

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
(Bacharelado)

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO 3D
PARA PLANEJAMENTO DE EDIFICAÇÕES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO À UNIVERSIDADE
REGIONAL DE BLUMENAU PARA A OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA
DISCIPLINA COM NOME EQUIVALENTE NO CURSO DE CIÊNCIAS DA
COMPUTAÇÃO — BACHARELADO

ROBERTO SILVA STEINGRÄBER

BLUMENAU, JUNHO/2003

2003/1-56

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE CUSTOMIZAÇÃO 3D PARA PLANEJAMENTO DE EDIFICAÇÕES

ROBERTO SILVA STEINGRÄBER

ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO FOI JULGADO ADEQUADO
PARA OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA DE TRABALHO DE
CONCLUSÃO DE CURSO OBRIGATÓRIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE:

BACHAREL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Prof. Paulo César Rodacki Gomes — Orientador na FURB

Prof. José Roque Voltolini da Silva — Coordenador do TCC

BANCA EXAMINADORA

Prof. Paulo César Rodacki Gomes

Prof. Antônio Carlos Tavares

Prof. Francisco Adell Péricas

DEDICATÓRIA

Dedico esta monografia a minha mãe Iolanda Silva Steingräber,

In memoriam(†1988).

AGRADECIMENTOS

Agradeço às entidades e pessoas que, durante minha vida estudantil e profissional, direta ou indiretamente, tenham influenciado e colaborado na minha formação, sem esquecer dos amigos: Lucio, Leandro, Nestor e Pedro que sempre me auxiliaram nas horas difíceis.

Em especial ao meu pai, Valmir Steingräber e a minha segunda mãe Arminda Amorim, aos meus avós, Valinga Muller Steingräber e Walter Reinald Steingräber e ao meu irmão Rúbio S. Steingräber, pelo apoio moral e afetivo.

Gostaria de fazer um agradecimento todo especial a minha namorada, amiga e companheira Katiê Stüpp que, com paciência, me auxiliou e acompanhou nas horas mais difíceis.

Agradecimentos merecidos também vão para meu orientador professor Dr. Paulo César Rodacki Gomes, cuja força e paciência dispensadas foram de grande importância no período em que estive dedicado ao desenvolvimento desse trabalho.

A todos um muito obrigado de coração.

RESUMO

Ao analisar necessidades das empresas de construção civil, nota-se que a utilização de ferramentas para planejamento com tecnologia de CAD (*Computer Aided Design*) integrado podem contribuir para resolver parte dessas deficiências. Visando ilustrar o potencial desta tecnologia, CAD, foi desenvolvido um protótipo de software integrado para construção civil, que através de dados do planejamento da edificação juntamente com o projeto desenvolvido no AutoCAD, gera vistas 3D dependentes do tempo de execução planejado com a finalidade de auxiliar os engenheiros civis na etapa de execução da obra de modo a reduzir prazos, custos e aumentar o nível de qualidade, bem como, visar um melhor entendimento entre projetistas e executores da edificação, pois se baseia na simulação visual da evolução da construção .

ABSTRACT

When analyzing necessities of the companies of civil construction, notice that the use of tools for planning with technology of CAD (Computer Aided Design) integrated can contribute to decide part of these deficiencies. Aiming at to illustrate the potential of this technology CAD, an archetype of software integrated for civil construction was developed, that through data of the planning of the construction together with the project developed in the AutoCAD, generates seen 3D dependents of the time of execution planned with the purpose of assisting the civil engineers in the stage of execution of the workmanship in order to reduce stated periods, costs and to increase the quality level, as well as, to aim at one better agreement between designers and executors of the construction, therefore is based on the visual simulation of the evolution of the construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ciclo de vida de um empreendimento.....	15
Figura 2.2 – Esquema do processo de planejamento.....	17
Figura 3.1 - Ilustração do modelo 3D convencional	27
Figura 4.1 - Tela de exemplo do MS Project.....	30
Figura 4.2 - Planejamento de tarefas com mão-de-obra.....	31
Figura 5.1 – Principais casos de uso.....	36
Figura 5.2 - Diagrama de atividade da função relacionar.....	37
Figura 5.3 - Diagrama de atividade da função visualizar	37
Figura 5.4 - Diagrama de estado representação geral.....	39
Figura 5.5 - Exemplo de exportação do MS Project	44
Figura 5.6 - Exemplo de arquivo exportado "atividades.txt"	45
Figura 5.7 - Exemplo de arquivo ".dwg" do AutoCAD	45
Figura 5.8 - Leitura do projeto "Plan3D.dvb"	46
Figura 5.9 - Tela do VBA depois de lido o "Plan3D.dvb"	47
Figura 5.10 - Tela de ativação do <i>Form</i> do protótipo (Plan3D).....	48
Figura 5.11 - Tela principal do protótipo Plan3D por cima do AutoCAD.....	49
Figura 5.12 - Tela do protótipo com planejamento importado.....	49
Figura 5.13 – Tela de exemplo da função “Relacionar”.....	50
Figura 5.14 – Tela de exemplo da função “Pintar”	51
Figura 5.15 – Tela de exemplo da função “Mostrar”	52
Figura 5.16 – Tela de exemplo da função “Contar” relacionamentos dos objetos.....	52
Figura 5.17 – Tela de exemplo da função “Excluir” relacionamentos dos objetos.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1 – Demonstração do código fonte da função relacionar	41
Quadro 5.2 – Demonstração do código fonte da função visualizar.....	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAP	<i>Computer Aided Planning</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
MRP	<i>Material Requesting Planning</i>
PERT	<i>Program Evaluation and Review Technique</i>
VBA	<i>Visual Basic For Application</i>

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	III
AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
ABSTRACT	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE QUADROS	VIII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	IX
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 RELEVÂNCIA	13
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	14
2 PLANEJAMENTO DE OBRAS	15
2.1 TÉCNICAS ATUAIS DE PLANEJAMENTO DE OBRAS	17
2.1.1 PERT/CPM	19
3 TECNOLOGIA CAD	22
3.1 BREVE HISTÓRICO.....	22
3.2 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS.....	22
3.3 MODELOS 3D.....	26
3.3.1 UTILIZAÇÃO DE MODELOS 3D.....	27
4 FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO E DE CAD	29
4.1 MS PROJECT	29
4.1.1 CARACTERÍSTICAS DO MS PROJECT	31
4.2 O AUTOCAD.....	32

4.2.1 VBA, UMA PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO.....	33
5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	35
5.1 ESPECIFICAÇÃO	35
5.1.1 DIAGRAMAS DE CASOS DE USO	35
5.1.2 DIAGRAMAS DE ATIVIDADES	36
5.1.3 DIAGRAMAS DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS	38
5.2 IMPLEMENTAÇÃO	40
5.3 DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS FUNÇÕES DO PROTÓTIPO.....	40
5.4 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	44
5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
5.6 DIFICULDADES ENCONTRADAS	54
5.7 LIMITAÇÕES.....	54
6 CONCLUSÕES	55
6.1 EXTENSÕES	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

1 INTRODUÇÃO

A partir da estabilização da economia nesses últimos anos no Brasil, todos os setores, inclusive da construção civil foram obrigados a um redirecionamento devido ao aumento da competitividade (COLZANI, 1999). Para atender esse novo cenário as empresas e profissionais estão sendo obrigados a revisar técnicas construtivas, buscando reduções significativas de custos e prazos na construção.

Visando isso, o diferencial competitivo das empresas virá não apenas de investimentos em tecnologia e em gestão de processos, mas também no investimento e domínio da gestão de pessoas, tornando-as motivadas, comprometidas e produtivas em seu trabalho.

Segundo Prado (1998), projetos são empreendimentos temporários que ocorrem em todas as organizações. Nos tempos atuais, o mercado consumidor exige continuamente produtos e serviços de melhor qualidade e menor custo. Para atendê-lo as empresas necessitam estar em permanente processo de mudança, onde toda mudança visa tornar a empresa mais competitiva.

Assim sendo, na construção de uma edificação o planejamento da execução da obra é fator de grande importância, pois o planejamento inadequado pode acarretar grandes transtornos como, por exemplo, refazer algo que não ficou como o projetado, gerando assim aumento dos custos, e prazos de conclusão da obra.

Tendo em vista a importância do planejamento, Speranzini (2003) afirma que, de todas as etapas de administração de programas e projetos, a etapa de planejamento é a que possui o impacto potencial mais forte. Afinal, o planejamento inclui a fixação de objetivos, a previsão de recursos, a prevenção de dificuldades e o esboço de soluções. Isto é, através do planejamento, o panorama do projeto pode ser avistado e planos podem ser traçados para nortear a execução de atividades inerentes à sua implantação. O planejamento, portanto, é a chave do sucesso em administração de empresas e principalmente em empresas construtoras.

Entretanto, conforme dito por Archer (1994), o setor da engenharia civil por suas peculiaridades apresenta grandes deficiências em relação à automação do planejamento dos procedimentos construtivos. Ao analisar necessidades das empresas de construção civil, nota-se que a utilização de ferramentas para planejamento com tecnologia de CAD (*Computer Aided Design*) integrado podem contribuir para resolver parte dessas deficiências.

Visando ilustrar o potencial desta tecnologia, CAD, será desenvolvido um protótipo de software integrado para construção civil, que através de dados do planejamento da edificação juntamente com o projeto desenvolvido no AutoCAD, irá gerar vistas 3D dependentes do tempo de execução planejado com a finalidade de auxiliar os engenheiros civis na etapa de execução da obra de modo a reduzir prazos, custos e aumentar o nível de qualidade, bem como, visar um melhor entendimento entre projetistas e executores da edificação, pois se baseará na simulação visual da evolução da construção.

1.1 OBJETIVOS

Desenvolver um protótipo de software que utiliza a tecnologia CAD, integrada para a indústria da construção civil, que através dos dados de um planejamento de uma edificação, irá transformá-los em formas de visualização 3D, gerando assim um entendimento entre projetistas e executores da edificação baseado na simulação visual da evolução da construção.

Os objetivos específicos são:

- a) importar os dados de planejamento de uma obra ou edificação, vindas de um software de planejamento, no caso, o MS Project;
- b) ligar informações sobre planejamento aos objetos 3D que representam elementos da edificação a ser construída;
- c) gerar vistas 3D dependentes do tempo de execução planejado.

1.2 RELEVÂNCIA

O desenvolvimento deste protótipo de software baseado na tecnologia CAD será adequado para auxiliar os profissionais da indústria da construção civil para o acompanhamento e gerenciamento das edificações, relevante nas seguintes situações:

- a) na engenharia civil, reduziria os custos operacionais, considerando a maior transparência dos processos e, portanto, o melhor planejamento por parte de todos os envolvidos, aumentando assim a qualidade nas decisões;
- b) na computação utiliza conceitos de customização da tecnologia CAD na modelagem 3D.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado conforme descrito abaixo.

O capítulo 2 conceitua e demonstra a importância do planejamento de obras, caracterizando-o e apresentando desvantagens das técnicas atuais.

O capítulo 3 aborda de forma específica a tecnologia CAD juntamente com o modelo 3D mostrando sua importância para a construção civil.

O capítulo 4 concentra-se na apresentação de duas ferramentas uma de planejamento de obras, o MS Project, e uma de Tecnologia CAD, o AutoCAD, que possui o ambiente de programação chamado VBA, cujos recursos foram utilizados na implementação do protótipo.

O capítulo 5 apresenta a especificação, implementação e o funcionamento do protótipo de um sistema de customização 3D para planejamento de edificações.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões provenientes da execução desse trabalho, bem como as possíveis extensões que dele podem ser desenvolvidas.

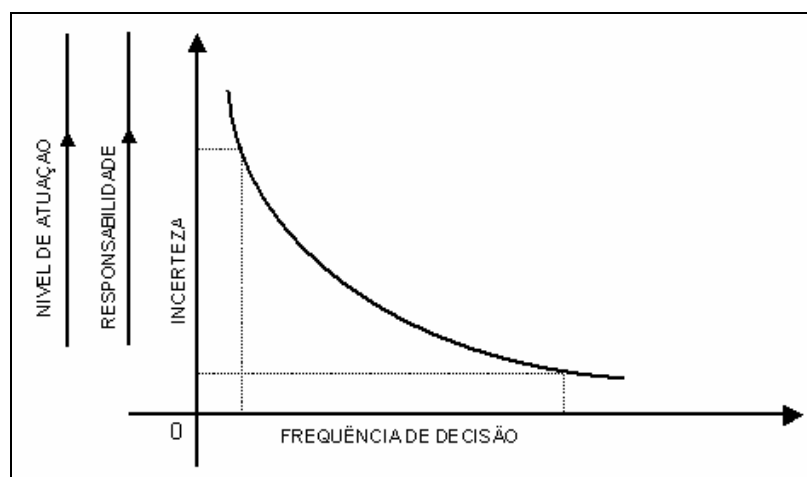
2 PLANEJAMENTO DE OBRAS

Conceitos gerenciais avançados estão por trás do sucesso de muitos empreendimentos do setor da construção civil. O grande avanço tecnológico e dos princípios do gerenciamento, tem possibilitado ganhos consideráveis às empresas em termos de qualidade, produtividade, redução de custos em geral e, conseqüentemente, competitividade das mesmas (VIEIRA, 1988). Já Archer (1992), afirma que as inovações tecnológicas no mundo da informática não permitem simplesmente a automatização de processos manuais, mas sim, um enorme ganho na produtividade e qualidade, permitindo que as empresas possam ser mais competitivas e que possam abrir um leque de opções e serviços e ou produtos a serem oferecidos ao mercado nacional e internacional.

Segundo Vieira (1988), um empreendimento pode ser definido como um conjunto de atividades não rotineiras e multidisciplinares destinadas a cumprir um determinado objetivo, caracterizado por um início e um fim, delimitado no tempo, e compatibilizado no custo em um plano que fixa datas e um planejamento que define prioridades. Uma de suas principais características é seu ciclo de vida representado por ações transitórias, um começo e um fim.

Essa caracterização pode ser visualizada graficamente na figura 2.1.

Figura 2.1 – Ciclo de vida de um empreendimento



Fonte: Vieira (1988, p. 17)

Atualmente, para a execução de um planejamento, as empresas construtoras recorrem a informática através de formulações modernas de software que agilizam o processo inicial e facilita a manutenção dos mesmos no desenrolar do período construtivo (CIMINO, 1987).

Conforme Colzani (1999), planejamento pode ser definido como o processo de tomada de decisão realizado para antecipar uma desejada ação futura, utilizando meios eficazes para concretizá-lo. Do mesmo modo, Ackoff (1976) cita que planejamento é “a definição de um futuro desejado e de meios eficazes de alcançá-lo”.

O planejamento permite utilizar de maneira mais eficiente e econômica possível, a mão-de-obra, os equipamentos, os materiais e os recursos financeiros disponíveis. Portanto, esses planos proporcionam as melhores formas de controle, facilitando a medição do trabalho a medida em que seja executado.

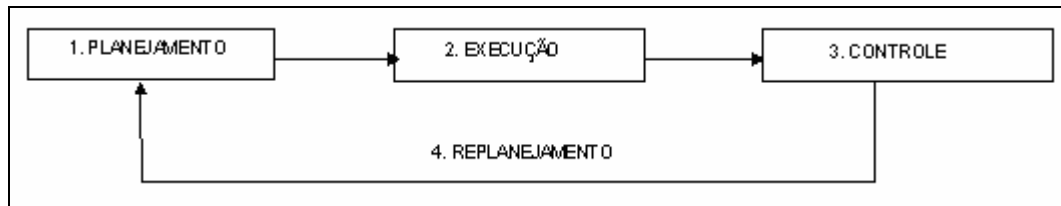
Segundo Corseuil (1996), um planejamento é efetuado nas seguintes etapas:

- a) determinação dos objetivos do projeto;
- b) determinação das tarefas necessárias para atingir os objetivos;
- c) determinação dos recursos necessários para efetuar o trabalho;
- d) coordenação e organização do trabalho, de modo que cada pré-requisito de uma tarefa, seja realizado antes que se faça necessário, sem que se perca de vista os objetivos traçados;
- e) estruturar o projeto para que os trabalhos sejam designados a grupos apropriados;
- f) manter as pessoas envolvidas no projeto informadas sobre qualquer mudança que venha a ocorrer no planejamento, bem como o seu estado atual;
- g) avaliar o progresso e o impacto das mudanças no planejamento, ajustando-o se necessário.

Depois de criado o planejamento, inicia-se a execução do projeto. Durante a execução, deve-se fazer o acompanhamento (ou controle) do planejamento, que tem por finalidade comparar continuamente o que foi planejado com o que está sendo executado – buscando-se assim localizar falhas no planejamento e distorções em relação ao empreendimento real. A identificação dessas distorções permite a análise do projeto e a elaboração de alternativas de solução para o ajuste da rede de planejamento visando a redução de distorções futuras (GOMES, 1994). É feito então um replanejamento, para as atividades posteriores à data da análise, de forma que este replanejamento resulte em uma execução mais eficiente e mais realista do projeto (CORSEUIL, 1996).

A figura 2.2 mostra um esquema simplificado do processo.

Figura 2.2 – Esquema do processo de planejamento



Fonte: Corseuil (1996, p. 28)

De acordo com Speranzini (2003), a fase de planejamento baseia-se na divisão do projeto em “atividades”, bem como a “seqüência” com que elas devam ser executadas, fixando-se claramente os objetivos do projeto, analisando-se em detalhes, os recursos necessários e disponíveis à execução dos trabalhos.

Colzani (1999), afirma que o processo de planejamento na construção evolue uma serie de tarefas, entre as quais pode se destacar a identificação dos serviços em um empreendimento, definições dos recursos necessários e estimativas de duração de cada serviço. A identificação dos serviços e definição dos recursos é baseada no conhecimento dos processos produtivos, nos métodos construtivos e tecnologias disponíveis. As durações de cada serviço são estimadas com base na produtividade média para a quantidade de trabalho necessária para cada serviço.

Para planejar com eficiência, reúnem-se informações pertinentes, formula-se suposições e identificam-se todos os problemas com suas possíveis soluções, selecionando a melhor alternativa. Ou seja, quando se planeja, antecipam-se as oportunidades e obstáculos que poderão surgir no futuro.

Planejamento representa uma tarefa fundamental na gerencia de empresas de construção. Muitos esforços têm sido empreendidos nas ultimas décadas no sentido de melhorar a eficiência, mas o progresso obtido na implantação das obras não tem atingido os resultados esperados, pois as pessoas que participam da fase do planejamento de um projeto devem ter um conhecimento completo do projeto, dos recursos, da mão-de-obra disponíveis, frentes de trabalho, etc (COLZANI, 1999).

2.1 TÉCNICAS ATUAIS DE PLANEJAMENTO DE OBRAS

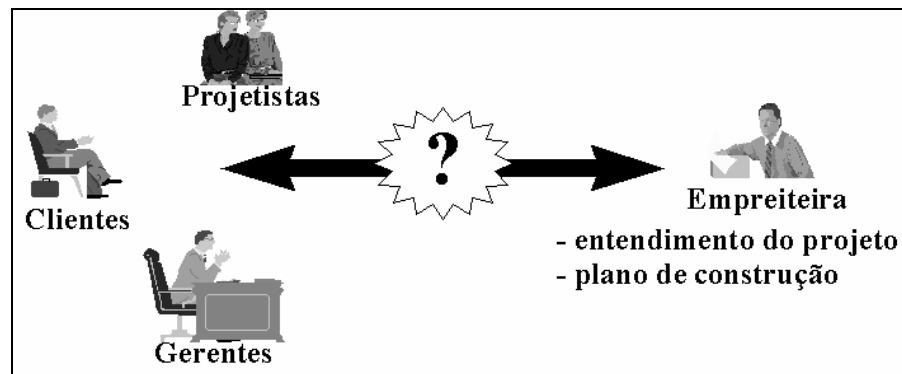
O emprego de técnicas de planejamento baseadas em rede, como o chamado modelo PERT/CPM, cumpre um importante papel na gerência de execução de obras em engenharia

civil. A prática de planejamento auxiliado por aplicações computacionais, cada vez mais presentes nos cotidianos dos construtores, faz com que tais aplicações se tornem parte importante dos sistemas de CAD integrados (GOMES, 1994).

Entretanto, a implementação de sistemas de CAD, na construção civil, requer uma análise inicial mais detalhada dos processos construtivos praticados atualmente pelo setor de construção. Neste contexto, um resumo da análise feita por Gomes (1994) é apresentado a seguir.

Principalmente no Brasil, a situação comum de contrato prevê a participação da empreiteira somente na fase posterior ao projeto. Normalmente a fase de projeto está dissociada da fase de execução. O cliente contrata uma empresa para conceber o projeto e depois contrata a empreiteira para executar o projeto. A empreiteira, por sua vez, apresenta aos projetistas, clientes e gerentes, sua maneira de entender o projeto e demonstra como pretende executar a construção (fig. 2.3). Neste processo, existe um risco muito grande de existirem equívocos na compreensão do projeto e das intenções pelas partes envolvidas. Tais equívocos podem desencadear problemas futuros, inclusive questões judiciais, contribuindo para a fragmentação da indústria da construção (REINSCHMIDT, 1991).

Figura 2.3: Interpretação do projeto.



Fonte: Corseuil (1996, p. 13)

No início da fase de execução, o contratante (empreiteira) se baseia em um conjunto de documentos, desenhos e especificações de diversas áreas (por ex: civil, estrutural, elétrica, hidráulica, arquitetônica) e repassa estes dados para os setores responsáveis pelas respectivas áreas. Eventuais falhas na comunicação entre estes setores podem gerar problemas de ordem prática, tais como:

- a) alteração no planejamento da construção;
- b) revisão dos cálculos quantitativos;

- c) atualização da previsão de custos;
- d) reconsideração de pedidos;
- e) retificação de sucessivos relatórios para faturamento.

Estas tarefas tornam o trabalho de gerenciamento difícil de ser efetuado e geram atrasos, ordens mal especificadas e avaliações incorretas do progresso da obra.

A próxima seção detalha a técnica de PERT/CPM citando conceito e características, mostrando algumas deficiências.

2.1.1 PER/CPM

Segundo Cukierman (1978), o modelo PERT/CPM é um conjunto de processos e técnicas para planejamento, programação e controle de um empreendimento ou operação, ou projeto, tendo como característica fundamental a indicação, dentre várias seqüências operacionais, daquela que possui duração máxima, além de permitir a indicação de graus de prioridade relativos, demonstrando distribuição de recursos e interdependência entre as várias ações necessárias ao desenvolvimento do projeto.

Existem uma série de modelos de caminhos críticos ou variantes com nomes patenteados e específicos oriundos de aprimorar ou adaptar o PERT/CPM a atividades específicas ou a usos especializados, nas quais existe uma pequena diferença entre elas e o PERT/CPM. Alguns desses modelos são listados conforme se segue:

- a) TARP – Técnica de Avaliação e Revisão de Projetos;
- b) CPA – *Cost Planning and Appraisal*;
- c) CPS – *Critical Path Scheduling*;
- d) CPT – *Critical Path Technique*;
- e) PCS – *Project Control System* (Programa da IBM);
- f) PMS - *Project Management System* (Programa da IBM);
- g) PROJACS – *Project Analysis and Control System* (Programa da IBM);
- h) RAMPS – *Resource Allocation and Multi-Project Scheduling*;
- i) SINETIK – (Programa da Siemens);
- j) TOPS – *The Operational Pert Systems*;

- k) PROMIS – *Project Information Management System* (Programa da Burroughs);
- l) ROY – Sistema Francês (desenvolvido por B. Roy, na França, em 1964).

Dentre as características das redes PERT/CMP as principais são:

- a) abordagem de um projeto de um ponto de vista sistêmico;
- b) dá ênfase aos objetivos;
- c) visa a otimização da chamada “regra dos 5 P’s” (política, performance, prazo, preço e perigo);
- d) é uma ferramenta interdisciplinar e de comunicação (conforme origens da técnica).

No entanto algumas deficiências e limitações podem ser também relatadas no modelo PERT/CPM. Cukierman (1978) lembra que o modelo PERT/CMP não cria situações, mas revela situações evitando e minimizando os efeitos advindos de uma ocorrência não prevista ou acidental ao longo do projeto. Portanto, ele ajuda a decidir, mas não é a decisão.

De acordo com Morad (1991), as técnicas tradicionais de planejamento baseadas em redes são limitadas, pois manipulam apenas os dados fornecidos durante o processo de planejamento, ignorando o conhecimento usado para gerar o plano. Além do mais, estas técnicas baseiam-se fortemente no julgamento, imaginação e intuição do analista ou coordenador de planejamento (*scheduler*), sem expor, no entanto, os fatores considerados determinantes pelo analista para posicionar-se diante das incertezas inerentes à lógica ou às relações entre atividades. Por fim, estas técnicas tradicionais requerem uma visualização abstrata dos múltiplos componentes do projeto, pois não oferecem uma visualização clara e dinâmica destes componentes.

Com todas estas limitações, as técnicas tradicionais de planejamento constituem-se em meras ferramentas de ilustração do problema em questão (o processo construtivo), e não representam técnicas de solução de problemas. A solução dos problemas relativos ao planejamento da construção é interna aos processos cognitivos do analista humano. Portanto, não existe uma representação explícita deste conhecimento. Morad (1991) afirmam que novas técnicas de planejamento devem ser propostas baseadas no binômio “Dados + Conhecimento” para que superem as limitações das técnicas atuais e sejam encaradas como técnicas de solução de problemas, isto é:

Técnicas atuais: Planejamento = DADOS (Illustration Problem)

Novas técnicas: Planejamento = DADOS + CONHECIMENTO (Problem Solving)

Neste contexto, os modelos de planejamento passariam a usar técnicas de inteligência artificial.

Partindo de um ponto de vista mais pragmático, o primeiro passo em direção a um novo modelo de planejamento é a integração das redes tradicionais com processos de CAD e processos executivos (relacionados em sua maioria a custos). Este trabalho, seguindo a orientação de Gomes (1994), propõe um modelo baseado na hipótese de que planejamento é um caso particular de design. Esta hipótese permite incorporar no planejamento muitas propriedades e resultados da teoria de design e também estabelece uma base teórica para a integração de CAD com planejamento.

3 TECNOLOGIA CAD

Na seção anterior foram abordados conceitos básicos e gerais sobre o planejamento de obras e técnicas atuais de planejamento visando mostrar a importância do planejamento para a construção de um empreendimento. Neste capítulo será mostrada a importância da tecnologia CAD para a indústria da construção civil como também algumas definições de modelos 3D.

3.1 BREVE HISTÓRICO

Desde 300 a .c., o processo de criar formas geométricas regulares ou não, é através do uso de papel, lápis, régua, compasso, que manipulados adequadamente, seguindo procedimentos bem determinados, geram as mais diversas figuras representando objetos. O surgimento da computação provocou um impacto muito grande em praticamente todas as atividades industriais e científicas, onde se expandiu rapidamente. Havia porém uma área ainda intocada pelos computadores: a linguagem de formas construtivas, geométricas, enfim, a criação com a linguagem de desenhos.

O Desenho Auxiliado por Computador, CAD, é uma técnica de projeto que utiliza o computador como principal ferramenta de trabalho. Os sistemas de desenho auxiliados por computador foram introduzidos em 1964, pela IBM e o primeiro sistema complexo ficou disponível no mercado em 1970, pela Application Incorporated. Porém, só recentemente foi sentido o impacto deste instrumento técnico, pois a partir da década de 80 muitas indústrias começaram a utilizar o CAD como ferramenta integrante do departamento de projetos (CADG, 2003).

3.2 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS

Segundo Denis (1992), o desenho assistido por computador (CAD) é uma prancheta de desenho eletrônica criada pela informática. Mais precisamente, é um meio de se obter a apresentação de um desenho através do tratamento informático. O desenho compreende todos os símbolos e textos necessários ao seu entendimento completo onde o desenho é uma representação simbólica de uma realidade, da mesma forma que um texto escrito é em relação às idéias que ele exprime.

Segundo Cadg (2003), os programas de CAD são ferramentas de desenho que podem ser utilizadas para a geração da geometria de modelos para programas de elementos finitos

que não tenham pré-processador, ou onde o pré-processador existente não é de fácil utilização.

Em uma outra visão Cadg (2003) afirma que o conceito CAD só passa a existir quando se juntam recursos computacionais ao desenvolvimento do produto, através de ação sobre seu modelo computacional. Portanto, o que distingue CAD de outras aplicações de engenharia em computador é, basicamente o uso de recursos gráficos interativos, modelagem geométrica e reutilização da informação de informações armazenadas.

A utilização dos recursos de CAD requer do usuários basicamente aquilo que já faz parte do seu universo de trabalho, não requerendo, portanto, profundos conhecimentos de ciência computacional.

Existem no mercado inúmeros ambientes de desenvolvimento de interfaces gráficas, entre eles pode-se citar: sistemas de CAD que podem ser customizados ou interligados a outros aplicativos, como AutoCad, DataCad e MicroStation, linguagens de programação compilada como Visual Basic, Delphi, Fortran e C++, e, linguagens de programação interpretada como Maple (FOLEY, 1990). Cadg (2003) afirma que para a escolha da linguagem de programação a ser utilizada em uma aplicação específica, deve-se levar em conta as características desejadas da aplicação, as capacidades das linguagens e as bibliotecas gráficas disponíveis.

O desenho técnico tem sido parte integrante da indústria desde a sua concepção como organização produtiva, pois o desenho técnico é o elo de ligação entre o departamento de projetos e a produção. Por esse motivo, aliado a grande evolução do poder de processamento e a queda dos preços dos computadores, a cada dia aumenta o número de profissionais utilizando o CAD como ferramenta de trabalho.

A potência dos sistemas CAD, permite além de manipulação e integração de informações, fazer projetos através da representação em três dimensões, possibilitando diferentes formas de visão e concepção de projetos e diminuindo a possibilidade de erros por incoerências.

Segundo Cadg (2003), existem muitas razões para se utilizar a tecnologia CAD, entre elas podemos citar:

- d) para aumentar a capacidade do projetista/engenheiro;
 - Isso é conseguido pela ajuda ao projetista a visualizar o produto e seus subsistemas e peças; pela redução do tempo necessário em sintetizar, analisar e documentar o projeto. O aumento de produtividade traduz-se não somente em custos mais baixos de projeto, mas também em prazos menores para sua conclusão.

- e) para melhorar a qualidade do projeto;
 - Um sistema CAD permite análise de engenharia mais completas (da concepção ao dimensionamento final do produto) e propicia um número maior de alternativas para serem investigadas, em pouco tempo. Erros dimensionais de projeto são reduzidos. Esses fatores combinados levam a um projeto melhor.

- f) para melhorar a qualidade de comunicação;
 - O uso de sistema CAD fornece melhores desenhos de engenharia, maior padronização nos detalhamentos, melhor documentação do projeto, menos erros dimensionais e maior clareza de detalhes, portanto legibilidade. Sem dúvida esses fatores contribuem para uma melhor comunicação entre os usuários dos serviços da engenharia de produto.

- g) para criar banco de dados para manufatura;
 - No processo de criação de um produto em CAD, pode ser gerado um banco de dados com informações geométricas que alimentam máquinas CNC¹. Sistemas CAD também podem ser úteis na geração de documentação do projeto do produto (especificação de materiais, lista de componentes, dimensões do produto, notas de desenho, número da peças, etc.), e no fornecimento de bancos de dados para atividades de suporte em produção tais como: CAP (Computer Aided Planning), MRP (Material Requesting Planning) etc.

- h) aumentar significativamente a produtividade do departamento de projetos, através da implantação de vários tipos de técnicas complementares como:

¹ O Comando Numérico Computadorizado (CNC), é um equipamento eletrônico que recebe informações da forma em que a máquina vai realizar uma operação, por meio de linguagem própria denominada máquina CNC, que processa essas informações, e devolve-as ao sistema através de impulsos elétricos.

- Customização do CAD, transformando rotinas do dia a dia de trabalho, em formas práticas de utilização;
- CAE, simulações e cálculos feitos a partir do desenho de uma peça;
- CAM, integração computador com a máquina operatriz. Hoje em dia, os softwares CAD 3D e parametrizados estão se tornando poderosas ferramentas de trabalho para as empresas que buscam uma maior produtividade e uma maior competitividade em um mercado cada vez mais concorrido. Sendo assim, pode-se concluir que o CAD melhora o desempenho dos projetistas e aumenta a produtividade, além de possibilitar a tomada de outras decisões importantes durante o desenvolvimento do projeto.

Enfim, uma das maiores características do CAD é a rapidez, pois através dele a manipulação e a análise de projetos é efetuada mais rapidamente do que por métodos tradicionais, e a variedade de tarefas que o CAD pode executar está limitada apenas pelo programa escrito.

A seguir é apresentada uma exposição dos mais avançados softwares em design (CAD) disponíveis no mercado nacional e internacional com seus respectivos fabricantes (CADG, 2003):

- a) Alias - Fabricado pela Alias Wavefront;
- b) I-DEAS Master Series - Structural Dynamics Research Corporation;
- c) AutoCad / Autodesk Mechanical Desktop – Autodesk;
- d) PRO / Engineer - Parametric Technology Corporation;
- e) SolidWORKS – SolidWORKS Corporation;
- f) Trispectives Professional - 3D / Eye;

Dentre todos citados vale salientar que o AutoCad, hoje na versão 2004, é o mais difundido mundialmente.

3.3 MODELOS 3D

Segundo Corseuil (1996), a pedra fundamental da integração dos processos de CAD e planejamento, com os processos executivos é o modelo tridimensional de todos os componentes da construção, normalmente chamado de maquete eletrônica. A visão dos processos a partir dos modelos 3D representa uma inversão dos procedimentos tradicionais e uma inovação relevante na indústria da construção. Neste ponto de vista, todos os processos (principalmente os processos de *design*) começam enxergando o objetivo do negócio com os olhos do construtor. Conforme foi colocado no capítulo anterior (paradigma do construtor), isto evita problemas de construtibilidade, ordens mal especificadas, retrabalho e, muitas vezes, acidentes devido a projetos incompatíveis com o processo construtivo. Esta nova visão engloba as condições para a inovação de processos, principalmente porque promove uma revisão do processo e focaliza no produto final e nas necessidades do cliente.

Este capítulo coloca as utilidades de um modelo 3D na sua forma convencional e reapresenta o modelo proposto por Gomes (1994) onde um objeto tridimensional guarda, além das informações tradicionais relativas a aspectos de visualização, outras informações relevantes para o projeto de engenharia como um todo.

Existem dois tipos de modelos 3D, aqueles que apenas representam espacialmente os objetos (convencionais) e aqueles que estão ligados a estrutura de informação (GOMES, 1994).

Na situação mais comum de contrato, onde a empreiteira só atua na fase posterior ao projeto, o modelo 3D convencional permite exercer, com eficiência, a revisão de Construtibilidade na sua forma mais simples de revisão de projeto (*Design Review*). Este procedimento sempre revela inconsistências de projetos que são, em grande parte, erros de dimensão no lançamento dos objetos. Quanto a revisão de construtibilidade modelos 3D convencionais são úteis para as seguintes tarefas:

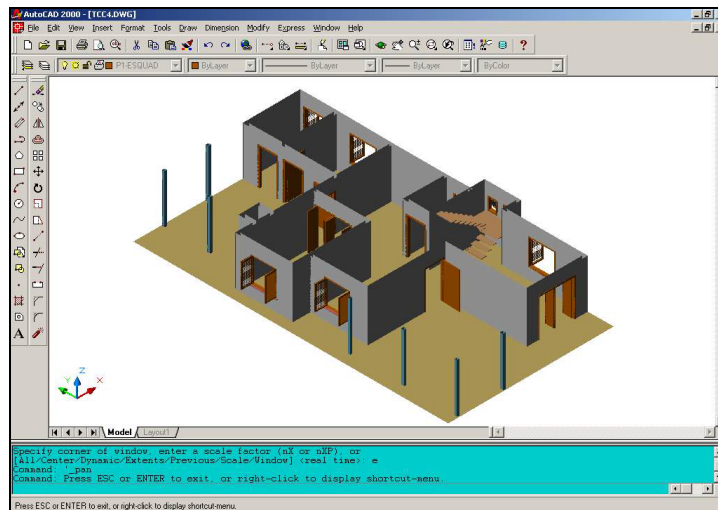
- a) identificar interferências e outras inconsistências de projeto;
- b) investigar métodos de construção mais eficientes;
- c) identificar área de construção difícil;
- d) identificar mudanças que aumentam a produtividade da construção.

Os modelos 3D convencionais também são úteis nos seguintes pontos:

- a) simulação animada da construção para a definição da melhor técnica de construção;

- b) produção automática de desenhos 2D através de fatias do modelo 3D;
- c) flexibilidade de impressão de diferentes formatos de desenhos;
- d) mobilidade da maquete eletrônica (via notebook, disquete ou rede).

Figura 3.1 - Ilustração do modelo 3D convencional



Os modelos 3D não devem, entretanto, ser apenas meras visualizações pictóricas do projeto, mas devem ser bancos de dados dos principais parâmetros de engenharia contidos no projeto. Cada objeto tridimensional deve, entretanto, estar associado a informações de custo, planejamento e de intenções de projeto e de construção. Esta é a forma de Modelos 3D Estruturados que tem aplicação imediata nos processo de planejamento e controle da obra, conforme resumo a seguir:

- a) acesso instantâneo a toda informação em cada componente;
- b) representação gráfica rápida de quantidades (m^3 de concreto, ...);
- c) resumo visual de todo o trabalho de construção;
- d) ajuda na confecção de relatórios de progresso da construção;
- e) ajuda na instrução das equipes locais de construção;
- f) produção de cronograma mais curtos, mais confiáveis e mais baratos.

3.3.1 UTILIZAÇÃO DE MODELOS 3D

Em uma abordagem inovadora do processo de construção, pode-se mostrar que o uso de modelos 3D colabora para um melhor entendimento do artefato a ser construído. A fase de

modelagem geométrica tridimensional é bem tratada por sistemas de CAD, a partir do começo da fase de concepção (*sketches*, perspectivas, *walk-through*) até o estágio de detalhamento do projeto da construção. A partir da base de dados de um modelo 3D, pode-se produzir desenhos 2D, detalhes do artefato, quantificações, custos e relatórios progressivos. Modelos 3D podem integrar dados relativos a todo o processo de engenharia e representam a idéia central para a engenharia colaborativa na indústria da construção.

4 FERRAMENTAS DE PLANEJAMENTO E DE CAD

Este capítulo se divide em duas seções: a seção 4.1 onde é apresentada uma ferramenta de planejamento de obras, o MS Project, e a seção 4.2 é apresentada uma ferramenta de Tecnologia CAD, o AutoCAD, que possui o ambiente de programação VBA, cujos recursos foram utilizados na implementação do protótipo.

4.1 MS PROJECT

Segundo Prado (1998), o MS Project, ou Microsoft Project da Microsoft é um dos mais populares entre os programas atualmente existentes para planejamento e controle de projetos. Sua versão inicial rodava no ambiente DOS e foi lançada em 1985. A principal característica deste programa sempre foi a facilidade de uso. Assim, apesar de nem sempre ter oferecido o “estado-da-arte” no assunto gerência de projetos, sua simplicidade de uso atraía simpatizantes, mesmo em empresas que também utilizavam outros softwares mais poderosos com a mesma finalidade.

O emprego de soluções com tecnologia baseada no MS Project, possibilitam a execução de orçamentos vinculados ao planejamento e acompanhamento de obras. Assim de acordo com Prado (1998), o planejamento do empreendimento é desenvolvido com modernas tecnologias de programação como Diagramas de Precedência (que avalia a seqüência de execução da obra) e Linha de Balanceamento (que facilita a sincronização das tarefas). A figura 4.1 exemplifica a tela do MS Project com o planejamento dos custos do empreendimento.

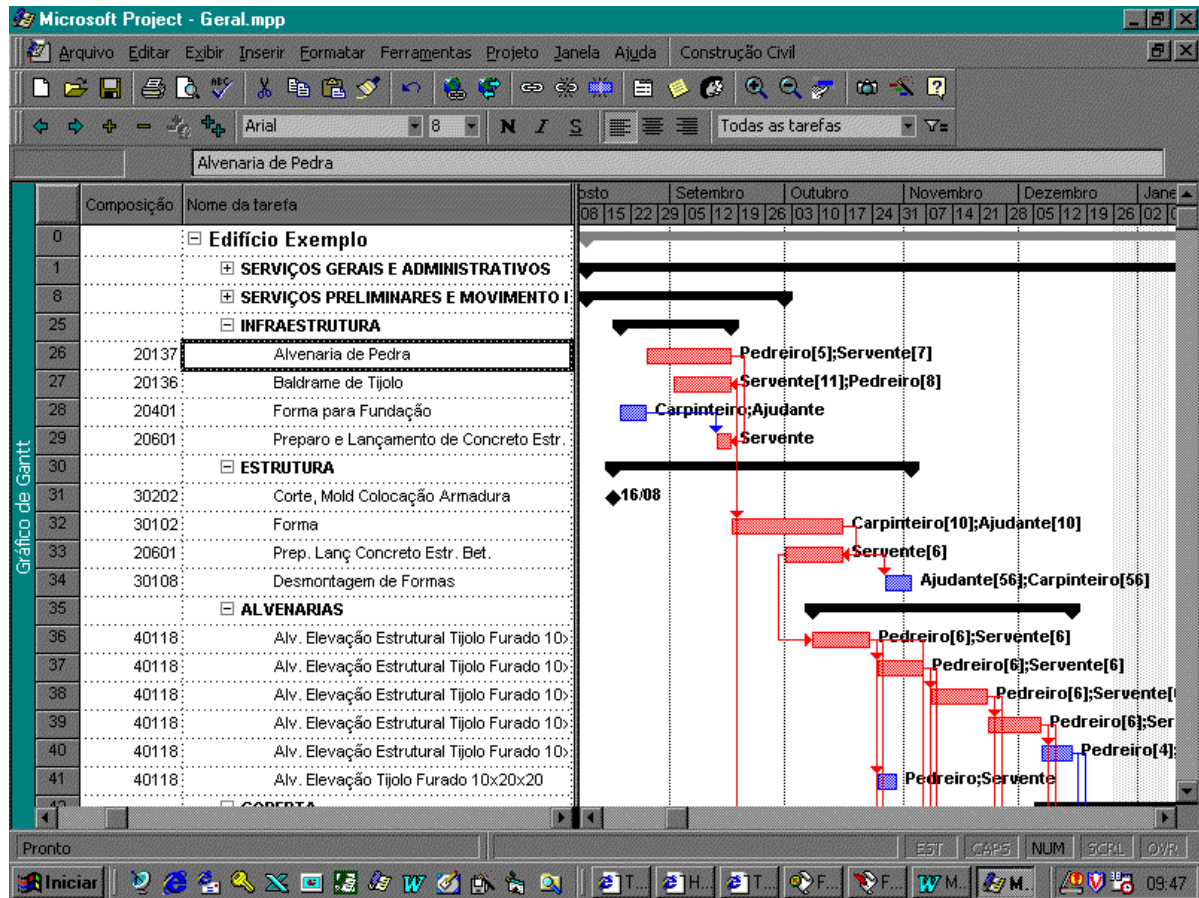
Figura 4.1 - Tela de exemplo do MS Project

	Conta	Composição	Nome da tarefa	Local	Und	Qtde	Custo Unit	Custo Total	%
0	0:		Edifício Exemplo			0	0,00:	0,00	0
1	1:		SERVIÇOS GERAIS E ADMINISTRATIVOS			0	0,00:	0,00	0
8	2:		SERVIÇOS PRELIMINARES E MOVIMENTO DE TERRA			0	0,00:	0,00	0
25	3:		INFRAESTRUTURA			0	0,00:	0,00	0
26	3.1:	20137	Alvenaria de Pedra		M3	93,9	0,00:	0,00	0
27	3.2:	20136	Baldrame de Tijolo		M3	68,76	0,00:	0,00	0
28	3.3:	20401	Forma para Fundação		M²	23,64	0,00:	0,00	0
29	3.4:	20601	Preparo e Lançamento de Concreto Estr. Bet.		M3	5,61	0,00:	0,00	0
30	4:		ESTRUTURA			0	0,00:	0,00	0
31	4.1:	30202	Corte, Mold Colocação Armadura	Obra:	OBRA:	1	0,00:	0,00	0
32	4.2:	30102	Forma	Obra:	M²:	1126,86	0,00:	0,00	0
33	4.3:	20601	Prep. Lanç Concreto Estr. Bet.	Obra:	M3	64,28	0,00:	0,00	0

Fonte: Prado (1998, CD em anexo – arquivo Geral.mpp)

Planejamento das tarefas é complementado com o dimensionamento de toda a mão-de-obra necessária para realização de cada tarefa, considerando a duração, volume de serviço e produtividades (coeficientes) das composições de custo conforme exemplificado por Prado (1998), na figura 4.2.

Figura 4.2 - Planejamento de tarefas com mão-de-obra



Fonte: Prado (1998, CD em anexo – arquivo Geral.mpp)

Seja para obras com características repetitivas (edifícios de múltiplos pavimentos tipo ou conjuntos residenciais) ou para obras com diferentes portes, pode-se encontrar as melhores soluções de programação de tarefas e mão-de-obra.

4.1.1 CARACTERÍSTICAS DO MS PROJECT

Segundo Prado (1998), inúmeros são os recursos que o programa MS Project oferece, no que se refere aspectos de planejamento de obras, dos quais destacam-se:

- o dimensionamento de todas as equipes para todas as tarefas da obra;
- a avaliação da distribuição de mão-de-obra ao longo do empreendimento;
- a otimização de equipes e prazos;
- a sincronização de tarefas;
- o planejamento conjunto de múltiplas obras;

- f) o acompanhamento e análise de alternativas durante a execução.

Prado (1998) ainda caracteriza o MS Project por seus recursos em relação aos aspectos de gerência de projetos, como:

- a) baseia-se no modelo Diagrama de Precedências (as atividades do projeto são criadas na forma de blocos e não na forma de setas);
- b) utiliza o Gráfico de Gantt ou de barras como ferramenta básica a ser utilizada durante a entrada de dados;
- c) aceita relações de precedências tipo Fim-Início, Início-Início, Fim-Fim Início-Fim;
- d) permite tarefas recorrentes como inclusão de tarefas que ocorrem de form repetitiva(por exemplo, em um projeto pode-se ter reuniões todas a segundas-feiras);
- e) permite estabelecer níveis hierárquicos para as tarefas, isto é, admite existência de tarefas de resumo;
- f) permite uso de subprojetos;
- g) permite uso de "datas programadas" para as atividades;
- h) permite uso do modelo probabilístico;
- i) os recursos são ligados diretamente às atividades;
- j) os custos são ligados diretamente às atividades na forma de custos fixos ou de custos dos recursos.

4.2 O AUTOCAD

Segundo Finkelstein (2000), o AutoCAD foi criado pela AutoDesk que é a quarta maior companhia de software do mundo. De acordo com a AutoDesk, o AutoCAD é o programa de técnica de desenho mais utilizado, com mais de 2.3 milhões de usuários registrados. A AutoDesk lançou a primeira versão do AutoCAD em 1982 em sistema operacional DOS e foi considerado o programa mais importante de CAD a funcionar em um PC, pois, na época, a maioria dos programas de desenho técnico funcionavam em estações de

trabalho de topo de linha, ou até mesmo *mainframes*. Atualmente o AutoCAD é usado em todas as áreas de trabalho em mais de 150 países.

Dentre muitas características, podemos citar algumas importantes (FINKELSTEIN, 2000):

- a) acesso a base de dados externas;
- b) dimensionamento inteligentes;
- c) importação e exportação para outros formatos de arquivos;
- d) possui arquitetura aberta (o que significa, que muitos dos arquivos de código fonte que o AutoCAD usa são arquivos de texto simples (ASCII), que podem ser customizados conforme necessidade);
- e) possui suporte as linguagens AutoLisp e VBA, projetadas especialmente para que o usuário final possa programar o AutoCAD, motivo que fez com que o AutoCAD se tornasse o programa padrão em se tratando de desenho técnico;
- f) possui suporte para outras línguas, além do inglês, incluindo línguas que utilizam outros alfabetos.

Por essas e outras características o AutoCAD é o mais flexível programa de projetos e desenhos dentre os disponíveis no mercado, podendo ser aplicado em todas as áreas, onde se destacam a Arquitetura, a Engenharia e a Construção, mais conhecida com (AEC).

4.2.1 VBA, UMA PLATAFORMA DE DESENVOLVIMENTO

Para desenvolvimento do protótipo de software proposto optou-se por utilizar uma linguagem de programação compilada. As linguagens disponíveis analisadas foram: Visual Basic (VB), AutoLisp, Delphi e C++.

A linguagem escolhida foi o Visual Basic, utilizando o ambiente de desenvolvimento *Visual Basic For Applications* (VBA). De acordo com suas características (FINKELSTEIN, 2000), os principais motivos para a escolha do VBA foram:

- a) é uma linguagem e um ambiente de programação incluída no AutoCAD;
- b) possui grande número de bibliotecas de funções disponíveis para o AutoCAD;

- c) oferece uma maneira simples de personalizar o AutoCAD;
- d) permite recuperar, criar e manipular objetos facilmente;
- e) é comum a muitos aplicativos - tais como Word, Excel, Power Point, Access;
- f) apresenta grande portabilidade do código fonte;
- g) é uma linguagem estruturada de nível médio;
- h) é de mais fácil compreensão que o AutoLisp, devido à sua sintaxe;
- i) é mais rápido que o AutoLisp, até mesmo quando este está compilado;
- j) desde a versão 14 também está disponível com o AutoCAD;
- k) é ideal em situações nas quais se precise trabalhar com mais de um aplicativo de cada vez.

Segundo Finkelstein (2000), o VBA é uma variação do Visual Basic (VB) que possui o ActiveX (uma interface que expõe objetos ao usuário a um aplicativo) permite acessar objetos em outros aplicativos, porém, pode-se também usar o VBA para programar somente o AutoCAD, como foi o caso.

O VB não está relacionado a nenhum aplicativo específico. Seu código é compilado em um arquivo executado autônomo, não relacionado a nenhum documento específico. O VBA, por outro lado, está conectado ao seu aplicativo e ao documento no qual se criou o código.

O VBA no AutoCAD funciona ligeiramente diferente no VBA na maioria dos aplicativos, pois na medida em que os projetos do VBA são armazenados em um arquivo separado, com extensão “.*dvb*” mas podem também ser armazenados em um arquivo de desenho.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Com os assuntos abordados nos capítulos 2, 3 e 4, pôde-se iniciar o desenvolvimento de um protótipo de sistema de CAD nomeado PLAN3D.

A seção 5.1 apresenta uma visão geral sobre os requisitos identificados para seu bom funcionamento. Na seção 5.2, é apresentada a especificação do protótipo. A seção 5.3 e 5.4 mostram detalhes da implementação e as seções 5.5 e 5.6 abordam o funcionamento e análise dos resultados obtidos, respectivamente. A seção 5.7 é reservada ao estudo das dificuldades encontradas e a seção 5.8 refere-se as limitações do protótipo.

Para a construção do protótipo foram considerados alguns requisitos básicos:

- a) a utilização do MS Project para a exportação do arquivo que contém o planejamento de uma obra, com suas atividades contendo início e fim;
- b) a utilização do AutoCAD que conterà o desenho da mesma obra planejada;
- c) a utilização do VBA ferramenta de desenvolvimento (está inclusa no AutoCAD) do protótipo.

Para o bom funcionamento do protótipo é importante que o seguinte pré-requisito seja cumprido:

- a) ao exportar o arquivo do MS Project o mesmo deve ser exportado no formato “.txt” com o nome “*atividades.txt*”.

5.1 ESPECIFICAÇÃO

Para a especificação da ferramenta foi utilizado o software *Rational Rose*. Para a especificação dos processos foi escolhida a notação de fluxogramas. Os diagramas escolhidos para a especificação da ferramenta foram usados os diagramas de Casos de Uso, diagramas de atividades e diagramas de transição de estados.

5.1.1 DIAGRAMAS DE CASOS DE USO

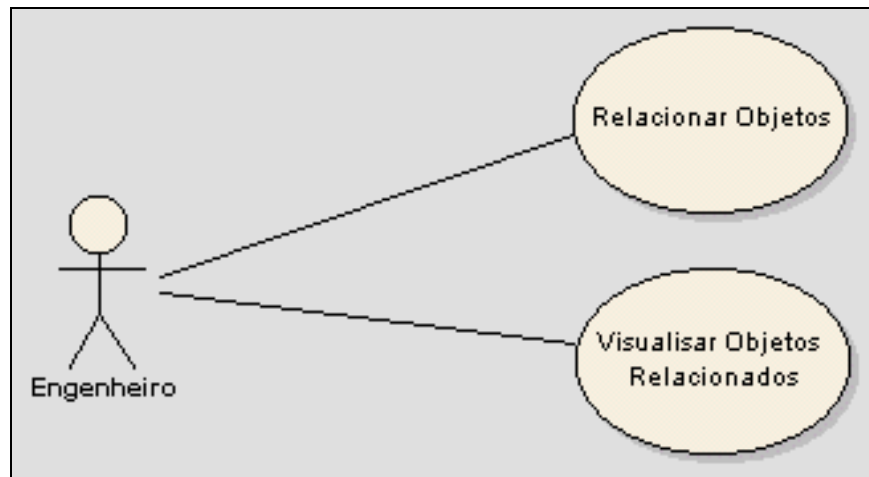
A ferramenta se divide em vários processos dos quais dois processos são os principais: o relacionamento entre o desenho 3D e as atividades e a visualização dos objetos relacionados com sua atividade.

No primeiro processo, o usuário irá relacionar uma atividade a um ou mais objetos do desenho 3D transformando-o em um dado estendido (xData).

No segundo processo, o usuário visualizará somente os objetos pré-relacionados.

A figura 5.1 especifica os dois processos descritos acima.

Figura 5.1 – Principais casos de uso



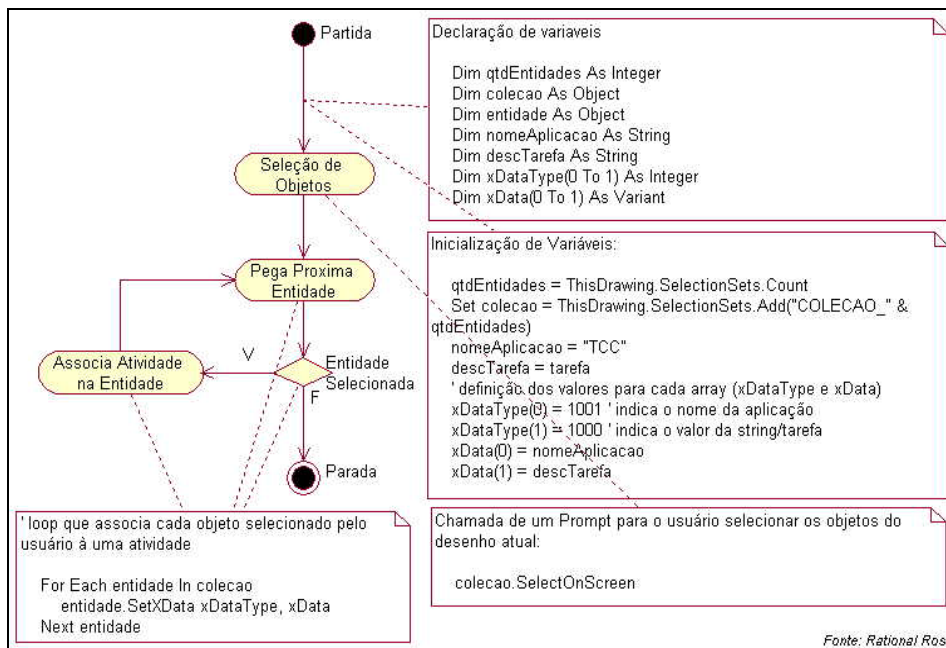
5.1.2 DIAGRAMAS DE ATIVIDADES

Para se ter uma outra visualização do protótipo, foram criados fluxogramas para obter um entendimento dos fluxos das informações que trafegam no protótipo.

Para isso, foram selecionados dois processos que foram classificados como principais, a função “relacionar” e “visualizar”.

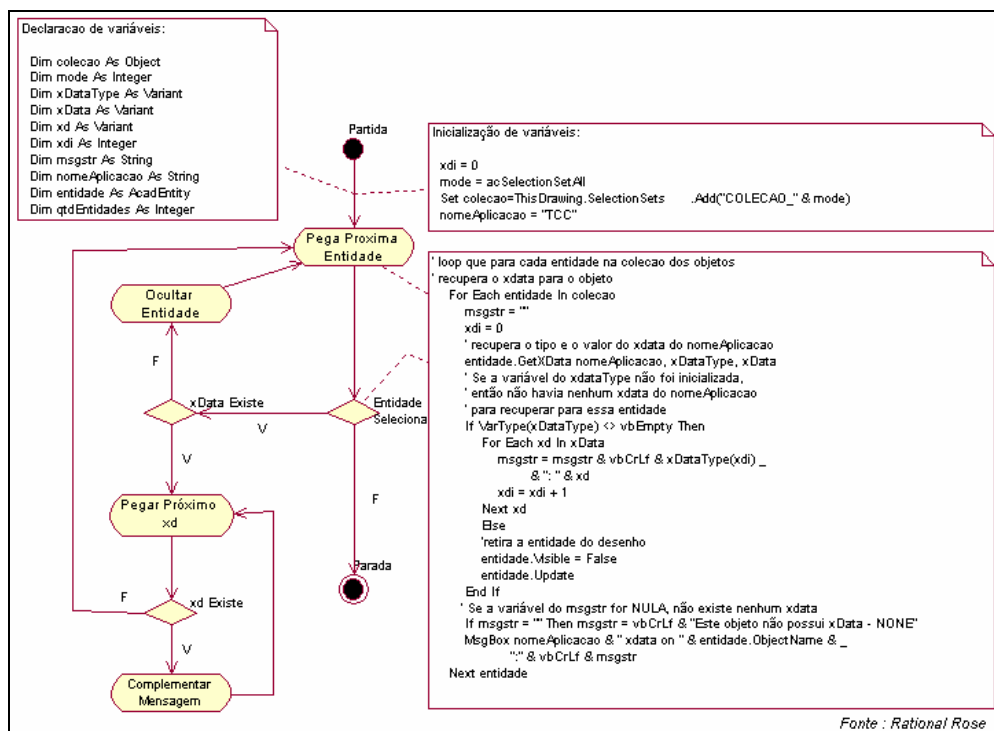
Segue diagrama de atividade do botão “relacionar” com descrição, conforme figura 5.2.

Figura 5.2 - Diagrama de atividade da função relacionar



Segue diagrama de atividade do botão “visualizar” com descrição, conforme figura 5.3.

Figura 5.3 - Diagrama de atividade da função visualizar



5.1.3 DIAGRAMAS DE TRANSIÇÃO DE ESTADOS

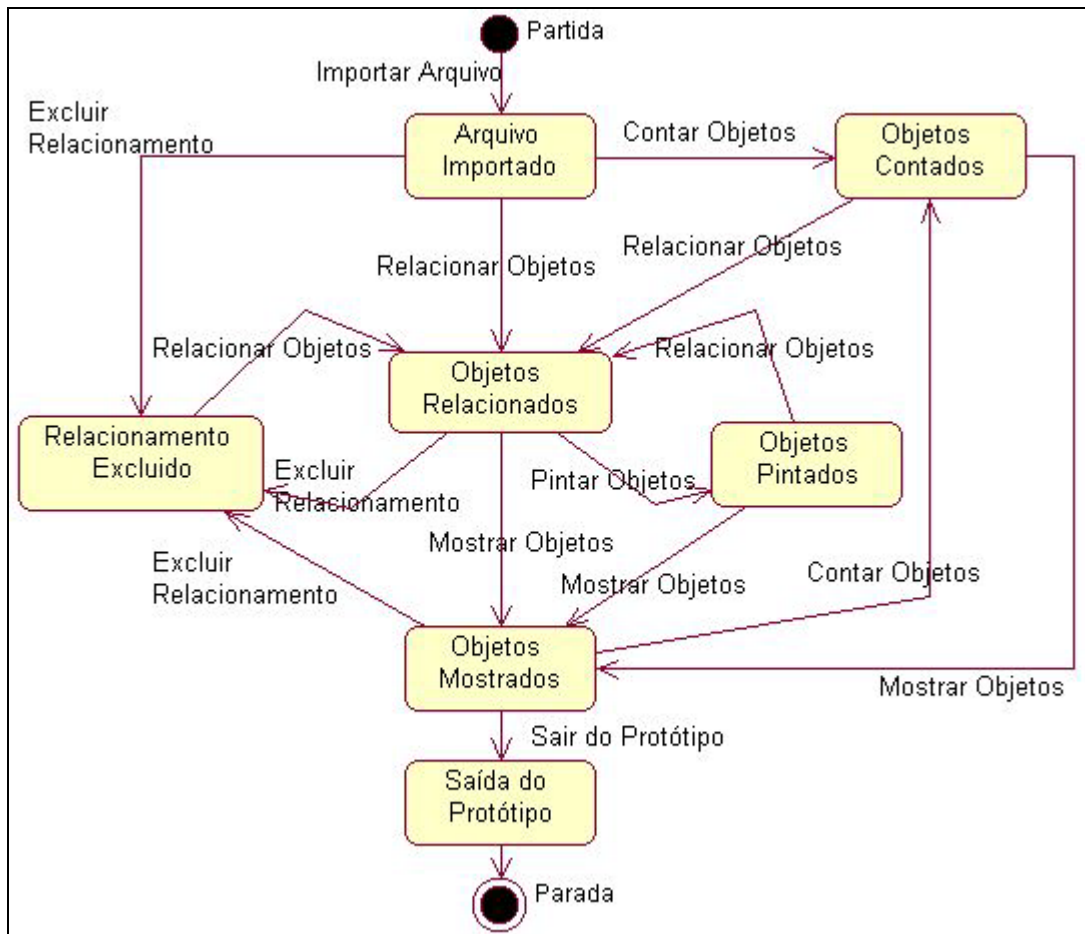
Segundo Hatley (1991), o diagrama de transição de estados (DTE) é a representação mais familiar para uma máquina seqüencial.

Os DTEs, possuem alguns componentes para sua representação:

- a) estados: os estados são representados por caixas retangulares contendo os nomes dos estados;
- b) arcos de transição: representados por linhas, com pontas de flechas, mostrando a direção da transição;
- c) eventos/ações: mostrados, pelos seus nomes, como rótulos sobre os arcos de transição por eles causados; e as ações são mostradas, pelos seus nomes, adjacentes aos eventos que as provocam.

O protótipo foi especificado através do diagrama de transição de estados (DTEs), conforme apresentado anteriormente. A figura 5.4 apresenta o diagrama de transição de estados do controle de relacionamentos e visualização dos objetos implementado neste trabalho e sob o funcionamento do protótipo.

Figura 5.4 - Diagrama de estado representação geral



No protótipo implementado, tem-se os seguintes estados, com seus devidos eventos e ações:

- ‘Arquivo Importado’: neste estado, o arquivo de planejamento está importado. Durante este estado, podem ocorrer as ações “Contar Objetos”, “Excluir Relacionamento” e “Relacionar Objetos”. Quando acontece a ação “Contar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Contados’. Com a ação “Excluir Relacionamento” vai para o estado ‘Relacionamento Excluído’. Quando acontece a ação “Relacionar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Relacionados’;
- ‘Objetos Contados’: neste estado, os objetos relacionados são contabilizados. Durante este estado, podem ocorrer as ações “Relacionar Objetos”, “Mostrar Objetos”. Quando acontece a ação “Relacionar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Relacionados’. Com a ação “Mostrar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Mostrados’;
- ‘Relacionamento Excluído’: neste estado, o relacionamento entre objeto é excluído.

Durante este estado, pode ocorrer a ação “Relacionar Objetos”. Quando acontece a ação “Relacionar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Relacionados’;

- d) ‘Objetos Relacionados’: neste estado, os objetos estão relacionados. Durante este estado, podem ocorrer as ações “Excluir Relacionamento”, “Pintar Objetos” e “Mostrar Objetos”. Quando acontece a ação “Excluir Relacionamento” vai para o estado ‘Relacionamento Excluído’. Com a ação “Pintar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Pintados’. Quando acontece a ação “Mostrar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Mostrados’;
- e) ‘Objetos Pintados’: neste estado, os objetos que foram relacionados serão pintados em azul e os não relacionados foram pintados de vermelho. Durante este estado, pode ocorrer a ação “Relacionar Objetos” e “Mostrar Objetos”. Quando acontece a ação “Relacionar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Relacionados’. Com a ação “Mostrar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Mostrados’;
- f) ‘Objetos Mostrados’: neste estado, os objetos que foram relacionados são mostrados e os não relacionados são ocultados. Durante este estado, podem ocorrer as ações “Excluir Relacionamento”, “Contar Objetos” e “Sair do Sistema”. Quando acontece a ação “Excluir Relacionamento” vai para o estado ‘Relacionamento Excluído’. Quando acontece a ação “Contar Objetos” vai para o estado ‘Objetos Contados’. Quando acontece a ação “Sair do Sistema” vai para o estado ‘Saída do Protótipo’;
- g) ‘Saída do Protótipo’: neste estado, o usuário sai do protótipo.

5.2 IMPLEMENTAÇÃO

Na implementação do protótipo foi utilizada a linguagem VB, utilizando o ambiente de programação VBA, já abordada no capítulo 4, cuja linguagem está incluída no AutoCAD na qual a versão utilizada foi a 2000.

5.3 DESCRIÇÃO DAS PRINCIPAIS FUNÇÕES DO PROTÓTIPO

O protótipo se divide em vários processos dos quais dois processos são os principais: o relacionamento entre o desenho 3D e as atividades e a visualização dos objetos relacionados com sua atividade.

No primeiro processo, o usuário irá relacionar uma atividade a um ou mais objetos do desenho 3D transformando esse conjunto de objetos relacionados em um dado estendido (xData), através da função relacionar demonstrado no quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Demonstração do código fonte da função relacionar

```

%%-----
%% A função relacionar, relaciona os objetos selecionados a atividade selecionada.
%%-----

' Função relacionar
Private Sub btAtivar_Click()

    ' declaração de variáveis
    Dim qtdEntidades As Integer
    Dim colecao As Object
    Dim entidade As Object
    Dim nomeAplicacao As String
    Dim descTarefa As String
    Dim xDataType(0 To 1) As Integer
    Dim xData(0 To 1) As Variant

    ' inicialização de variáveis
    qtdEntidades = ThisDrawing.SelectionSets.Count
    Set colecao = ThisDrawing.SelectionSets.Add("COLECAO_" & qtdEntidades)
    nomeAplicacao = "TCC"
    descTarefa = tarefa

    ' definição dos valores para cada array (xDataType e xData)
    xDataType(0) = 1001 ' indica o nome da aplicação
    xDataType(1) = 1000 ' indica o valor da string/tarefa
    xData(0) = nomeAplicacao
    xData(1) = descTarefa

    ' chama um Prompt para o usuário selecionar os objetos da planta
    colecao.SelectOnScreen

    ' loop que associa cada objeto selecionado pelo usuário à atividade
    For Each entidade In colecao
        entidade.SetXData xDataType, xData
    Next entidade
    'limpa a selecao dos objetos da colecao
    colecao.Clear
    'destrói o objeto da selecao em colecao
    colecao.Delete
End Sub

```

A função relacionar em maiores detalhes pode ser descrita primeiramente com a declaração das variáveis depois com a inicialização das variáveis, seguindo da definição dos valores de para cada *array*, no caso *xDataType* que guardará o nome da aplicação e depois o *xData* que conterà a String da tarefa. Logo depois existe a função de seleção de objetos que chama um *prompt* de seleção de objetos no AutoCAD. Depois da seleção existe um *loop* que associa para cada conjunto de objetos relacionados a atividade previamente selecionada. Após, é limpa a seleção dos objetos da coleção e destrói o objeto seleção em "colecao".

No segundo processo, o usuário irá visualizar uma atividade previamente relacionada bastando para isso selecionar a atividade desejada e clicar no botão “Visualizar”, através da função visualizar demonstrada no quadro 5.2.

Quadro 5.2 – Demonstração do código fonte da função visualizar

```

%%-----
%% A função visualizar, visualiza os objetos relacionados pela função relacionar.
%%-----

' Função visualizar
Private Sub btMostrar_Click()

    ' declaração de variáveis
    Dim colecao As Object
    Dim mode As Integer
    Dim xDataType As Variant
    Dim xData As Variant
    Dim xd As Variant
    Dim xdi As Integer
    Dim msgstr As String
    Dim nomeAplicacao As String
    Dim entidade As AcadEntity
    Dim qtdEntidades As Integer

    ' inicialização de variáveis
    xdi = 0
    mode = acSelectionSetAll 'seleciona todas as entidades do desenho
    Set colecao = ThisDrawing.SelectionSets.Add("COLECAO_" & mode)
    nomeAplicacao = "TCC"

    MsgBox "Agora vou mostrar só que tem Colecao... "

    colecao.Select mode

    ' loop que para cada entidade na colecao dos objetos
    ' recupera o xdata para o objeto
    For Each entidade In colecao
        msgstr = ""
        xdi = 0
        ' recupere o tipo e o valor do xdata do nomeAplicacao
        entidade.GetXData nomeAplicacao, xDataType, xData
        ' Se a variável do xdataType não foi inicializada,
        ' então não havia nenhum xdata do nomeAplicacao
        ' para recuperar para essa entidade
        If VarType(xDataType) <> vbEmpty Then
            For Each xd In xData
                msgstr = msgstr & vbCrLf & xDataType(xdi) & " _
                    & ": " & xd
                xdi = xdi + 1
            Next xd
        Else
            'retira a entidade do desenho
            entidade.Visible = False
            entidade.Update
        End If
        ' Se a variável do msgstr for NULA, não existe nenhum xdata
        If msgstr = "" Then msgstr = vbCrLf & "Este objeto não possui xData - NONE"
        MsgBox nomeAplicacao & " xdata on " & entidade.ObjectName & " _
            ":" & vbCrLf & msgstr

    Next entidade

    'limpa a selecao dos objetos da colecao
    colecao.Clear

```

```
'destroi o objeto da selecao em colecao  
colecao.Delete  
End Sub
```

A função visualizar em maiores detalhes pode ser descrita primeiramente com a declaração das variáveis depois com a inicialização das variáveis, seguindo a mensagem "Agora vou mostrar só que tem Coleção... ". Depois ele faz uma repetição que, para cada entidade na *colecao* dos objetos, ele recupera o *xData* para o objeto. Depois recupera o tipo e o valor do *xdata* do *nomeAplicacao* e verifica se a variável do *xDataType* não foi inicializada, então não havia nenhum *xData* do *nomeAplicacao* ele retira a entidade do desenho. Se a variável do *msgstr* for NULA, não existe nenhum *xdata* então ele mostra a mensagem "Este objeto não possui *xData* - NONE" com isso ele torna o objeto que não está relacionado a um *xData* invisível deixando somente os objetos que estão relacionados com aquela atividade previamente selecionada.

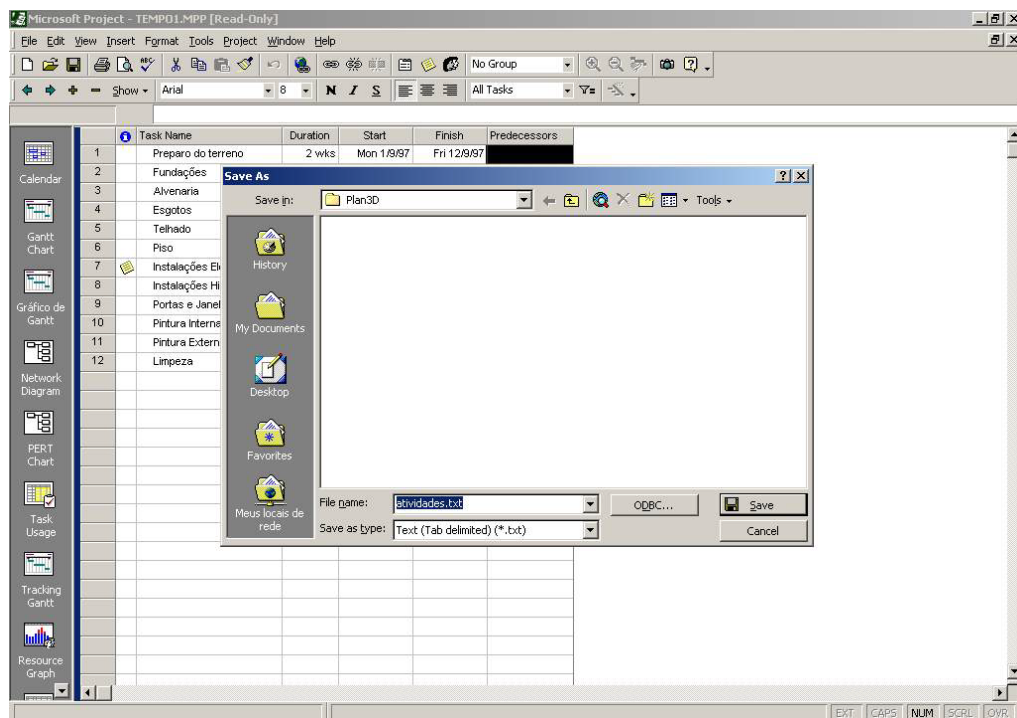
5.4 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO

A seguir, será mostrado o funcionamento do protótipo. Na figura 5.5 é apresentada a tela de exportação de um exemplo de planejamento. Depois esse planejamento é importado para dentro do AutoCAD e através do AutoCAD é lido o protótipo PLAN3D que importa o arquivo “atividades.txt” que é utilizado para a manipulação dos objetos 3D no AutoCAD.

Esse processo é detalhado conforme descrição abaixo com suas respectivas figuras, lembrando que é desejável que o usuário do sistema já conheça os dois softwares de manipulação, no caso: o MS Project e o AutoCAD.

Deve-se primeiramente, no MS Project, exportar as informações do planejamento para um arquivo no formato “.txt” com o nome “atividades.txt”, como exemplificado na figura 5.5.

Figura 5.5 - Exemplo de exportação do MS Project



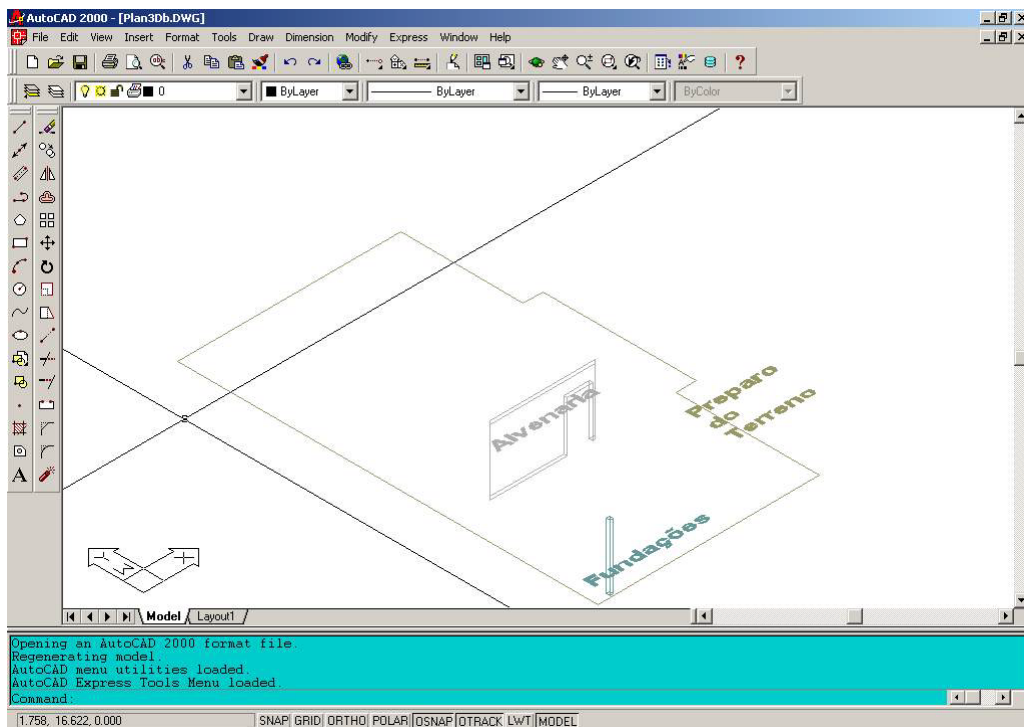
Depois de exportado o arquivo de planejamento do MS Project o arquivo “atividades.txt” deve basicamente ficar no *layout* da figura 5.6 diferenciando-o somente em relação aos dados contidos no mesmo.

Figura 5.6 - Exemplo de arquivo exportado "atividades.txt"

ID	Task_Name	Duration	Start_Date	Finish_Date	Predecessors	Resource_Names
1	Preparo do terreno	2 wks	Mon 1/9/97	Fri 12/9/97		
2	Fundações	3 wks	Mon 15/9/97	Fri 3/10/97	1	
3	Alvenaria	3 wks	Mon 6/10/97	Fri 24/10/97	2	
4	Esgotos	1 wk	Mon 6/10/97	Fri 10/10/97	2	
5	Telhado	5 wks	Mon 27/10/97	Fri 28/11/97	3	
6	Piso	1 wk	Mon 13/10/97	Fri 17/10/97	4	
7	Instalações Elétricas	3 wks	Mon 1/12/97	Fri 19/12/97	5	
8	Instalações Hidráulicas	4 wks	Mon 1/12/97	Fri 26/12/97	5	
9	Portas e Janelas	6 wks	Mon 1/12/97	Fri 9/1/98	"5;6"	
10	Pintura Interna	8 wks	Mon 12/1/98	Fri 6/3/98	"7;8;9"	
11	Pintura Externa	2 wks	Mon 12/1/98	Fri 23/1/98	9	
12	Limpeza	1 wk	Mon 9/3/98	Fri 13/3/98	"10;11"	

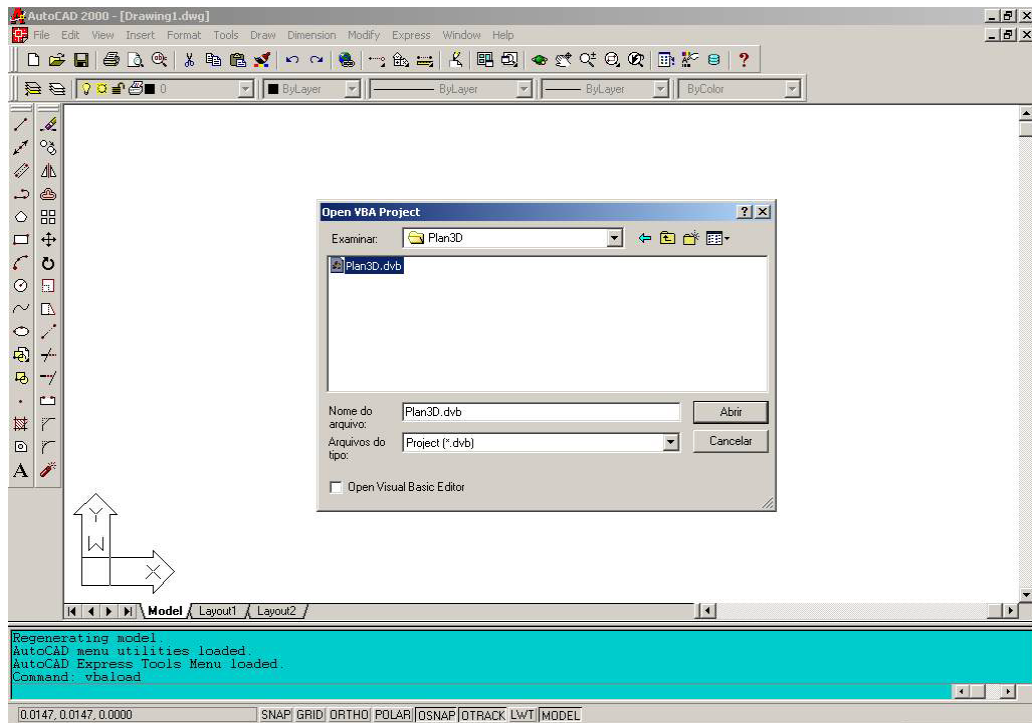
No AutoCAD deve-se abrir o desenho 3D (arquivo do tipo “.dwg”) que é o projeto 3D do referido planejamento exportado, no caso o “atividades.txt”. Esse arquivo será utilizado para integrar as informações do planejamento. Na figura 5.7 é mostrado um exemplo de arquivo “.dwg” do AutoCAD referente ao planejamento anteriormente exportado para “atividades.txt”.

Figura 5.7 - Exemplo de arquivo ".dwg" do AutoCAD



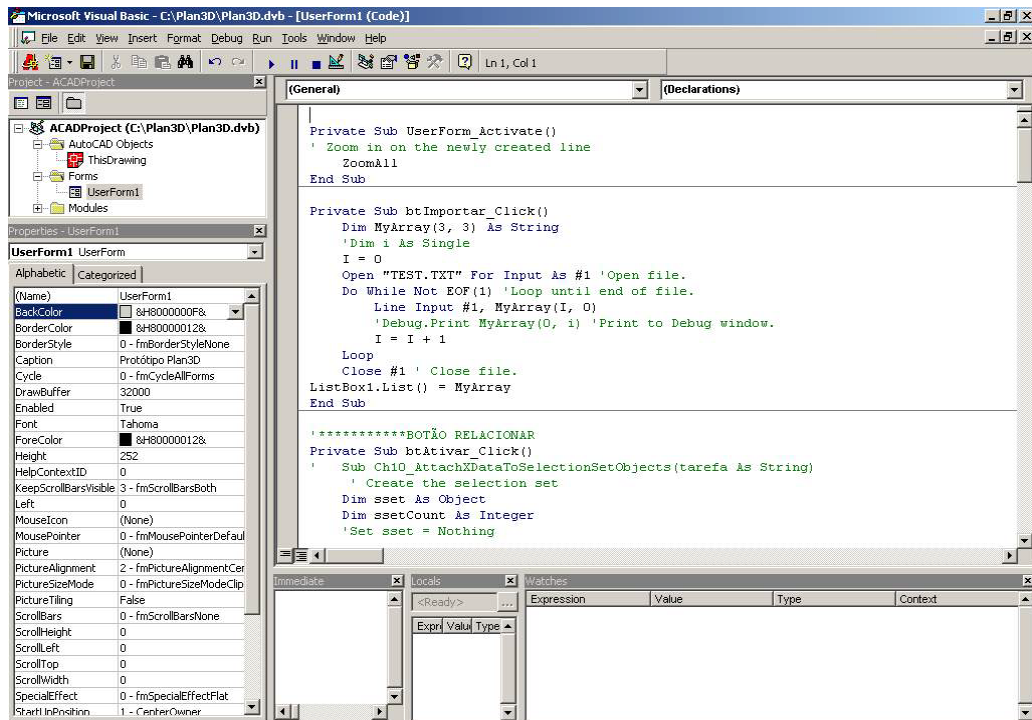
Depois de aberto o desenho desejado, no AutoCAD, precisa-se digitar na linha de comando VBALOAD e confirmar com um ENTER. Ainda no AutoCAD, ao ler a tela de abertura, deve-se localizar o projeto (“Plan3D.dvb”), conforme figura 5.8.

Figura 5.8 - Leitura do projeto "Plan3D.dvb"



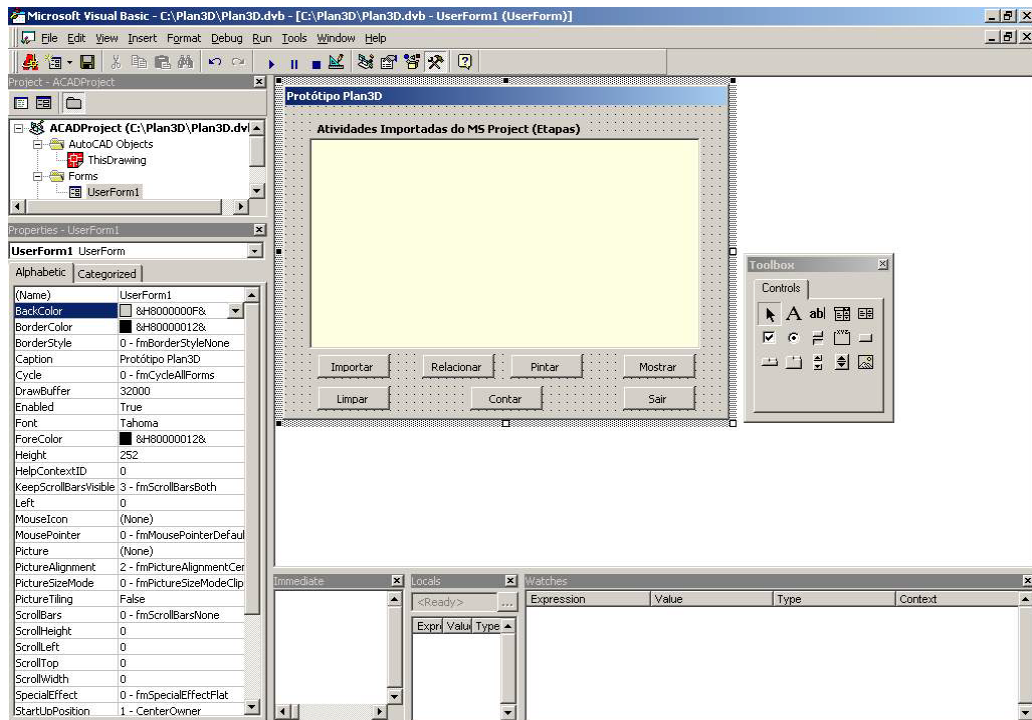
Depois de lida a aplicação deve-se digitar VBAIDE na linha de comando do AutoCAD que ao confirmar com um ENTER abrirá o VBA, que terá lido o respectivo projeto "Plan3D.dvb" carregado anteriormente. A figura 5.9 mostra a tela do VBA depois de lido o respectivo projeto.

Figura 5.9 - Tela do VBA depois de lido o "Plan3D.dvb"



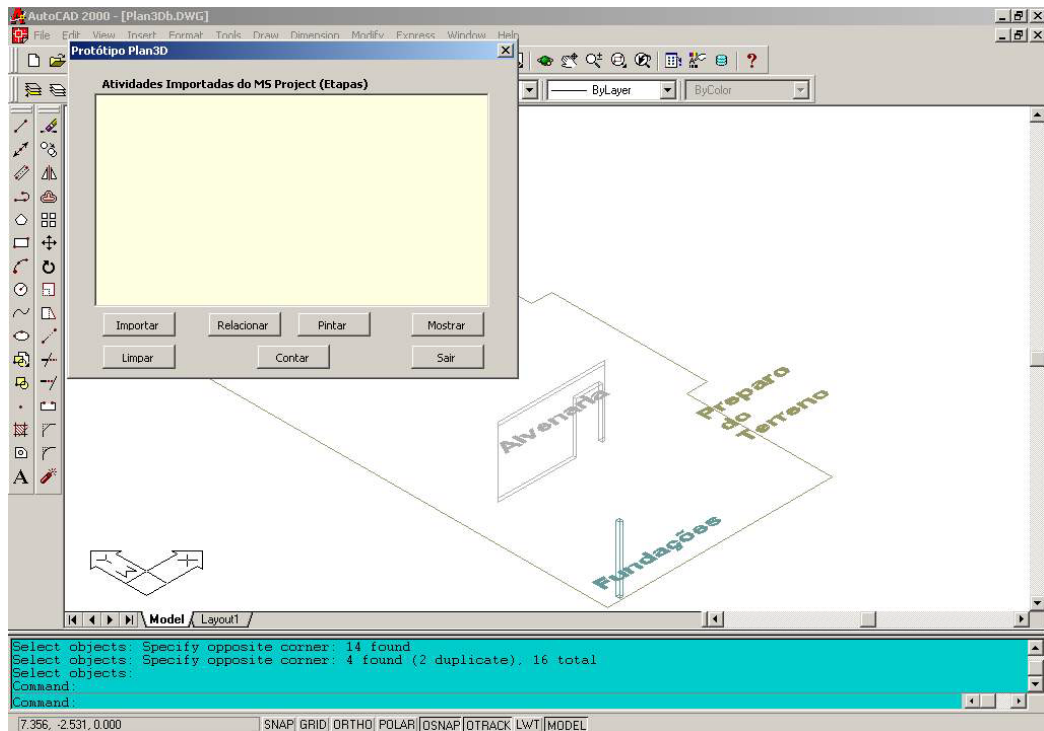
Deve-se selecionar o *Form*, através do menu “View” e sub-menu “Object” (ou através das teclas de atalho Shift+F7) tornando-o assim ativo, conforme figura 5.10. Depois para compilar a aplicação, deve-se clicar no do menu “Run” e depois o sub-menu “Run” (ou através da tecla de atalho F5).

Figura 5.10 - Tela de ativação do *Form* do protótipo (Plan3D)



Depois de compilado o projeto automaticamente no AutoCAD abrirá a tela do protótipo conforme figura 5.11.

Figura 5.11 - Tela principal do protótipo Plan3D por cima do AutoCAD



Na tela principal do protótipo para iniciar sua utilização deve-se primeiramente clicar no botão “Importar” para importar o conteúdo do arquivo de planejamento “atividades.txt”. Após importar o arquivo, a tela do protótipo ficará como no exemplo da figura 5.12.

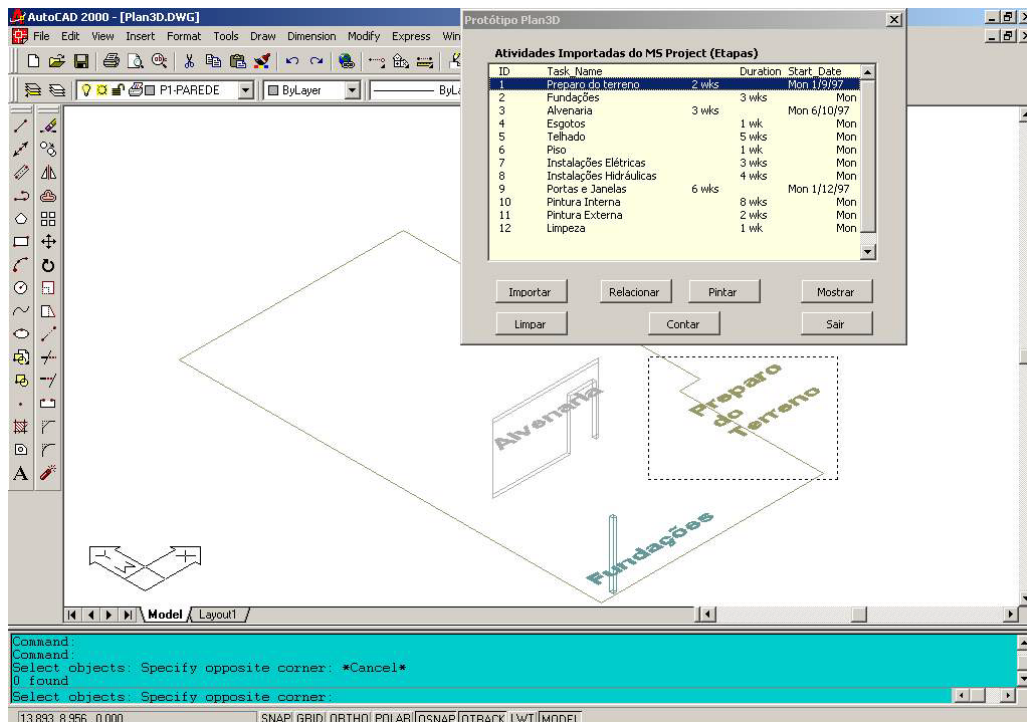
Figura 5.12 - Tela do protótipo com planejamento importado



Depois de importar o arquivo deve-se selecionar a atividade desejada para o relacionamento dos objetos e clicar no botão relacionar que habilitará o *prompt* no AutoCAD

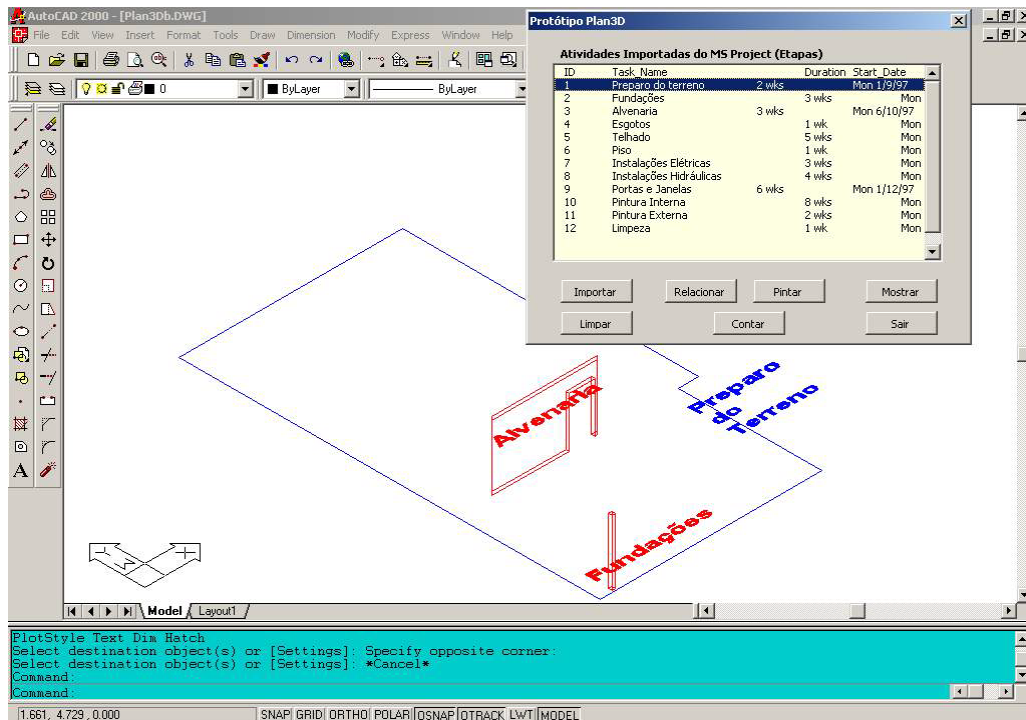
para a seleção dos objetos. Neste momento, conforme figura 5.13, deve-se selecionar todos os objetos que se deseja relacionar com a entidade previamente selecionada e depois confirmar a seleção com um ENTER do teclado ou do mouse (no AutoCAD funciona com o botão direito do mouse).

Figura 5.13 – Tela de exemplo da função “Relacionar”



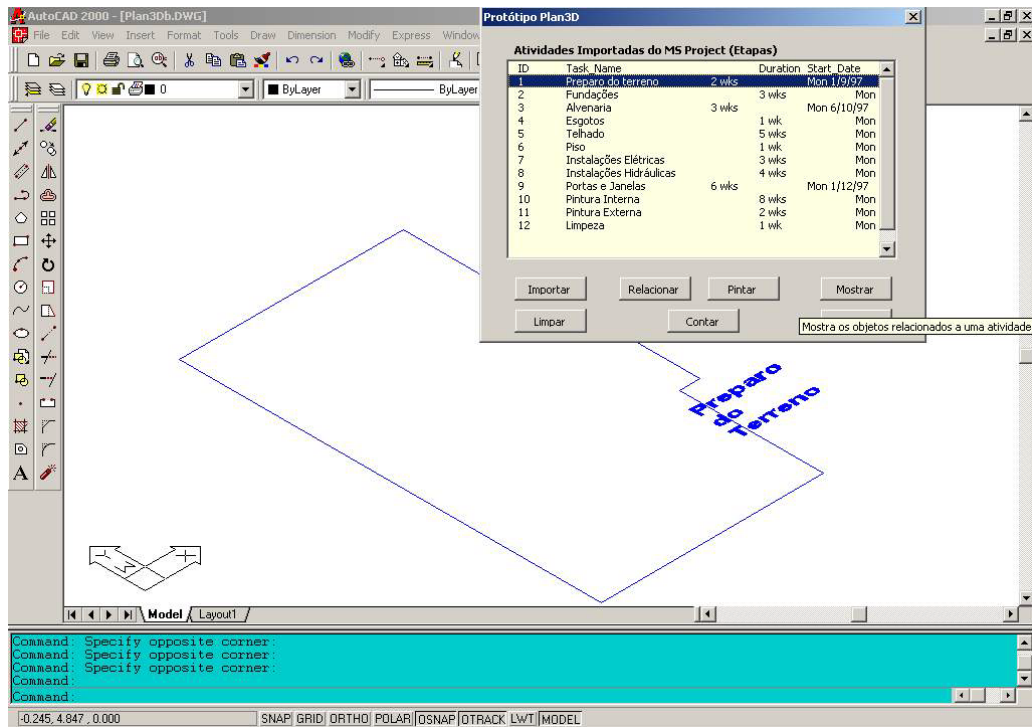
Depois de relacionadas às entidades com seus respectivos objetos e para confirmar esses relacionamentos pode-se para isso clicar no botão pintar que pintará em azul todos os objetos relacionados anteriormente e em vermelho ele pintará os objetos que não sofreram nenhum relacionamento, como mostra o exemplo da figura 5.14.

Figura 5.14 – Tela de exemplo da função “Pintar”



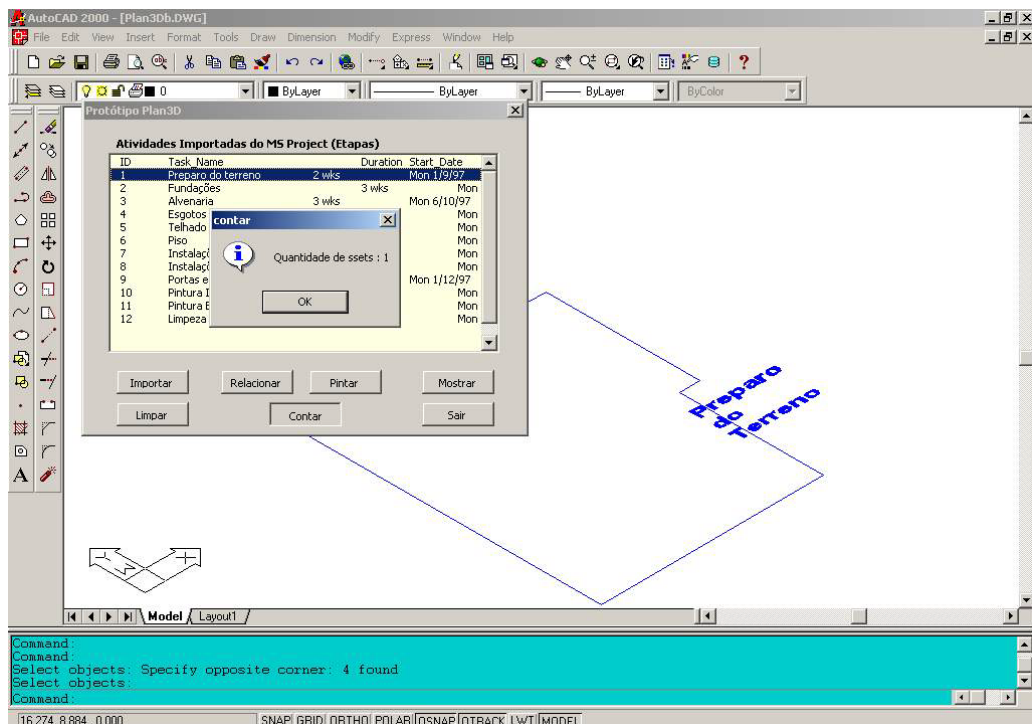
Para mostrar somente os objetos relacionados deve-se selecionar a atividade desejada e clicar no botão mostrar que ocultará todos os objetos não relacionados com aquela atividade, deixando visíveis somente os objetos relacionados anteriormente com aquela atividade como no exemplo da figura 5.15.

Figura 5.15 – Tela de exemplo da função “Mostrar”



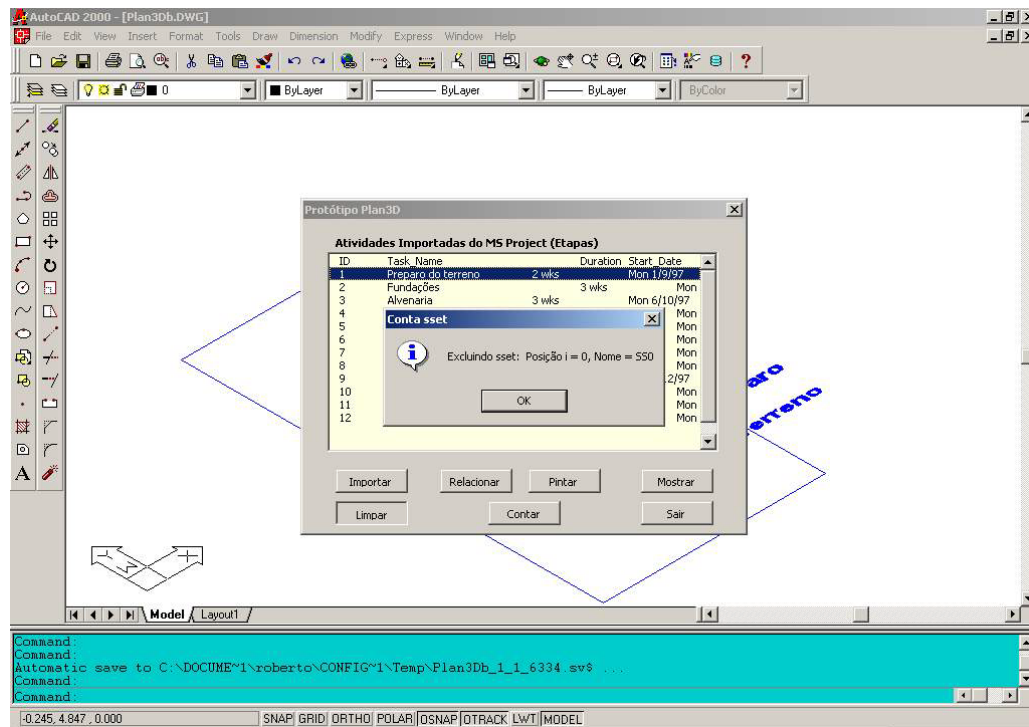
Para verificar a quantidade dos conjuntos de objetos relacionados deve-se clicar no botão contar que fará a contagem dos conjuntos de relacionamentos como no exemplo da figura 5.16.

Figura 5.16 – Tela de exemplo da função “Contar” relacionamentos dos objetos



Para se excluir um conjunto de objetos deve-se selecionar a atividade desejada para excluir os objetos a ela relacionados e clicar no botão excluir, que automaticamente excluirá os objetos relacionados com aquela determinada entidade anteriormente relacionada.

Figura 5.17 – Tela de exemplo da função “Excluir” relacionamentos dos objetos



Para finalizar o protótipo deve-se clicar no botão “Sair” que manterá todas as alterações.

5.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Ao final deste trabalho, foi possível a apresentação do protótipo de software integrado para construção civil, que através de dados do planejamento da edificação e juntamente com o projeto desenvolvido no AutoCAD, gera vistas 3D dependentes do tempo de execução planejado auxiliando os engenheiros civis na etapa de execução da obra reduzindo prazos, custos e aumentando o nível de qualidade, bem como, visando um melhor entendimento entre projetistas e executores da edificação, pois se baseia na simulação visual da evolução da construção, sendo estes os objetivos estabelecidos e portanto, alcançados.

5.6 DIFICULDADES ENCONTRADAS

No decorrer do trabalho, foram encontradas algumas dificuldades, dentre elas pode-se citar:

- a) o aprendizado da linguagem e de suas estruturas, por diferir dos moldes tradicionais de uma linguagem estruturada por instruções seqüenciais. A linguagem em questão é o VBA;
- b) literatura sobre a linguagem não foi encontrada, mas a documentação do AutoCAD 2000 tinha bastante exemplos de funções os quais foram bastante utilizados (AUTODESK, 2000);

Um dos grandes desafios deste trabalho foi o aprendizado da linguagem de programação VBA, de como utilizar seus mecanismos e produzir uma aplicação satisfatória através destes, levando em consideração que os projetos em VBA no AutoCAD são armazenados em um arquivo separado, com extensão “.*dvb*”.

5.7 LIMITAÇÕES

O protótipo desenvolvido apresenta as seguintes limitações:

- a) a exportação do arquivo de planejamento só pode ser feita em formato “.*txt*” do software de planejamento MS Project;
- b) o AutoCAD é necessário para a manipulação dos objetos 3D, no qual o desenho da obra a ser manipulada deve estar no formato “.*dwg*”;
- c) a manipulação do protótipo é feita a partir de sua carga para o AutoCAD e depois compilando o projeto (aplicação) “.*dvb*”;
- d) não existe um filtro que manipule as datas de início e fim da atividade;
- e) não existe controle sobre o que é importado, somente o controle sobre o nome e formato do arquivo exportado do MS Project, isso significa que o arquivo de planejamento deve estar num formato de planejamento tipo “.*Task Sheet*” do MS Project.

6 CONCLUSÕES

No decorrer desse trabalho pôde-se observar alguns aspectos importantes no desenvolvimento de um protótipo de sistema em ambiente Windows. Pode-se dispor ainda de uma interface amigável com o usuário e de recursos, como relacionamento de arquivo “.txt” com objetos 3D no AutoCAD e manipulação de visualização com as atividades relacionadas.

A escolha pelo AutoCAD se deu por ele ser o mais flexível programa de projetos e desenhos e por possuir suporte a linguagem VBA, projetada especialmente para que o usuário final possa programar o AutoCAD.

Já a escolha do MS Project se deu por além de ser o mais popular entre os programas atualmente existentes para planejamento, pela sua principal característica que é a facilidade de uso e pela possibilidade de execução de orçamentos vinculados ao planejamento e acompanhamento de obras.

Pode-se também concluir que a linguagem VBA possui um ambiente gráfico de simples entendimento e implementação, possibilitando a criação de uma interface de fácil utilização para os usuários.

Os objetivos propostos no início deste trabalho foram alcançados com êxito, a partir de um projeto desenvolvido no ambiente de programação VBA.

Com uma interface de fácil manipulação, a ferramenta disponibiliza ao usuário funções de manipulações com objetos 3D do AutoCAD e integração com o software de planejamento MS Project que são bastante utilizados hoje pelo público alvo em foco, possibilitando assim uma maior integração com o usuário.

Foram estudados diversos conceitos durante o desenvolvimento deste trabalho, como noções básicas e a importância e deficiências do planejamento de obras atuais. Pode-se ter uma visão aprofundada de conceitos da tecnologia CAD e apesar do conhecimento em AutoCAD, pode-se conhecer de forma aprofundada a ferramenta AutoCAD, o VBA e o MS Project como também rever as várias formas de especificação da linguagem estruturada.

Dessa forma, verifica-se que a ferramenta desenvolvida neste trabalho é de grande valia no cotidiano dos engenheiros entre outros possíveis usuários pois os auxilia na etapa de

execução da obra de modo que reduz prazos, custos e aumentar o nível de qualidade, visando um melhor entendimento entre projetistas e executores da edificação, pois se baseia na simulação visual da evolução da construção.

6.1 EXTENSÕES

As possíveis extensões que podem ser feitas a partir deste trabalho são:

- a) criar um método em que a manipulação do protótipo seja toda feita pelo AutoCAD;
- b) criar filtros para que o usuário possa ter a manipulação do planejamento também por custos e quantidades;
- c) criar um módulo no qual o próprio sistema faria o planejamento e abriria desenhos em forma 3D.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKOFF, R. **Planejamento empresarial**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ed. S.A., 1976.

ARCHER, Evandro Battisti. **Planejamento estratégico de informações e protótipo de um sistema de planejamento da produção de obras civis**. 1994. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

AUTODESK INC. **AutoCAD 2000 user's guide**. [S.l]: Autodesk, 1999.

CADG. **Tudo sobre CAD**. São Paulo, [2002]. Disponível em: <<http://www.cadg.hpg.com.br>>. Acesso em: 09 jun. 2003.

CIMINO, Remo. **Planejar para construir**. São Paulo: Pini, 1987.

COLZANI, Auriciane; DOMINGUES, Maria Jose Carvalho de Souza. **Implantação do planejamento operacional em obras da construção civil**. 1999. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Centro Tecnológico, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.

CORSEUIL, E. T. L. **Modelo de CAD integrado para engenharia concorrente na indústria da construção**. 1996. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CUKIERMAN, Zigmundo Salomão. **O modelo PERT/CPM aplicado a projetos**. Rio de Janeiro: Ed. da Faculdades Integradas Estácio de Sá, 1978.

DENIS, Michel; ANDRE, Regis. **O desenho assistido por computador CAD**. São Paulo: Aleph, 1992.

FINKELSTEIN, Ellen. **Autocad 2000: a bíblia**. Rio de Janeiro, RJ: Ciência Moderna, 2000.

FOLEY, J. D. et al. **Computer graphics: principles and practice**. 2. ed. [SI]: Addison-Wesley, 1990.

GOMES, P. C. R. **Estudo do problema de CAD integrado na indústria da construção**. 1994. 56 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

HATLEY, Derek J.; PIRBHAI, Imtiaz A. **Estratégias para especificação de sistemas em tempo real**. São Paulo: MacGraw-Hill, 1991.

MORAD, A.A.; BELIVEAU, Y.J. et al. Knowledge-Based Planning System. **Construction Engineering and Management**, New York v. 117, n. 1, p. 1-12, mar. 1991.

PRADO, Darci. **Usando o MS Project 98 em gerência de projetos**. Belo Horizonte: Ed. de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

REINSCHMIDT, K. F. et al. Integration of Engineering, Design, and Construction. **Construction Engineering and Management**, New York v. 117, n. 2, p. 756-772. dec. 1991.

SPERANZINI, Nilton. **Construção civil III**. 2003. 158 f. Apostila apresentada na disciplina de Construção Civil III para o curso de Engenharia Civil - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, Santa Catarina.

VIEIRA, Antonio Netto. **Como gerenciar construções**. São Paulo: Pini, 1988.