



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

**VII ELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

## **MODOS PROJETUAIS DE SIMULAÇÃO TÉRMICA: CONCEITOS, DEFINIÇÕES E APLICAÇÃO**

**Raoni Venâncio (1). Aldomar Pedrini (2)**

(1) Arquiteto, M.Sc, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - UFRN, raoni\_vsl@yahoo.com.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFRN, apedrini@ufrnet.br  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética - LabCon

### **RESUMO**

Este artigo visa apresentar a hipótese de modos projetuais de simulação térmica, bem como conceitos e definições relacionados. Apesar da reconhecida relevância das decisões arquitetônicas no desempenho térmico e energético, as escolhas projetuais são baseadas em informações essencialmente qualitativas, o que pode levar o arquiteto a adotar suposições equivocadas. O desenvolvimento de modos projetuais de simulação tem o objetivo de facilitar o uso de ferramentas de simulação durante a concepção arquitetônica, melhorando a qualidade do suporte projetual. A intenção é combinar o poder de análise das ferramentas, com a síntese do projetista de lidar com diferentes tipos de condicionantes projetuais. O enfoque da hipótese proposta é de resolver dilemas projetuais, que são dúvidas pontuais que surgem durante o processo projetual. Dessa forma, os processos de modelagem e simulação são fortemente dependentes do dilema em questão (a dúvida projetual que deve ser resolvida), do nível de definição das características do projeto (informações sobre o projeto) e das diversas condicionantes projetuais (critérios e suposições). Por fim, um exemplo de aplicação prática dos conceitos elaborados é apresentado.

Palavras-chave: simulação térmica; processo projetual;

### **ABSTRACT**

This paper aims to present the hypothesis of 'designerly' ways of thermal simulation and related concepts and definitions. Despite the recognized relevancy of architectural design decisions on thermal and energy performance, design choices are supported essentially by qualitative information, which can easily lead architects to make wrong assumptions. The development of 'designerly' ways of simulation is intended to facilitate the use of simulation tools during architectural conceptual processes, improving the quality of design support. The main idea is to combine the power of analysis from the tools, with the designer's synthesis to deal with different types of design constraints. The focus of the proposed hypothesis is to solve design dilemmas, which are punctual doubts that can arise along the design process. Therefore, the modelling and simulation processes are highly dependent on a given dilemma (the design doubt that should be solved), on the level of definition of design features (information about the design) and on several design constraints (criteria and assumptions). Finally, one example of practical application of the concepts developed is presented.

Keywords: thermal simulation; design process;

### **1. INTRODUÇÃO**

Apesar da reconhecida influência de decisões projetuais arquitetônicas no desempenho térmico e energético de edificações, o suporte a essas decisões é essencialmente qualitativo. Arquitetos usam frequentemente conhecimentos adquiridos por experiência, através da análise de características de soluções precedentes de outros arquitetos ou de princípios e recomendações gerais sobre determinados aspectos. Muito embora o uso desse tipo de informação possa originar projetos de arquitetura de qualidade, o uso de avaliações

quantitativas como parte desse processo certamente pode melhorar o suporte projetual e levar o desempenho do projeto a patamares mais elevados.

A ausência de análises quantitativas pressupõe que informações qualitativas estão sendo usadas sem serem avaliadas. Muito embora princípios gerais sejam normalmente resultantes de pesquisas na área, algumas recomendações gerais podem eventualmente não se aplicar a situações específicas de determinado projeto. Da mesma forma, publicações de soluções projetuais em *sites* e revistas de arquitetura muitas vezes trazem avaliações superficiais, incompletas ou até equivocadas. Essas informações, geralmente de forte apelo visual, podem levar o arquiteto a adotar falsas suposições e a cometer erros de concepção (Bay, 2001).

O uso de simulação no processo de projeto busca melhorar a qualidade da informação usada para a tomada de decisões. Apesar desse potencial, o uso de simulação entre projetistas ainda é bastante limitado. Arquitetos apresentam resistência à adoção de métodos quantitativos para o suporte de decisões projetuais (Bay, 2001) e (Pedrini, 2003).

Contudo, no que se refere ao uso de simulação no projeto, a situação tende a se modificar gradualmente. A consolidação de mecanismos de regulamentação pode influenciar a prática projetual com a adoção de novos parâmetros e critérios de projeto. Além disso, o aperfeiçoamento da formação dos arquitetos atuantes, cada vez mais envolvidos em cursos de pós-graduação na área, pode suprir eventuais deficiências relacionadas ao entendimento de alguns aspectos técnicos referentes ao uso de determinadas ferramentas.

A evolução dos programas de simulação no sentido de se adequar ao universo do arquiteto também é notável. Recursos de modelagem geométrica, navegação e entrada de dados foram aperfeiçoados em ferramentas, a exemplo do DesignBuilder (Designbuilder, 2000-2010). A integração de algumas ferramentas com programas de representação é uma alternativa para programas com recursos mais limitados de modelagem geométrica, muito embora essa integração ainda seja um tanto instável.

Apesar dessas melhoras, o uso de ferramentas de simulação para o suporte de decisões projetuais ainda esbarra na falta de métodos que sejam adequados às diversas fases do projeto arquitetônico. Programas de simulação são normalmente operados por consultores em fases de detalhamento projetual, quando grande parte das decisões projetuais já foi tomada.

O desenvolvimento de propostas de uso de ferramentas de simulação no processo projetual foi abordado na tese de Morbitzer. Partindo do pressuposto de que simulação é o método mais completo de suporte projetual, uma metodologia para o uso de simulação energética foi desenvolvida (Morbitzer, 2003). O autor implementou melhorias na interface da ferramenta ESP-r e investigou como a ferramenta pode ser usada em diferentes etapas do processo projetual. Um processo projetual de três etapas foi adotado e, para cada fase de projeto, foram definidas tarefas que podem ser abordadas. De fato, o método proposto permite a quantificação de diversas variáveis e as melhorias na ferramenta beneficiam a aplicação do método. Contudo, verifica-se que a proposta de métodos de avaliação contínua de projeto tem pouca relação com a maneira que arquitetos procedem e mais relação com questionamentos e procedimentos de consultores.

No sentido facilitar o uso de simulação térmica como ferramenta de concepção projetual, este artigo tem o objetivo de apresentar a hipótese de modos projetuais de simulação, bem como os conceitos e definições relacionados. Para ilustrar o conceito, um exemplo do método foi extraído de um dos estudos de casos realizados na Holanda como parte do estágio de doutorando de 12 meses realizado na TU Delft.

## **2. PRESSUPOSTOS**

O adjetivo projetuais, usado para caracterizar um método de simulação que seja mais apropriado à prática arquitetônica é análogo ao termo “*designerly*”, usado por Nigel Cross na reflexão sobre modos projetuais de conhecimento (Cross, 2006). O autor discute como a epistemologia projetual é diferente em comparação com as artes e a ciência.

O termo aplicado ao uso de ferramentas de simulação é pertinente na medida em que existem incompatibilidades entre processos de simulação – comumente conduzidos por consultores –, e processos de concepção. Essa incompatibilidade, acentuada pela formação generalista da maioria dos arquitetos, é também relacionada à ausência de métodos de simulação adequados à atividade projetual.

Os métodos usuais de simulação térmica são geralmente empregados em fases avançadas do projeto, quando muitas definições projetuais já foram tomadas. Embora em menor frequência, o uso de simulação em fases iniciais de projeto é também feito por consultores. Nesse caso, séries de estudos paramétricos são realizadas com o intuito de balizar a tomada de decisões. Essas investigações podem abarcar inúmeras alternativas de projeto e originar uma diversidade de relatórios que tratam cada aspecto com profundidade técnica e rigor científico.

A aplicação desse método, naturalmente, requer tempo considerável para simulação, além de um elevado nível de proficiência técnica e domínio das ferramentas. De fato, arquitetos precisam de respostas rápidas, dada às estritas limitações da prática profissional.

## 2.1. Por que arquitetos devem simular?

A primeira reflexão que se deve fazer no que diz respeito ao desenvolvimento de métodos projetuais de simulação, é compreender por que – e em que situações – deve-se usar simulação no projeto de arquitetura. Normalmente arquitetos têm contato com programas de simulação em cursos de pós-graduação. Enquanto pesquisador, sua tarefa é a de investigar com profundidade um dado problema. A abordagem é a de quantificar e comparar alternativas para chegar a determinadas conclusões.

O arquiteto-pesquisador, na tentativa de usar simulação no projeto, muitas vezes tenta adotar o mesmo rigor científico do meio acadêmico na prática projetual. Conseqüentemente, o emprego de simulação é quase que invariavelmente destinado a etapas avançadas de projeto, quando o arquiteto pode modelar a edificação com nível minucioso de detalhes e, dessa forma, se assegurar que o modelo de simulação é absolutamente fidedigno ao projeto. Contudo, os resultados nesse caso visam apenas confirmar as expectativas de desempenho (considerando a aplicação correta de princípios gerais). Além disso, percebe-se que os procedimentos de simulação comumente usados são meramente retóricos, não visam responder a nenhuma questão de projeto e, como são adotados em fases avançadas, não influenciam a tomada de decisões.

O procedimento descrito acima negligencia duas das principais motivações que um arquiteto pode ter para usar simulação durante o processo projetual: i) resolver dilemas projetuais e ii) identificar dilemas projetuais. Dilemas projetuais são dúvidas cruciais que muitas vezes não podem ser completamente dirimidas apenas com a utilização de conhecimento qualitativo, como princípios gerais ou projetos precedentes. O uso de simulação para a resolução de dilemas projetuais significa um passo adiante em comparação ao suporte projetual meramente qualitativo, mesmo quando os modelos são simplificados.

Muito embora empresas de consultoria possam abordar e solucionar dilemas projetuais, o impacto das avaliações quantitativas no resultado arquitetônico torna-se mais claro quando a integração entre consultores e projetistas é intensa. Do contrário, a consultoria se detém a investigar a modificação de aspectos técnicos sem necessariamente interferir no projeto, enquanto que arquitetos definem as características principais do projeto sem o respaldo quantitativo.

Quando arquitetos têm condições de usar ferramentas de simulação, o impacto no projeto tende a ser maior, na medida em que o arquiteto pode não somente usar todas as condicionantes e limitações projetuais pragmáticas, mas pode testar conceitos e conjecturas mais abstratas. O enfoque na resolução de dilemas projetuais também potencializa o suporte projetual, tendo em vista que existem questões específicas a serem respondidas. Procedimentos de simulação, se conduzidos como parte do processo de concepção, podem ter um impacto mais profundo na expressão arquitetônica.

## 2.2. A natureza do problema projetual

A integração efetiva entre métodos de simulação e a concepção arquitetônica é difícil de obter quando as avaliações são feitas por consultores. O problema projetual é completamente diferente do problema científico, porque, dentre outros fatores, se vale de conhecimentos que não são sequer mencionados como parte da solicitação projetual (Lawson, 2004b).

Esse processo é claro, por exemplo, em concursos de projeto, quando vários arquitetos recebem a mesma solicitação, mas produzem resultados completamente diferentes. Essa diferença não está ligada somente a diferenças de habilidade, talento ou competência profissional (Harfield, 2006). De acordo com o argumento levantado por HARFIELD (2006), não existem “*cinquenta soluções para o mesmo problema, mas cinquenta soluções para cinquenta problemas diferentes*”.

O autor defende que o problema resolvido pelo arquiteto é diferente da solicitação projetual, fornecida em concursos. Isso ocorre por que os arquitetos não reagem imparcialmente à solicitação. Pelo contrário, cada projetista aborda o problema projetual de acordo com seus “*gostos pessoais e necessidades, suposições e crenças, preferências, preconceitos e propensões, conhecimentos, habilidades e entendimentos*”. Todos esses valores pessoais determinam o que pode ser considerado um problema projetual interessante e definem parâmetros para resultados satisfatórios.

Na prática projetual, diferentemente dos concursos, uma gama maior de condicionantes projetuais definem o problema de projeto. O problema é afetado por limitações projetuais geradas por diversos agentes: o projetista, o cliente, os usuários e o legislador (Lawson, 2006). As limitações impostas por cada agente podem afetar o projeto externamente (domínio externo) e internamente (domínio interno), influenciando diversos aspectos do projeto.

As condicionantes e limitações projetuais geradas por clientes, usuários e legisladores geralmente são menos flexíveis e abstratas do que aquelas geradas pelos projetistas. As condicionantes geradas por projetistas são diretamente relacionadas com a elaboração do problema projetual e a identificação de soluções satisfatórias.

### **2.3. A busca por soluções projetuais**

Devido à natureza do problema projetual, a busca por soluções projetuais adota estratégias cujo enfoque é na solução, não no problema, como acontece na ciência (Cross, 2006). Os problemas e soluções projetuais correspondentes co-evoluem juntos ao longo do processo, o que significa que parte da atividade projetual consiste na criação de pares correspondentes de problemas e soluções (Cross, 2006).

Naturalmente, os métodos adotados na resolução de problemas projetuais são diferentes conforme o nível de experiência do arquiteto. Ao passo em que arquitetos inexperientes tendem a compreender o problema projetual e justificar decisões usando raciocínios dedutivos, arquitetos experientes desenvolvem conjecturas como um modo de explorar problemas e soluções simultaneamente (Cross, 2004).

Um paralelo entre procedimentos adotados por arquitetos e jogadores de xadrez experientes pode ser traçado (Lawson, 2004a). Segundo o autor, enxadristas experientes são capazes de reconhecer situações de jogo durante uma partida. O reconhecimento dessas situações permite o suporte às decisões de jogo sem a adoção de procedimentos exaustivos de análise. Essa capacidade permite a um enxadrista experiente jogar diversas partidas ao mesmo tempo.

Da mesma forma, arquitetos desenvolvem um repertório de 'truques', ou 'jogadas' para resolução de problemas reconhecíveis sem a adoção de procedimentos exaustivos de análise (Lawson, 2004a). Esse processo está mais ligado ao uso do conhecimento episódico do arquiteto (precedentes e experiência pessoal) do que ao uso de conhecimento semântico (teórico) (Lawson, 2004a).

Nesse sentido, o uso de precedentes projetuais funciona como um atalho no processo de concepção, tendo em vista a infinidade de alternativas possíveis em cada projeto (Bay, 2001). O uso de precedentes projetuais não necessariamente implica em falta de inovação, na medida em que atributos específicos de soluções precedentes podem ser adotados e transformados segundo processos complexos de evolução (Zarzar, 2003). Contudo, no que se refere ao desempenho do projeto, o uso da simulação pode desempenhar um papel importante não somente para evitar erros de concepção associados a soluções precedentes (Bay, 2001), mas para transformar esses precedentes em soluções mais adequadas a cada circunstância projetual.

### **3. HIPÓTESE: MODOS PROJETUAIS DE SIMULAÇÃO**

Tendo como base os pressupostos mencionados acima, algumas características relacionadas a modos projetuais de simulação podem ser definidas. O conceito foi desenvolvido para permitir o uso de múltiplas ferramentas de simulação térmica durante o processo projetual. As seguintes categorias de ferramentas são abarcadas: análise solar, análise térmica/energética e ferramentas de CFD (*Computer Fluids Dynamics*). O desenvolvimento da hipótese considerou os seguintes aspectos como condições cruciais:

- 1) Objetivos da simulação projetual: a adoção de modos projetuais de simulação parte do pressuposto de que muitas decisões projetuais podem ser tomadas satisfatoriamente sem o uso de simulação. Avaliações quantitativas devem ser usadas em situações pontuais ao longo do processo projetual, com o objetivo de resolver dilemas de projeto que não podem ser abordados de outra maneira. O uso de simulação projetual deve estar associado primordialmente à resolução de dilemas específicos. A definição de objetivos claros visa evitar longos e desnecessários procedimentos de simulação.
- 2) Rigor científico da simulação projetual: o uso de simulação desde fases iniciais do projeto de arquitetura requer certo nível de simplificação no processo de modelagem, na medida em que muitas definições projetuais são imprecisas ou desconhecidas. O grau de simplificação do modelo tem relação direta com a precisão dos resultados. Diferentemente do meio acadêmico, o uso da simulação como suporte projetual pode prescindir do mesmo rigor adotado em pesquisas científicas. O objetivo, no projeto, muitas vezes é estimar o impacto de determinada decisão projetual, ou apenas, comparar algumas alternativas entre si para respaldar o processo decisório. O processo de modelagem, dessa forma, tem relação direta com o dilema investigado e as definições projetuais (informações sobre o projeto) disponíveis. As informações resultantes de simulações simplificadas tendem a ser mais completas e precisas do que o suporte meramente qualitativo, ainda que algumas características do modelo sejam desconhecidas.
- 3) Simulação e concepção projetual: os modos projetuais de simulação, assim como qualquer processo de concepção, dependem fortemente de material humano. As ferramentas não são sofisticadas o suficiente para lidar com problemas projetuais, assim como os cálculos realizados

em simulações são muito complexos para serem processados pela mente humana. Modos projetuais de simulação têm o objetivo de combinar o poder de análise das ferramentas com o poder de síntese dos projetistas. A integração entre processos de simulação com a concepção projetual requer arquitetos qualificados o suficiente não somente para operar as ferramentas, mas para identificar dilemas de projeto ao longo do processo e analisar resultados de simulação. Embora essas características sejam relativamente raras entre arquitetos, elas são necessárias para profissionais que tenham o comprometimento de buscar níveis mais elevados de desempenho. O uso efetivo de simulação projetual requer o uso de todas as condicionantes e limitações projetuais que definem um dilema projetual. Boa parte dessas condicionantes é pragmática e é transferida automaticamente para projeto. Contudo, condicionantes mais abstratas envolvendo conceitos, conjecturas e conhecimento precedente também podem ser usados no processo de modelagem. O uso consciente desse conhecimento abstrato, absolutamente intrínseco à definição do problema projetual, reduz o número de alternativas a serem simuladas, assim como o tempo entre modelagem, simulação e resposta.

O processo de simulação projetual pode ser representado pela Figura 1.

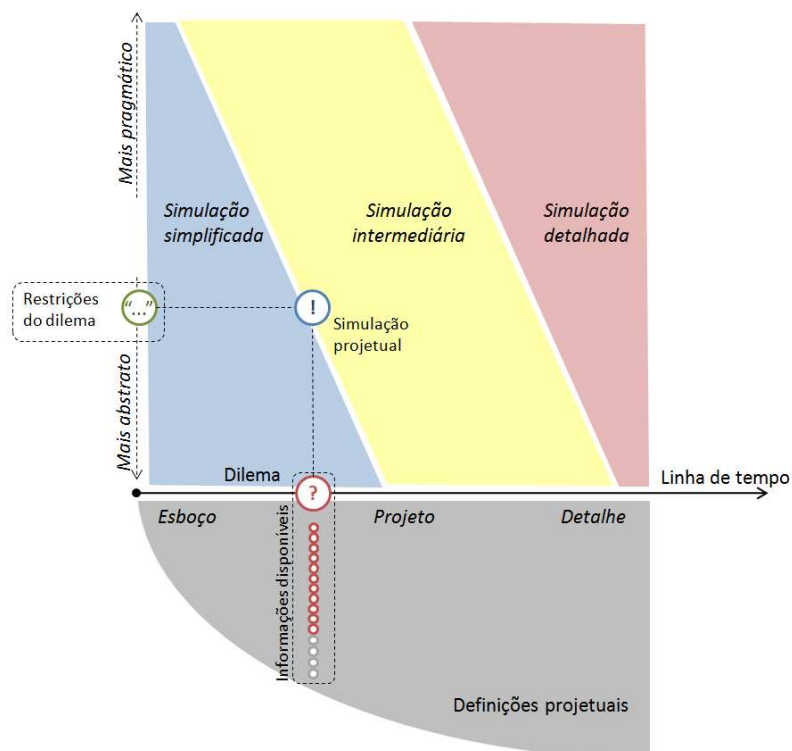


Figura 1 – Representação de modos projetuais de simulação.

O diagrama apresenta a ‘linha de tempo’ de um projeto (Figura 1). Nesse processo, o projeto evolui desde esboços iniciais até definições minuciosas de detalhes construtivos. Durante o projeto, as características do edifício vão sendo definidas e, conseqüentemente, mais informações projetuais são conhecidas (definições projetuais, em cinza).

Ao longo do processo projetual, aparecem dilemas projetuais que, em processos tradicionais são respaldados por conhecimento qualitativo. De acordo com a hipótese, o dilema projetual pode ser resolvido com o uso de ferramentas de simulação. Para tanto, o arquiteto-simulador, deve usar as informações disponíveis (definições projetuais) no processo de modelagem. Enquanto que algumas definições projetuais já foram tomadas, outras informações podem ter somente algumas características definidas ou até serem completamente desconhecidas no momento em que surge determinado dilema. As informações a serem adotadas também dependem do tipo de análise a ser feito. Para análises de sombreamento ou de fluxos de ar (CFD), por exemplo, muitas informações eventualmente disponíveis são desnecessárias, ao passo que informações geométricas são mais relevantes. Análises térmicas/energéticas geralmente precisam de informações mais completas sobre o uso da edificação e seus sistemas construtivos e podem prescindir de um nível maior de detalhe geométrico.

Dilemas projetuais podem ser originados de diversas maneiras. Certamente a manifestação mais comum do dilema projetual consiste na dúvida sobre os impactos de determinada decisão projetual. Dilemas

projetuais também podem surgir de incertezas da aplicação de determinados precedentes projetuais ou até de princípios gerais, assim como podem ser decorrente de simulações prévias.

No diagrama, a simulação do dilema (representado por “?”) adota um determinado grupo de definições projetuais. Essas informações são usadas no processo de modelagem para representar no programa de simulação o atual estágio de desenvolvimento do projeto, ou determinada situação projetual que se deseja avaliar. Para impedir procedimentos exaustivos de análise, pressupõe-se que o espaço de solução deve ser limitado por condicionantes do dilema. Essas informações, ou ‘restrições do dilema’ (representadas no eixo vertical) podem ser originadas pelos próprios arquitetos, por clientes, usuários e legisladores (Lawson, 2006). Essas restrições projetuais podem ter diversos graus de abstração. Se por um lado podem ser usados condicionantes pragmáticos (custo, materiais, exigências legais, etc.), por outro lado, os arquitetos podem explorar conceitos, intenções e testar soluções precedentes. O uso desse conhecimento no processo de simulação resulta no descarte de várias alternativas consideradas inadequadas aos objetivos estabelecidos (por não terem relação com o problema formulado). Por exemplo, se um arquiteto define que determinado projeto deve explorar determinadas qualidades, como ‘transparência’ ou ‘leveza’, não convém simular alternativas que não sejam ‘transparentes’ ou ‘leves’. Ao contrário, nesse caso, deve-se buscar atingir níveis maiores de desempenho que expressem os atributos definidos pelo arquiteto como prioritários. O uso de restrições mais abstratas ou mais pragmáticas não tem relação direta com o nível de evolução do projeto. Limitações abstratas podem ser usadas em fases de detalhamento, ao passo em que limitações pragmáticas podem ser usadas em fases iniciais de projeto.

O processo de modelagem e simulação (representado no diagrama por “!”) tem relação direta com as definições projetuais (o atual estágio de desenvolvimento do projeto) e com as restrições ou condicionantes do dilema. A combinação desses dois grupos de informação determina o nível de detalhamento do modelo. No diagrama, são definidos três níveis de avaliação: simplificada, intermediária e detalhada. Cada nível de detalhe está diretamente associado à disponibilidade de informações sobre o projeto (definições projetuais) e, de forma mais indireta, ao nível de abstração das informações usadas como ‘limitações de dilema’.

Como resultado do processo de simulação projetual, é feita a definição de uma ‘solução’ considerada apropriada, gerando novas informações sobre o projeto. O que também pode acontecer nesse processo é um determinado dilema levar a outros dilemas, relacionados a outros aspectos do projeto.

#### **4. EXEMPLO: PROJETO DE RESIDÊNCIA EM ZWOLLE, HOLANDA**

No intuito de exemplificar a hipótese proposta, um exemplo de dilema projetual é apresentado. Ao longo da pesquisa, o conceito de modos projetuais de simulação foi testado em situações projetuais práticas, através de estudos de caso com diferentes níveis de ‘imersão projetual’. O caso abordado neste artigo consiste no primeiro estudo realizado e, conseqüentemente, está inserido no primeiro nível de imersão projetual. Dessa forma, devido às condicionantes do projeto e às circunstâncias da pesquisa, o dilema apresentado foi abordado de forma pragmática.

Alguns estudos de caso desenvolvidos durante a pesquisa tiveram a participação de arquitetos na Holanda, como parte do estágio de doutorando realizado na TU Delft entre Junho de 2010 e Maio de 2011. A Holanda tem regulamentações consolidadas no que se refere a padrões de desempenho de edificações. Certamente esse aspecto faz com que os arquitetos sejam mais comprometidos com parâmetros de desempenho do que no Brasil. As diferenças climáticas entre os dois países também beneficia o estudo, na medida em que diferentes tipos de dilema podem ser abordados e não existem idéias pré-concebidas sobre estratégias a serem adotadas.

As informações referentes ao estudo de caso foram obtidas através de reuniões esporádicas com os arquitetos e troca de informações por *e-mail*.

##### **4.1. Apresentação**

O primeiro estudo de caso usou métodos diferentes de pesquisa em comparação com os estudos posteriores. O arquiteto Jamie van Lede do escritório *Origins*, com sede na cidade de Roterdã se interessou em aplicar recursos de simulação durante o projeto de uma residência na cidade de Zwolle, cuja ambição era a de gerar a própria energia usando painéis fotovoltaicos conectados a um *smart grid* e coletores solares.

A sugestão do arquiteto foi a de avaliar diversos aspectos do projeto desde as fases intermediárias de projeto. Embora esse tipo de procedimento seja similar a métodos de consultoria, as informações obtidas com o estudo de caso permitiram a investigação dos dilemas identificados pelo pesquisador e a aplicação do conceito de modos projetuais de simulação.

A abordagem de dilemas projetuais se deu em paralelo às investigações gerais sugeridas pelo arquiteto. O papel do pesquisador nesse processo foi de i) quantificar a influência de algumas decisões de projeto e ii) identificar dilemas projetuais, sugerir soluções e simular alternativas. A aplicação do conceito de



modos projetuais de simulação, nesse caso é parcial, tendo em vista que o contato com a equipe de projeto era relativamente limitado e, dessa forma, não se tinha acesso a todas as condicionantes projetuais em jogo. Dessa forma, ao invés de abordar dilemas projetuais intrinsecamente ligados ao problema projetual formulado, foram abordados dilemas identificados pelo pesquisador, cujas condicionantes são essencialmente ligadas ao desempenho das soluções.

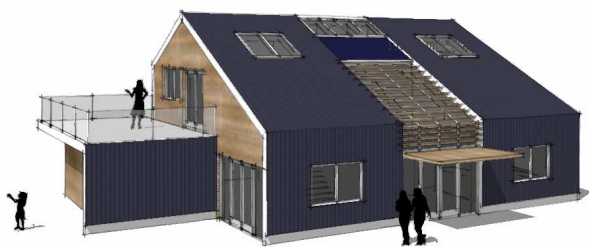


Figura 2 – Modelo apresentado na primeira reunião.

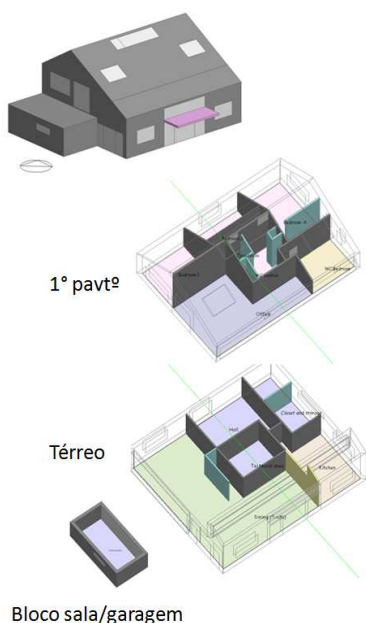


Figura 3 – Geometria do modelo de simulação.

Quando os arquitetos solicitaram as simulações, o projeto estava em fases intermediárias de desenvolvimento. A geometria e *layout* interno estavam bem definidos, o que permitiu uma modelagem geométrica mais precisa (Figura 2).

A superfície envidraçada central foi descartada nos primeiros estudos por solicitação dos arquitetos. Além disso, algumas simplificações geométricas foram realizadas no que se refere a recortes geométricos e subdivisão de algumas zonas (Figura 3).

Na ocasião dos primeiros estudos, muitas características da envoltória, como paredes, coberta, pisos e propriedades dos vidros ainda não tinham sido definidas e, dessa maneira, foram objetos de estudo. A entrada de dados de ocupação e sistemas foi baseada parcialmente em *templates* e complementada por informações fornecidas pela equipe de projeto. O sistema de aquecimento funciona durante todo o ano com a temperatura de controle de 18°C, valor considerado padrão na Holanda.

O plano de simulações do processo de consultoria projetual previa análises energéticas (cargas de aquecimento) e risco de super aquecimento no verão (conforto térmico). Muito embora o método adotado seja característico de procedimentos de consultoria, o processo permitiu uma maior familiaridade com o clima em questão e, conseqüentemente, facilitou a identificação de dilemas projetuais.

Na primeira etapa do estudo, uma série de simulações usando o programa DesignBuilder (Designbuilder, 2000-2010) havia sido feitas para identificar o impacto de paredes/cobertas, vidros, pisos e infiltração. Na ausência de arquivo climático da cidade de Zwolle, foram usados dados de Amsterdã.

A combinação de estratégias mais eficientes indicou uma redução de 60% no consumo de aquecimento. Apesar da expressiva redução, o impacto é resultante da comparação entre dois casos extremos. Do ponto de vista do conceito de simulação projetual, essa investigação seria desnecessária. Dadas as ambições do projeto, casos de desempenho inferior poderiam ser simplesmente descartados da investigação. Na ocasião do estudo, a preocupação dos arquitetos eram a de se assegurar que o caso base era representativo em comparação com edificações padrões e apresentar os benefícios de mudanças no projeto para o cliente.

#### 4.2. O dilema projetual: quais os benefícios de uma parede solar?

Após a realização do primeiro grupo de simulações, o primeiro dilema projetual foi abordado. Considerando as ambições do projeto, o novo caso base foi considerado o caso de melhor desempenho, com as seguintes características construtivas:

- Paredes/Cobertura:  $R_T = 6,4 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Pisos:  $R_T = 5,0 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Vidros:  $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; FS=50%
- Infiltração: 0,3 renovações por hora

A análise do balanço térmico mensal (Figura 4) indica que os ganhos térmicos durante o inverno são bastante reduzidos, o que pode ser explicado pela menor disponibilidade de radiação solar.

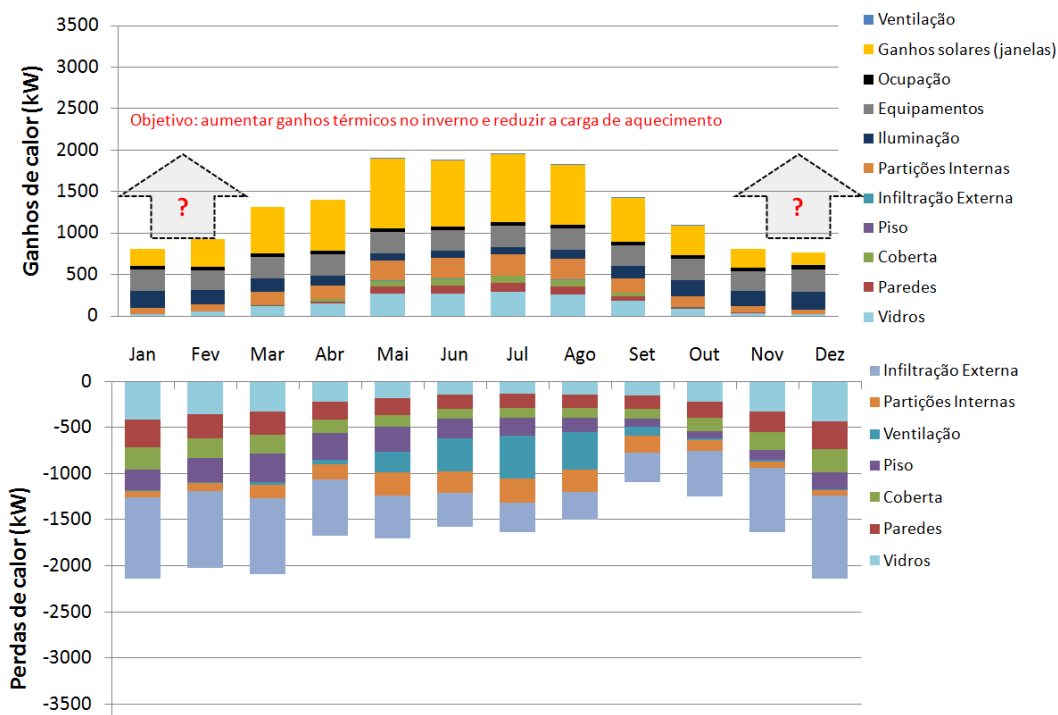


Figura 4 – Gráfico do balanço térmico mensal do caso base (de alto desempenho).

O dilema proposto tem o objetivo de aumentar os ganhos térmicos durante o inverno e, dessa forma, reduzir a carga de aquecimento. O uso de uma parede solar (*solar wall* ou *Trombe wall*) foi definido como solução a ser testada, devido à capacidade de absorver radiação solar e armazenar calor. O dilema em questão está associado à aplicabilidade dessa solução para o clima da Holanda. Ao mesmo tempo em que o inverno é rigoroso, o céu é encoberto com certa frequência.

No intuito de verificar os benefícios mínimos que podem ser atingidos com o uso de paredes solares e, assim identificar se a estratégia é pertinente ou não para ser desenvolvida, a parede solar usada tem desempenho relativamente baixo. As seguintes características foram adotadas:

- Cavidade de 20cm.
- Parede de concreto sem isolamento e pintada de preto.
- Vidro duplo *Low-E* ( $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ; Fator Solar = 53%).
- Sem grelhas para maximizar os ganhos térmicos por convecção.
- Sem anteparo de sombreamento durante o verão.

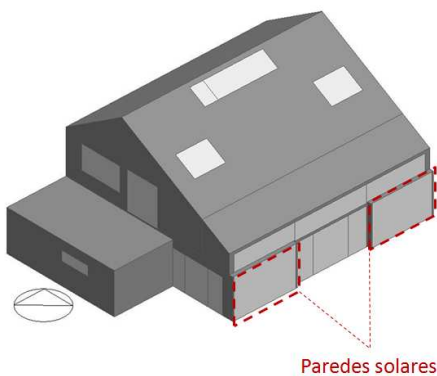


Figura 5 – Geometria do modelo com paredes solares.

Como se pode verificar, o desempenho dos elementos pode ser melhorado em etapas posteriores, caso seja identificado que o uso da estratégia é justificável.

A definição das variáveis relacionadas ao dilema foi baseada em recomendações gerais sobre o uso de elementos similares. Como o dilema em questão é meramente hipotético, outras condicionantes que poderiam influenciar no processo de definição do espaço de solução são desconhecidas.

Dois paredes solares orientadas para Sudeste visam transferir calor para as salas de estar/jantar e cozinha, ambientes integrados. Para manter as mesmas características do projeto, uma janela foi prevista acima de cada parede solar.

Os resultados da simulação indicam que o uso das duas paredes solares provocou uma redução no consumo de aquecimento de 13.6%, o que é significativo tendo em vista os seguintes aspectos: i) o caso base já tem alto desempenho e ii) os elementos (paredes solares) têm desempenho relativamente baixo.

A análise do balanço térmico mensal indica um aumento de cerca de 30% dos ganhos térmicos durante o inverno e um aumento, em média de 17% das perdas térmicas, conforme a Figura 6. Devido à ausência de proteção solar, os ganhos térmicos durante o verão são consideráveis, muito embora o enfoque da investigação, nesse momento, seja o de minimizar o consumo de aquecimento durante o inverno.



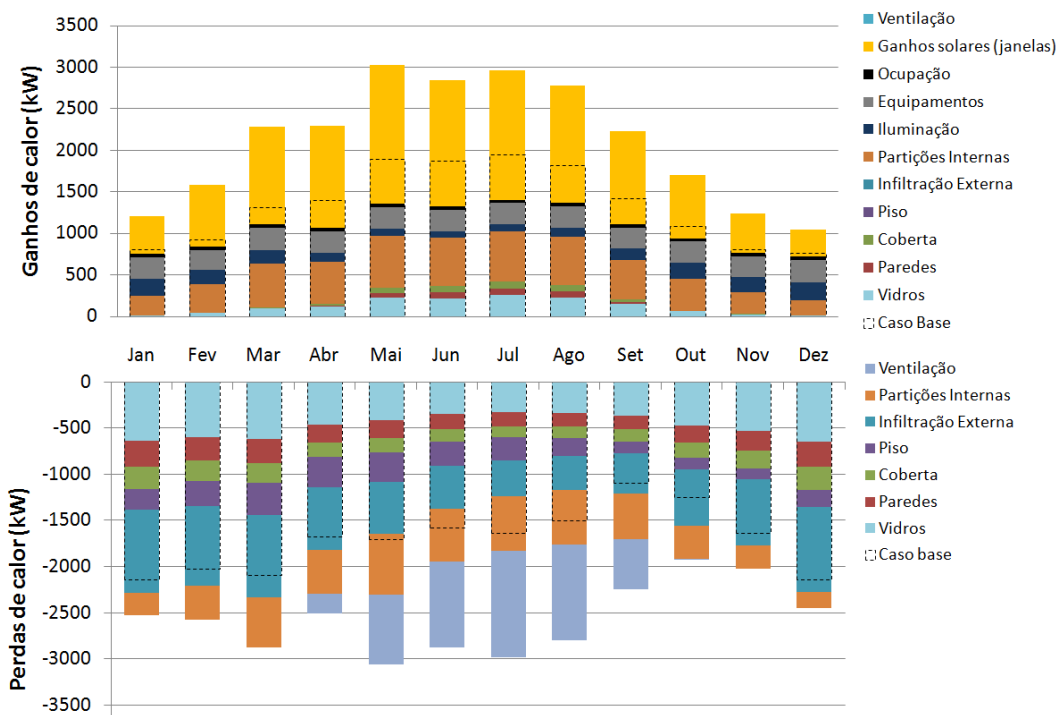
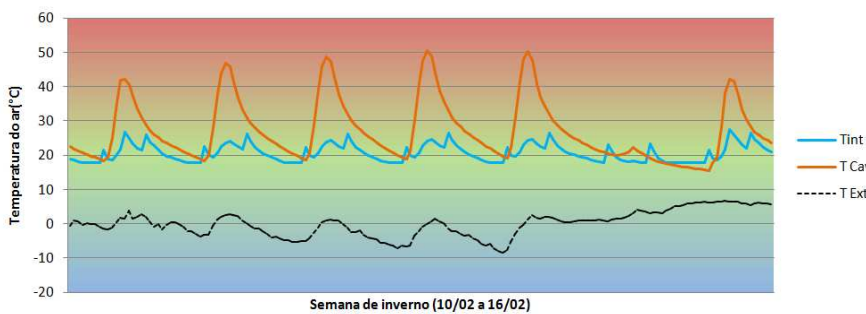


Figura 6 – Gráfico do balanço térmico mensal com paredes solares (o caso base é representado por linha tracejada)



A análise de temperaturas durante a semana de projeto de inverno (Figura 7) indica temperaturas elevadas na cavidade da parede solar (acima de 40°C), mesmo quando as temperaturas externas são baixas (por volta de 3°C). A temperatura interna oscila entre 18°C (temperatura de controle) e 25°C.

Figura 7 – Temperaturas em semana de inverno (*winter design week*).

Quando a incidência de radiação solar é menor, também existem situações em que a temperatura interna (do ambiente) é mais alta do que a temperatura da cavidade, conforme se verifica no dia 15/02, no gráfico acima. Para evitar perdas de calor em situações de céu encoberto, deve-se incrementar o isolamento térmico do sistema.

O dilema teve o objetivo identificar a pertinência de adotar um sistema passivo de captação e armazenamento de calor. Obviamente, o real sucesso da decisão projetual depende de futuras investigações, que definem as propriedades dos materiais usados e detalhes construtivos para minimizar possíveis problemas.

Por exemplo, para maximizar a distribuição do calor armazenado, grelhas de ventilação são comumente usadas em paredes similares. Para estimar o alcance dessa estratégia (que pode ser considerada outro dilema projetual), foram realizadas simulações usando o módulo de CFD do DesignBuilder. As condições de contorno são importadas diretamente de simulações térmicas e a situação apresentada na Figura 8 é referente ao dia 13/02 às 18:00h.

Os resultados indicam que a distribuição do calor armazenado é consideravelmente mais uniforme com o auxílio de grelhas de ventilação (que devem ser desativadas em determinados momentos para evitar perdas de calor).

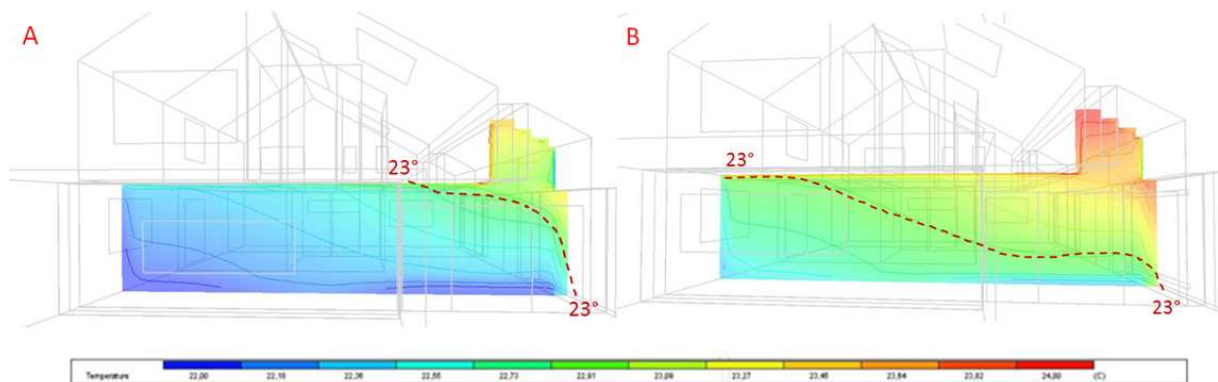


Figura 8 – Distribuição de temperaturas sem o uso de grelhas (A) e com o uso de grelhas (B).

## 5. CONCLUSÕES

Este artigo teve o objetivo de discorrer sobre a hipótese de modos projetuais de simulação, que busca combinar o poder de análise de ferramentas de simulação com o poder de síntese dos projetistas, expressado através do uso de conhecimentos e procedimentos inerentes à prática projetual arquitetônica. O enfoque do uso da simulação projetual é dirigido à resolução de dilemas projetuais. O processo de modelagem e simulação desses dilemas tem relação direta não somente com as informações disponíveis em determinado momento do projeto, mas com a formulação do problema projetual, o que depende, dentre outros fatores, de aspectos pessoais de cada arquiteto.

O uso de limitações ou condicionantes projetuais (Lawson, 2006) visa estreitar a relação entre o modelo de simulação e a formulação do problema projetual, na medida em que condicionantes absolutamente abstratas e conceituais podem e devem ser usadas nesse processo.

Com o objetivo de exemplificar a aplicação prática, uma situação projetual foi extraída de um estudo de caso realizado na Holanda. As informações foram obtidas diretamente com a equipe de projeto como parte das atividades realizadas durante o estágio de doutorando na TU Delft. O dilema projetual proposto surgiu a partir de resultados de simulações prévias. O objetivo é identificar a pertinência de uma estratégia passiva de armazenamento de calor. Para tanto, foram definidas propriedades de desempenho relativamente baixo. Os resultados indicam que os ganhos de calor durante o inverno são significativos e que a estratégia pode ser desenvolvida em etapas posteriores. Muito embora as circunstâncias do estudo apresentado não tenham permitido a total aplicação dos conceitos aqui apresentados, outros aspectos devem ser contemplados em trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAY, J.-H. **Cognitive Biases in Design: The case of tropical architecture**. (PhD Thesis). Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2001.
- CROSS, N. **Expertise in design: an overview**. *Design Studies*, v.25, p.427-441. 2004.
- \_\_\_\_\_. **Designerly ways of knowing**. London: Springer-Verlag. 2006.
- DESIGNBUILDER. **DesignBuilder Software version 2.2.5.004** 2000-2009.
- HARFIELD, S. **On design 'problematization': theorising differences in designed outcomes**. *Design Studies*, n.28, p.159-173. 2006.
- LAWSON, B. **Schematta, gambits and precedent: some factors in design expertise**. *Design Studies*. 2004a.
- \_\_\_\_\_. **What designers know**. Oxford: Architectural Press. 2004b.
- \_\_\_\_\_. **How designers think: the design process demystified**. Oxford: Architectural Press, 4th ed. 2006.
- MORBITZER, C. **Towards the integration of simulation into the building design process**. (PhD). Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, 2003.
- PEDRINI, A. **Integration of low energy strategies to the early stages of design process of office buildings in warm climate**. (Phd Thesis). Department of Architecture, University of Queensland, Brisbane, 2003. 259 p.
- VENÂNCIO, R. e A. PEDRINI. **The influence of design decisions on energy consumption and thermal performance: the case of UFRN Campus, Brazil**. *Building and Simulation*. 2009.
- ZARZAR, K. M. **Use and adaptation of precedents in architectural design: toward an evolutionary design model**. (Ph.D). Delft University of Technology, Delft, Netherland, 2003.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pela concessão de bolsa para a realização de parte da pesquisa na TU Delft, Holanda durante Junho de 2010 e Maio de 2011.