



6 a 8 de outubro de 2010 - Canela RS

ENTAC 2010

XIII Encontro Nacional de Tecnologia
do Ambiente Construído

CONTRIBUIÇÕES DA PROTOTIPAGEM VIRTUAL PARA O DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Ana Luiza Müller (1); Fernanda Aranha Saffaro (2)

(1) Departamento de Construção Civil – Centro de Tecnologia e Urbanismo – Universidade Estadual de Londrina, Brasil – e-mail: analuizamuller@uel.br

(2) Departamento de Construção Civil – Centro de Tecnologia e Urbanismo – Universidade Estadual de Londrina, Brasil – e-mail: saffaro@uel.br

RESUMO

Interferências ou falhas não detectadas na fase de projeto e a contínua exigência por melhor qualidade a baixos custos obrigam a busca de novos recursos para o desenvolvimento de produtos na construção civil. Este artigo faz parte de um estudo exploratório que visa a investigar o escopo das contribuições oferecidas pela prototipagem virtual no processo de desenvolvimento do produto (PDP). O protótipo virtual englobou as etapas de revestimento de um banheiro de alto padrão. As contribuições foram avaliadas durante reuniões com as pessoas envolvidas no processo de prototipagem. Os resultados apontaram que o protótipo virtual destaca-se como facilitador da comunicação e visualização de correlações entre elementos de planos distintos e como elemento único de representação do produto. O processo de elaboração do modelo virtual também apresentou contribuições, na medida em que permitiu tomadas de decisões conjuntas por meio de ciclos de projeto-construção virtual-testes que ocorreriam em tempo real, favorecendo a integração de interesses de diferentes agentes envolvidos do PDP.

Palavras-chave: construção civil; prototipagem virtual; processo de desenvolvimento do produto (PDP).

1 INTRODUÇÃO

Na construção civil são frequentes as interrupções na execução da obra e retrabalho, ocasionando baixa produtividade, custos elevados e prazos mais longos do que os previstos. Vários fatores contribuem para estes resultados, tais como, interferências entre partes da edificação não detectadas ou não resolvidas adequadamente na fase de projetos, materiais de baixa qualidade, mão-de-obra não qualificada e tecnologia rudimentar e de caráter artesanal.

O setor de materiais vem buscando contribuir para melhorar o desempenho da construção por intermédio do lançamento de novos materiais e componentes. Esta evolução tecnológica têm resultado em produtos com mais atributos e maior valor agregado que visam a atender a evolução dos requisitos dos usuários e a simplificar o processo de produção, reduzindo o número de passos para execução.

No que diz respeito à etapa de acabamento, há, atualmente, grande variedade de materiais e a combinação destes em edificações de alto padrão resulta em maior complexidade no projeto, exigindo cuidados especiais com decisões arquitetônicas que repercutam nos quesitos de estética e construtibilidade. Assim, é preciso que projetistas acompanhem esta evolução, desenvolvendo projetos melhor elaborados no que diz respeito à definição do produto e às suas interfaces com o processo de produção. A representação bidimensional do produto tem mostrado limitações, especialmente em projetos com maior grau de complexidade em que a visualização de interferências espaciais exige maior esforço para recomposição mental do espaço em três dimensões (FERREIRA, 2007).

Neste sentido, a tecnologia da informação tem permitido que os projetistas utilizem softwares para representação tridimensional. Por intermédio destes softwares, é possível representar atributos do produto, normalmente não apresentados em um único desenho bidimensional, originando um protótipo ou modelo virtual do produto.

A prototipagem virtual (PV) pode ser uma ferramenta para apoiar o desenvolvimento de produtos da construção civil, na medida em que, através do seu emprego, é possível despendar menor tempo e recursos nas tomadas de decisões relativas ao produto e na antecipação e resolução de problemas que possam gerar dificuldades na etapa de produção (FERREIRA, 2007). Embora Ferreira (2007) tenha explorado as contribuições da PV na construção civil, ainda não está suficientemente esclarecido qual o escopo das contribuições oferecidas pelos protótipos virtuais, especialmente para a etapa acabamentos em edificações de alto padrão. Assim, este artigo faz parte de um estudo exploratório que visa a investigar o escopo e a extensão da contribuição da PV dentro do contexto da construção civil.

2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO PRODUTO (PDP)

2.1 Etapas do PDP e a prototipagem

Segundo Ulrich e Eppinger (2000), o PDP abrange um conjunto de atividades que inicia com a percepção da oportunidade de mercado e termina na produção, venda e entrega do produto. Estes autores apresentam um modelo de PDP que envolve as etapas de: planejamento; desenvolvimento do conceito; projeto; projeto do detalhe; refinamento e teste; e *ramp-up*, conforme ilustrado na Figura 1. O modelo de PDP apresentado por Ulrich e Eppinger (2000) mostra que existe uso intenso da prototipagem ao longo das fases de definição, refinamento do produto e da sua produção.

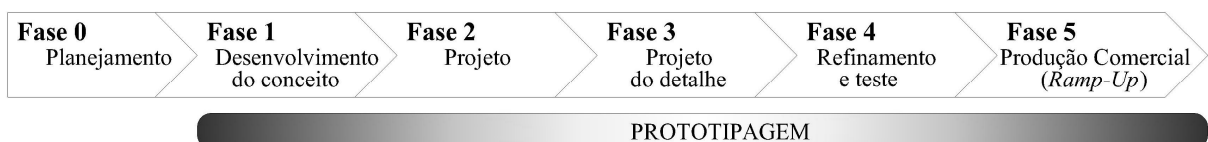


Figura 1 - Aplicação da prototipagem ao longo do PDP (adaptado de ULRICH e EPPINGER, 2000)

Na fase de desenvolvimento do conceito (descrição de forma, função e especificações do produto), são elaborados protótipos para avaliar a adequação às necessidades do público alvo. Na fase de projeto, o propósito da prototipagem é analisar as características físicas dos elementos funcionais do produto e de que forma estes interagem. Na etapa seguinte, a prototipagem é empregada com a intenção de explorar alternativas de processo de produção voltadas, essencialmente, para a redução de custos.

A fase de refinamento e teste envolve a construção e a avaliação de várias versões pré-produzidas do

produto. Essas avaliações são feitas com base em protótipos que empregam peças com geometrias e materiais iguais ao produto final, porém sem, necessariamente, adotar o processo de produção pretendido. Já na etapa de *ramp-up*, os produtos são produzidos dentro do sistema de produção da fábrica, no entanto, sob um caráter experimental com a finalidade de efetuar treinamentos da força de trabalho e eventuais correções no processo de produção. Neste caso, a prototipagem envolve, principalmente, o refinamento do processo de montagem na fábrica.

Ulrich e Eppinger (2000) destacam que a definição de um plano para a prototipagem atrelado ao cronograma do desenvolvimento do produto é de fundamental importância, uma vez que os resultados da avaliação dos protótipos fornecem as respostas necessárias para dar continuidade à definição do produto ou de seu processo de produção. Clark, Chew e Fujimoto (1992) e Ulrich e Eppinger (2000) destacam a necessidade de adotar o nível de aproximação do produto adequado para as respostas que se procura, sem buscar um refinamento excessivo dos protótipos nas fases iniciais do PDP.

2.2 Prototipagem

2.2.1 Conceito de prototipagem

A palavra protótipo é derivada do grego *prototypon* cujo significado é primeira forma (GRIMM, 2004) ou o primeiro produto produzido (FLOYD, 1984). Esta definição literal considera que um protótipo implica a pré-produção completa do produto.

Ulrich e Eppinger (2000) descrevem protótipo como sendo uma aproximação do produto ou de parte deste. Estes autores justificam que a representação de apenas parte do produto, que permita analisar o foco a ser investigado, pode ser entendida como um protótipo. Complementam que podem ser empregadas formas diversas de representação, desde esboços, modelos matemáticos apoiando simuladores, até a pré-produção completa do produto. Assim, Ulrich e Eppinger (2000) ampliam o entendimento do que consiste um protótipo em relação à definição literal da palavra.

O conceito de protótipo pode ser ampliado ao se adotar que *ramp up* é uma atividade de prototipagem na medida em que faz uso do processo de construção do produto para testar, principalmente, alternativas de produção e para treinar operários. Neste caso, em que o foco da análise é a produção, Saffaro (2007) destaca que o objeto de aproximação constitui-se no próprio processo de produção.

2.2.2 Classificação de protótipos

Os protótipos são classificados em físicos e analíticos, sendo que os primeiros constituem-se em elementos tangíveis criados para a aproximação do produto, enquanto que os analíticos caracterizam-se por representações intangíveis, ou seja, modelos virtuais construídos por meio de recursos computacionais (ULRICH e EPPINGER, 2000). São classificados, ainda, como compreensivos ou focados. Os protótipos compreensivos contemplam muitos, se não todos, os atributos do produto e os protótipos focados abrangem um, ou poucos, atributos (ULRICH e EPPINGER, 2000).

3 PROTOTIPAGEM VIRTUAL

3.1 Considerações iniciais

Conforme Mcleod (2001), PV – Prototipagem Virtual ou Prototipagem Digital são termos científicos para nomear o desenvolvimento de produtos com uso de softwares de modelagem tridimensional ou realidade virtual. Para Dai et al. (1996), PV é o processo de construção do produto por meio do estudo de reproduções formais e funcionais no computador. Estes autores complementam que a idéia básica da PV é integrar técnicas de projeto e engenharia auxiliados por computador (*Computer Aided Design - CAD e Computer Aided Engineering- CAE*) com técnicas de realidade virtual, construindo o objeto virtual com funcionalidades do produto projetado, de forma a permitir simulações integradas e módulos de visualização. Grimm (2005) corrobora com estes autores ao mencionar que a PV permite explorar não apenas aspectos de forma do produto através da visualização do seu *design*, mas também efetuar simulações do produto em operação, possibilitando análises funcionais.

3.2 Benefícios do protótipo virtual

O atual processo de projeto em 2D apresenta limitações que são caracterizadas pela necessidade de

recorrente recomposição mental do espaço 3D e são agravadas quando esse recurso é utilizado para a comunicação entre os envolvidos no PDP (FERREIRA, 2007). Segundo a autora, as deficiências que a representação 2D pode acarretar nas análises são: (a) Ambigüidade: o mesmo desenho pode ser interpretado de mais de uma forma, por exemplo, forma de representação igual para vigas em diferentes planos (invertida ou não); (b) Simbolismo: o objeto é representado por símbolos e não em suas dimensões e formas reais; (c) Omissão: informações consideradas óbvias são excluídas, por exemplo, a não representação de peças de fixação; (d) Simplificação: a representação do objeto é simplificada, alterando suas características reais; (e) Fragmentação: a informação é separada em diferentes vistas ortográficas, o que dificulta análises e correlações.

Os estudos desenvolvidos por Ferreira (2007) apresentam os benefícios do uso do 3D na compatibilização de projetos. Nestes estudos, os modelos virtuais mostraram potencial para minimizar deficiências na medida em que melhoraram a visualização de interferências espaciais e reduziram as abstrações nas representações do produto, economizando o tempo de utilização de serviços profissionais para coordenação e gestão, e assim, diminuindo os custos associados a estes serviços.

O potencial para a visualização espacial repercute na eficiência da apresentação do produto ao cliente e a todos os agentes envolvidos, especialmente em estágios preliminares do desenvolvimento do produto em que mudanças freqüentes ocorrem, exigindo rapidez na comunicação e nas decisões (GRIMM, 2005). Esta maior agilidade na identificação de soluções de *design* é favorecida não apenas pela visualização em três dimensões, mas também, pela facilidade e economia na construção dos modelos do produto projetado. Neste sentido, Pinho et al. (2003) mencionam que no ambiente virtual, diversas alterações podem ser feitas no modelo com relativa facilidade, agilizando o processo de adequação ao objetivo final e permitindo maior liberdade de criação. Esta flexibilidade para alterações do produto projetado por intermédio da PV gera informações para análises de custos mais precisas e ágeis e possibilita o lançamento no mercado em menor tempo (ULRICH; EPPINGER, 2000).

Norton (2001 apud MCLEOD, 2001) argumenta que o processo de elaboração conjunta de um modelo tridimensional do produto define padrões e linguagens de representação comuns entre os agentes envolvidos, reduzindo o emprego de simbologias próprias de cada agente.

Os protótipos virtuais, quando aplicados exaustivamente durante o processo de desenvolvimento do produto reduzem o escopo e a escala de alterações de engenharia, porém não podem ser a única fonte de avaliação, pois alguns atributos físicos como ergonomia e estabilidade não podem ser ponderados virtualmente. No entanto, o emprego da PV permite executar alguns testes inviáveis de serem realizados com protótipos físicos (Norton, 2001 apud MCLEOD, 2001) e reduz a quantidade destes, normalmente mais caros e demorados (FORTI, 2005; ULRICH; EPPINGER, 2000).

4 MÉTODO

4.1 Contexto da pesquisa

O estudo foi realizado em uma empresa construtora de grande porte, que atua há quase quatro décadas na cidade de Londrina em empreendimentos residenciais e industriais. Desde o ano de 2004, a empresa faz uso do processo de prototipagem física (PF) em seus empreendimentos residenciais. Este processo se desenvolve por intermédio da construção de um apartamento no primeiro pavimento e abrange desde a etapa de alvenaria até a etapa de aplicação da massa corrida e primeira demão de pintura em paredes e tetos, excluindo a instalação das esquadrias e metais. Na empresa, o protótipo físico tem a finalidade de estabelecer soluções para resolver conflitos entre etapas executivas e analisar a interface de diferentes materiais de acabamento. As soluções devem privilegiar a simplificação do processo de execução, a redução de perdas devido a recortes de peças e os aspectos estéticos do produto. Estas soluções devem ser replicadas nos demais pavimentos, ou seja, a partir do protótipo físico, fica definido um padrão executivo para atender às peculiaridades do empreendimento.

Os projetos arquitetônicos e complementares dos empreendimentos da empresa são elaborados por escritórios de destaque na cidade e que prestam serviços há vários anos para a mesma. Este fato favorece a integração entre os projetistas e o processo de compatibilização dos projetos.

Os escritórios utilizam o *AutoCAD* para o desenvolvimento de seus projetos em 2D. O interesse da

empresa em explorar a versão 3D como recurso para desenvolver a PV surgiu em função do banheiro objeto do estudo apresentar maior grau de complexidade em relação aos banheiros dos empreendimentos anteriores. Esta complexidade decorria da maior variedade e custo dos revestimentos empregados e de exigências em termos estéticos de um apartamento de alto padrão. A expectativa era de que as soluções relativas à interface de diferentes materiais de acabamento e as definições de paginação dos revestimentos cerâmicos pudessem ser antecipadas para a PV e que à PF coubesse a confirmação das decisões e a definição da sequência de execução.

Quando este estudo aconteceu, a execução do protótipo físico do banheiro já havia iniciado, de modo que os serviços de obra bruta (alvenaria, tubulações, revestimento argamassado, regularização de piso e contramarcos) já se encontravam executados. O protótipo virtual foi planejado para apoiar as decisões específicas dos acabamentos do banheiro, abrangendo as etapas de revestimentos cerâmicos de pisos e paredes, forro de gesso, louças, bancadas e acabamentos em granito. Assim, após a elaboração do protótipo virtual seriam executados no protótipo físico estes serviços de acabamento.

O protótipo virtual foi elaborado por uma das pesquisadoras e autora deste artigo. No entanto, as decisões tomadas ao longo de todo o processo envolveram o engenheiro de produção da obra, o escritório de arquitetura e o operário da empreiteira que executou o serviço de revestimento no banheiro do *showroom* e que, posteriormente, executaria o mesmo serviço no protótipo físico.

Para a construção do modelo virtual foi empregado o *software* de modelagem *Google Sketchup*. Este programa é disponibilizado gratuitamente (*freeware*), sendo descrito como um *software*, intuitivo, flexível, fácil de utilizar e aplicado para criar, modificar e compartilhar modelos em 3D.

4.2 Delineamento do método e coleta de dados

O estudo teve como questão de pesquisa: Qual o escopo das contribuições da prototipagem virtual para o desenvolvimento do projeto de produtos da Construção Civil? Por meio de um estudo exploratório, foram investigadas as contribuições da PV para os acabamentos do banheiro de um apartamento de alto padrão. Tendo em vista a grande variedade de materiais de acabamento e a exigência quanto à precisão na execução dos arremates, foram frequentemente discutidas questões relativas à interface entre os acabamentos e questões relacionadas ao processo de produção.

O processo de prototipagem ocorreu por intermédio de sucessivos refinamentos do modelo virtual. Os aprimoramentos se deram com base em discussões realizadas nas reuniões com os diferentes agentes envolvidos no processo de desenvolvimento do produto (engenheiro de produção, escritório de arquitetura e operário). Ao término do estudo, foram geradas perspectivas do produto finalizado.

Nas reuniões, a última versão do protótipo virtual era utilizada para intermediar as discussões, e as decisões tomadas eram incorporadas à nova versão. Estas decisões e as respectivas justificativas eram registradas e, ao final, confirmadas por meio de entrevista com o engenheiro e com o operário. Nesta entrevista, houve a preocupação em obter do operário as sugestões por ele apresentadas na reunião que foram efetivamente proporcionadas pelo processo de construção do modelo virtual e não pela sua percepção adquirida na construção do banheiro no *showroom*. Após a compilação das decisões tomadas, buscou-se agrupar as mesmas, definindo assim, o escopo das contribuições.

5 RESULTADOS

5.1 Protótipo virtual 01

A primeira versão do modelo virtual foi elaborada com base nas seguintes informações: (a) Dimensões do banheiro rebocado e posições dos pontos de elétrica e de hidráulica. Estas informações foram retiradas do protótipo físico (*as built* do protótipo físico); (b) Posição da mureta de apoio da banheira. Esta informação foi definida a partir do projeto executivo / alvenaria (cotas em osso) e de detalhamento e, ainda, com base em considerações relativas às espessuras do reboco, da argamassa de assentamento da cerâmica e da própria cerâmica.

A intenção deste primeiro modelo foi definir os espaços disponíveis para, posteriormente, discutir a respeito da aplicação dos acabamentos, isto é, nesta etapa construiu-se virtualmente o produto bruto, definindo as posições das paredes rebocadas.

Nesse momento, detectou-se que havia uma incompatibilidade entre as representações da posição da mureta de apoio da banheira. A posição da mureta no projeto executivo que orienta a marcação de alvenaria não considerava os descontos de espessuras do revestimento (reboco, argamassa de assentamento e cerâmica). Este fato ocasionou a necessidade de demolição da mureta no protótipo físico e nos pavimentos nos quais a mesma já havia sido executada, uma vez que não seria possível encaixar a banheira especificada no projeto.

Destaca-se que uma análise mais detalhada dos projetos em 2D poderia ter apontado esta incompatibilidade entre o projeto executivo e o de detalhamento. No entanto, a elaboração de projetos em 2D implica a utilização de diferentes desenhos para representar um mesmo produto ou parte deste, gerando fragmentação das informações. O protótipo virtual foi concebido a partir de informações dos projetos em 2D. No entanto, o desenvolvimento desde o início em 3D, evitaria esta incompatibilidade, uma vez que a concepção projetual ocorreria por meio de um modelo único de representação.

5.2 Protótipo virtual 02

As alterações que resultaram no protótipo virtual 02 foram efetuadas com base em discussões entre o engenheiro de produção e a pesquisadora que elaborou o modelo virtual. Para a construção deste modelo, foram incorporadas informações referentes ao acabamento, tais como: (a) espessuras de revestimentos; (b) dimensões reais das pastilhas e peças cerâmicas (medição das peças disponíveis na obra); (c) restrições referentes a arremates, como, por exemplo, não recortar as pastilhas de vidro ou, não deixar pequenos recortes de cerâmicas (filetes); (d) sobreposição de peças cerâmicas e pastilhas que se encontrariam em planos ortogonais; e (e) alinhamento de juntas de pisos e paredes. Informações referentes à execução também foram relevantes, como as espessuras de argamassa, normalmente, adotadas na execução.

Neste modelo, buscou-se, principalmente, a incorporação dos materiais (cerâmica, pastilha) e elementos (banheira, bancada) de acabamento ao modelo bruto do produto (modelo1), gerando uma primeira versão do modelo acabado. O protótipo propiciou identificar a necessidade de alteração do tamanho da bancada de granito que era de 1,80 metros, equivalente a quatro azulejos de 0,45 metros. No entanto, a medida real da peça, menor do que 0,45 metros, ocasionou um filete de azulejo no canto da parede. Assim, ficou acordado o assentamento de mais uma fileira de pastilhas e a redução do tamanho da bancada para evitar o filete (FIGURA 2).

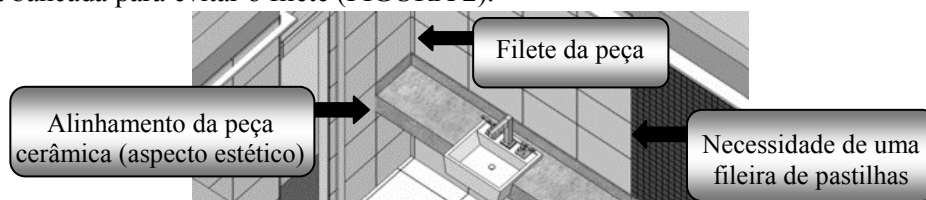


Figura 2 - Perspectiva do protótipo virtual 02

O uso de medidas reais das peças ao elaborar o projeto arquitetônico poderia, eventualmente, evitar a necessidade de modificar o tamanho da bancada e o emprego de outra fileira de pastilha. Entretanto, a variação nas dimensões dos materiais e o caráter artesanal dos serviços executados em canteiro podem ser razões que dificultam a tomada de decisões envolvendo maior grau de detalhamento no projeto.

Outra análise para melhorar o acabamento, consistiu em desalinhar as juntas dos pisos e dos azulejos referentes à parede onde está a porta de entrada do banheiro, privilegiando o alinhamento das juntas do azulejo com a largura da bancada, conforme ilustra a Figura 4. A decisão quanto ao alinhamento da junta do azulejo com a largura da bancada poderia ser tomada com base no projeto em 2D (elevação da parede). No entanto, o protótipo virtual contribuiu para a visualização das duas alternativas, isto é, coincidir juntas do azulejo com as do piso ou coincidir juntas do azulejo com a largura da bancada.

Ao examinar a peça cerâmica que seria utilizada para compor o modelo, constatou-se que o material adquirido não era o especificado no projeto, assim foi necessário alterar o pedido de cerâmica. Além disso, decisões tomadas com base neste modelo foram a readequação de quantitativos dos materiais de revestimento e a proposta de alteração da paginação dos revestimentos.

Um ponto positivo em decorrência do uso do protótipo virtual foi a maior facilidade para a

visualização e análise das possíveis alterações porque não havia necessidade de recompor mentalmente os planos ortogonais referentes às paredes, piso e bancada.

5.3 Protótipo virtual 03

A terceira versão do protótipo virtual foi estabelecida em uma reunião com o engenheiro de produção e o responsável pelo escritório de arquitetura na qual se definiu que as alterações deveriam manter a estética do projeto de detalhamento e discutiu-se a respeito de implicações e informações de execução.

Nesta reunião, foram testadas, analisadas e confirmadas as decisões tomadas no protótipo virtual anterior e discutiu-se a dimensão e posição da esquadria de acesso à manutenção do motor da banheira. Também verificou-se um erro entre o projeto de detalhamento e o detalhe executivo na representação do acabamento na região da esquadria da banheira, uma vez que este apresentava pastilha ao invés de azulejo (FIGURA 3).

O acréscimo de uma fileira de pastilha e a necessidade de execução de uma verga não considerada no projeto executivo resultaram na redução do espaço disponível para a instalação da esquadria que, por uma questão de estética, deveria ser instalada na região de azulejo. Assim, as seguintes decisões foram tomadas: a criação de um chanfro de 2,5 cm na parte interna da alvenaria da banheira para a colocação da esquadria, a redução das dimensões da esquadria para o mínimo exigido e a locação da verga.

Durante o processo de análise, foram efetuados testes em tempo real que permitiam visualizar as melhores soluções. Neste caso, a contribuição do protótipo virtual constituiu-se na facilitação dos testes e análises e na identificação dos reflexos que as mudanças em um plano causavam em elementos contidos em outro plano. Novamente, o protótipo virtual contribuiu para a redução da recomposição mental nas correlações entre planos diferentes.

5.4 Protótipo virtual 04

Uma vez incorporadas as decisões tomadas na etapa anterior, a quarta versão do protótipo virtual foi elaborada levando em consideração as alterações propostas pelo engenheiro de produção e pelo operário. Nesta etapa, as decisões estiveram relacionadas a detalhes executivos, à sequência de execução adotada e às alternativas para absorver imprecisões dimensionais.

O processo de execução interferia de forma significativa na qualidade de acabamento do produto, assim constatou-se a necessidade de discutir e acordar uma sequência de execução dos revestimentos. Nesse processo, a participação do engenheiro de produção e, principalmente, do operário foi importante, tendo em vista a oportunidade incorporação do conhecimento técnico às discussões.

Nessa etapa, ficou evidente a contribuição do protótipo virtual enquanto recurso facilitador da comunicação entre os presentes. O protótipo virtual constituiu-se no meio empregado para intermediar as discussões e representar as decisões tomadas, eliminando a necessidade de recomposição mental individual sujeita a interpretações equivocadas.

Inicialmente, foi definido que o granito da faixa seria aplicado diretamente sobre o reboco, ao passo que a bancada de granito seria colada sobre o azulejo. Como o rodabanca é uma continuidade da faixa de granito, este também seria aplicado sobre o reboco, sendo necessário deixar um recorte

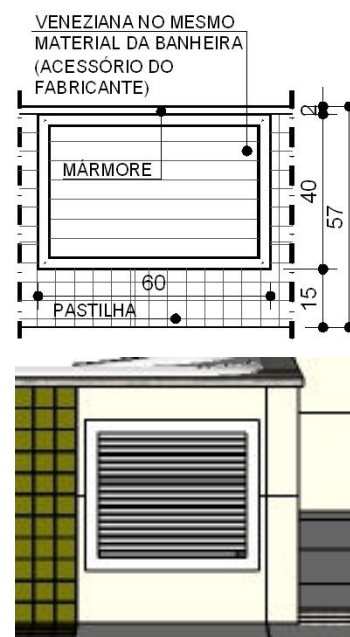


Figura 3 - Detalhe executivo da veneziana da banheira e vista no protótipo virtual



Figura 4 - Perspectiva com sequência de execução

durante o assentamento do azulejo. A definição da forma de aplicação do granito visou à estética e à economia de materiais, visto que não haveria azulejo sob a faixa de granito, no entanto, repercutiu na sequência de execução (FIGURA 4). Além da imagem, os passos também foram delineados de modo descritivo.

Enquanto discutiu-se a respeito das interfaces entre revestimentos com diferentes espessuras, constatou-se a necessidade de executar um enchimento na região onde seria aplicada a pastilha, uma vez que esta possui espessura menor do que o azulejo.

A definição de alternativas para absorver imprecisões dimensionais era necessária, uma vez que nas diversas unidades de banheiros a serem construídas poderia haver pequenas variações nas espessuras de reboco, nas dimensões dos azulejos e nas espessuras de juntas das pastilhas em placas. Em função da exigência quanto à qualidade no acabamento, estas eventuais falhas não poderiam resultar em recorte nas pastilhas e em alguns pontos do revestimento em azulejo. Assim, como solução encontrada na ocasião, a faixa de granito foi adotada como área para eventuais ajustes. Porém, o protótipo virtual poderia ser melhor explorado para encontrar diferentes soluções.

Foram discutidas, ainda, formas de representação do modelo para orientar a execução que resultou em uma prancha contendo os projetos em 2D e perspectivas do protótipo virtual. Além disso, foi revisado o desenho do processo de execução (sequência das atividades: em série ou em paralelo), antecipando a atividade de granito para ocorrer logo após a atividade de revestimento cerâmico.

5.5 Síntese das contribuições

O Quadro 1 apresenta uma síntese das decisões tomadas e agrupadas segundo suas similaridades sob o enfoque das contribuições que estas representaram para o desenvolvimento do produto.

Quadro 1 - Síntese das contribuições do protótipo virtual

Decisões tomadas	Deficiências do modelo 2D	Escopo das contribuições
Adequação das medidas do projeto executivo para a mureta da banheira	Incompatibilidade entre projetos em 2D	Elemento único para representação do produto
Adequação do revestimento na região da esquadria de manutenção da banheira	Incompatibilidade entre projetos em 2D	
Considerações relativas ao alinhamento da junta vertical com a largura da bancada	Deficiência de análise estética de elementos contidos em planos diferentes	Visualização da correlação entre elementos contidos em diferentes planos
Considerações relativas ao tamanho e posição da esquadria da banheira	Deficiência de análise de interdependência entre elementos em planos diferentes	
Definição da sequência de execução	Dificuldade na composição mental de uma sequência executiva em diferentes planos	

A Figura 5 apresenta uma síntese do processo de prototipagem virtual com as informações de entrada, análises efetuadas, decisões tomadas e marcos na definição do produto ou processo.

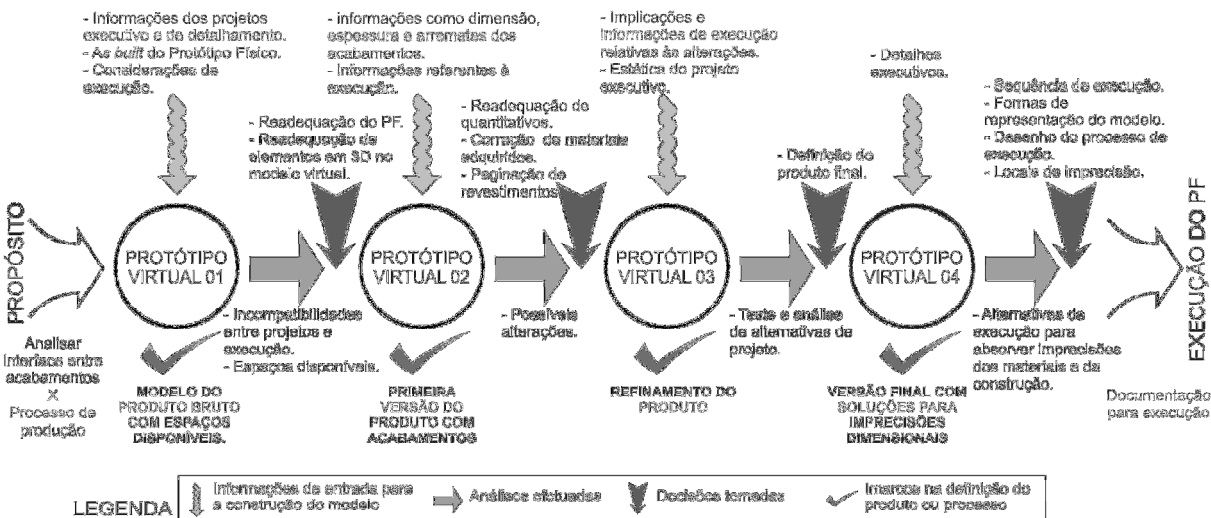


Figura 5 - Síntese do processo de prototipagem virtual

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados no Quadro 1 apontam que o escopo das contribuições do protótipo virtual estiveram, essencialmente, relacionados ao emprego de um elemento único para representação do produto e à visualização de correlações entre elementos contidos em diferentes planos.

Como o protótipo foi desenvolvido a partir de modelos em 2D, pode-se verificar que a representação fragmentada resultou em problemas de incompatibilidade entre os projetos. O emprego de um modelo único para aproximação do produto em desenvolvimento eliminou as incompatibilidades, uma vez que as informações foram extraídas de uma fonte única de representação. Este fato evidencia o benefício do desenvolvimento de produtos em 3D e fornece respaldo ao uso das novas tecnologias disponíveis.

Com relação à visualização de correlações entre elementos contidos em diferentes planos, o protótipo permitiu uma avaliação tridimensional sem a necessidade de abstrações nas representações do produto.

Algumas das decisões tomadas ao longo do processo de desenvolvimento do produto não foram propiciadas pelo emprego do protótipo virtual propriamente, mas sim pelo processo de construção do modelo virtual cuja síntese foi apresentada na figura 5.

O processo exigiu a compilação e incorporação de uma série de informações relacionadas aos materiais, às técnicas de execução e à seqüência de execução durante toda a composição do modelo virtual. Tendo em vista a exigência quanto à qualidade do acabamento, o nível de aproximação do protótipo em relação ao produto projetado refletiu na preocupação com a precisão da informação (uso da medida real da peça).

A construção do modelo virtual se deu mediante acordos entre o projetista, o engenheiro de produção e o operário, procurando privilegiar os aspectos relacionados à estética e à construtibilidade. Constatou-se que houve uma integração de necessidades favorecida por decisões tomadas de forma conjunta e em tempo real. Embora este benefício pudesse ocorrer através de reuniões apoiadas por projetos em 2D, o processo de modelagem favoreceu testar soluções e facilitou a tomada de decisão.

O processo de prototipagem virtual antecipou discussões relacionadas a falhas no projeto e ao processo de produção que seriam levantadas apenas na ocasião da construção do protótipo físico, tais como, equívoco na aquisição da cerâmica, posição inadequada da mureta da banheira e propostas de desenho do processo. Este resultado reforça as recomendações da literatura no sentido de explorar intensamente o emprego da prototipagem virtual com o objetivo de antecipar problemas. Especialmente em projetos complexos, envolvendo vários tipos de acabamento em edificações de alto padrão, o acúmulo de problemas levantados, aguardando soluções que dependem de um conjunto de agentes envolvidos, pode ocasionar uma sobrecarga de problemas a serem solucionados pelo protótipo físico e, conseqüentemente, aumento no seu prazo de construção. Este aumento de prazo pode resultar em sobreposição da construção do protótipo físico com o início da execução, prejudicando o processo de compreensão e solução de problemas.

A comunicação entre os envolvidos foi outro benefício decorrente do processo de construção do modelo virtual. Esta comunicação foi facilitada pela redução da recomposição mental individual, uma vez que havia um meio comum para as análises, eliminando, assim, a necessidade de que os envolvidos imaginassem o aspecto discutido referente ao produto.

7 CONCLUSÕES

O estudo apresentou resultados referentes ao escopo das contribuições da prototipagem virtual, classificadas como contribuições do protótipo enquanto meio de comunicação e do processo de elaboração do modelo.

Como contribuições do protótipo virtual enquanto meio de comunicação, destacaram-se o emprego de um elemento único de representação do produto e a visualização de correlações entre elementos de planos distintos.

O processo de elaboração do modelo virtual também apresentou contribuições, uma vez que a modelagem permitiu uma intensa troca de conhecimentos intermediada por uma forma única e comum de representação do produto em desenvolvimento. Este processo se deu através de ciclos de projeto-

construção virtual-testes que ocorriam em tempo real.

O desenvolvimento do produto possui uma abordagem de prototipagem na medida em que a todo o momento os envolvidos buscam uma aproximação do produto mediante ciclos iterativos de reflexão que envolvem o ato de projetar-construir-testar. Quando a construção ocorre através do emprego de ferramentas que apresentam limitações para a representação do produto, o processo de comunicação pode sofrer prejuízos e levar a interpretações equivocadas ou requerer formas complementares e desvinculadas para a representação sujeitas a incompatibilidades. Neste sentido, o emprego de tecnologias para o desenvolvimento do produto em 3D vem se destacando como uma tendência no mercado.

8 REFERÊNCIAS

BOUCHLAGHEM, D., SHANG, H., WHYTE, J.K., GANAH, A. **Visualisation in architecture, engineering and construction (AEC)**, Automation in Construction, 2005.Vol. 14, No. 3, pp. 287-295.

CLARK, K. B.; CHEW, W. B.; FUJIMOTO, T. **Manufacturing for design: beyond the production/R&D dichotomy**. In: SUSMAN, Gerald I. (Ed.). Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage. Oxford: Oxford University Press, 1992.

DAI, F.; FELGER, W.; FRÜHAUF, T.; GÖBEL, M.; REINERS, D.; ZACHMANN, G. **Virtual Prototyping Examples for Automotive Industries**. Fraunhofer Institute for Computer Graphics, Darmstadt, Alemanha, Fevereiro,1996.

FERREIRA, R. C. **Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edificações**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FLOYD, C. **A systematic look at prototyping**. In: BUDDE, R. (Ed.); KUHLENKAMP, K. (Ed.); ZULLIGOHOVEN, H. (Ed.). Approaches to prototyping. Berlin: Springer-Verlag, 1984. p. 12-20.

FORTI, F. S. D. **Uma Avaliação do Ensino da Prototipagem Virtual nas Graduações de Design de Produto do Estado do Rio de Janeiro**. 2005.

GRIMM, T. **User's guide to rapid prototyping**. Dearborn, Mi.: Society of Manufacturing Engineers, 2004.

_____. **Virtual Versus Physical: Will Computer-Generated Virtual Prototypes Obsolete Rapid Prototyping?** Time-Compression Technologies. May/June 2005, p 67-69.

MCLEOD, P. **The Availability and Capabilities of ‘Low-End’ Virtual Modelling (Prototyping) Products to Enable Designers and Engineers to Prove Concept Early in the Design Cycle**, PRIME Faraday Partnership. Loughborough, Reino Unido, Pera Knowledge, 2001.

PINHO, A. C.; FREITAS, U. C.; TRAMONTANO, M. **A modelagem digital aplicada ao processo de projeto de edifícios de apartamentos**. In: III WORKSHOP BRASILEIRO DE GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETO NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 3., 2003,Belo Horizonte.

SAFFARO, F. A. **O uso da prototipagem para gestão do processo de produção da construção civil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina: Florianópolis, 2007.

ULRICH, K.T., EPPINGER, S.D. **Product design and development**. 2nd ed. London: McGraw-Hill, 2000.

9 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelo apoio a essa pesquisa através da concessão de bolsa de mestrado e aos representantes da empresa construtora estudada, pela disponibilidade em auxiliar na realização deste trabalho.