguladores do fluxo de águas para descarga da bacia sanitária. Foi prevista utilização de água da chuva através de cisternas subterrâneas (para irrigação). A captação de energia solar para o aquecimento da água ocorre através de 10m² de coletores solares no telhado da instalação comunitário. Caracteriza-se como um empreendimento que considera, além do desempenho energético dos componentes da edificação, o balanço energético na cadeia produtiva do componente, no que se refere a perdas no processo, nas matérias-primas e insumos.

Considerações finais

As teorias da sustentabilidade, enunciadas oficialmente pelo Banco Mundial na década de noventa, passam obrigatoriamente pela abordagem de uso racional dos recursos. Munasinghe (1993), economista ambiental do Banco Mundial, já abordava àquela época, o *efeito de produção* como o impacto ambiental decorrente de quantidade, qualidade e custo de produção de bens. No caso da concepção e produção do ambiente construído, a exemplo de outros segmentos industriais, o princípio da sustentabilidade vincula-se a economia de recursos, renováveis ou não-renováveis, em todos os níveis do processo de transformação dos insumos e matéria-prima em componentes.

A coordenação modular exige dos materiais e componentes envolvidos no processo de construção do ambiente construído níveis de confiabilidade metrológica, estabilidade dimensional e normalização. Estas condições impõem, desde já o uso racional dos meios e do modo de produção, orientados para a minimização de perdas no sistema garantindo balanço energético característicos de produtos e materiais eco-eficientes. No caso específico da arquitetura, a adoção da variável coordenação modular, estabelece laços fortes com a ótica da sustentabilidade, a partir da redução gradativa de desperdício na execução do ambiente edificado. Por certo, o caráter e a configuração física do ente arquitetônico tende a ser diametralmente oposta a maioria dos resultados arquitetônicos obtidos atualmente.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5706 Coordenação Modular da Construção— Procedimento. Rio de Janeiro, ABNT, 1977.
- CORBUSIER, Le. El Modulor - Ensayo sobre una medida armonica a la escala humana aplicable universalmente a la arquitectura y a la mecanica. Barcelona, Editorial Poseidon, 1976.
- ELIA, Carolina. O invasor e seus comparsas, in: O Eco. disponível em: <http://arruda.rits.org.br/oeco> 28.01.2006
- LANGHANZ, C.L. A qualidade na indústria cerâmica vermelha do Rio Grande do Sul. In: Anais XXV Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural. v.4, Porto Alegre, 1991.
- LERIPIO, Alexandre A. Emissão Zero: um Novo Conceito de Qualidade Total. PPGE/UFSC, Florianópolis, 1997.

MUNASINGHE, Mohan. Como os Economistas Vêem o Desenvolvimento Sustentável. In: Finanças e Desenvolvimento. pg. 16-19., v.13, n.4, FMI-Banco Mundial/FGV, dez. 1993.

OLIVEIRA, Adriano. [Abaixo e à Esquerda](http://osverdestapes.googlepages.com). Disponível em: <http://osverdestapes.googlepages.com> 29 de Maio de 2007. Acesso em 28/03/2008.

SALES, J.C. FERREIRA, A. C.; FILHO, A F.G. Furtado; ALMEIDA, J. S. Identificação dos impactos ambientais causados pela indústria de cerâmica vermelha no Estado do Ceará. in: Anais do 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007, Salvador - BA. 51o. Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007.

SATTLER, Miguel Aloysio. Habitações de baixo custo mais sustentáveis: a casa Alvorada e o Centro Experimental de tecnologias habitacionais sustentáveis/ Miguel Aloysio Sattler. — Porto Alegre: ANTAC, 2007. — (Coleção Habitare, 8.)

SOARES, Sebastião Roberto. Análise do Ciclo de Vida de Produtos Cerâmicos. Disponível em <http://www.agecom.ufsc.br>, 2003.

UMWELTBUNDESAMT (org.): Leitfaden zum ökologisch orientierten Bauen. Karlsruhe, 1991.

Endereço para Correspondência:

Av. Palmeira, 228 ap. 302 Bairro Petrópolis

90470-300 Porto Alegre, RS

msferreira@puhrs.br