

PUC

ISSN 0103-9741

Monografias em Ciência da Computação
nº 14/93

**Ferramentas e Técnicas para a Modelagem da
Essência de Sistemas de Tempo-Real para
Controle e Monitoramento de Processos**

Maria Luiza d'Almeida Sanchez
Bruno Maffeo

Departamento de Informática

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

RUA MARQUÊS DE SÃO VICENTE, 225 - CEP 22453-900

RIO DE JANEIRO - BRASIL

PUC RIO - DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA

ISSN 0103-9741

Monografias em Ciência da Computação, Nº 14/93

Editor: Carlos J. P. Lucena

Junho, 1993

**Ferramentas e Técnicas para a Modelagem da
Essência de Sistemas de Tempo-Real para
Controle e Monitoramento de Processos***

Maria Luiza d'Almeida Sanchez

Bruno Maffeo

* Este trabalho foi patrocinado pela Secretaria de Ciência e Tecnologia da Presidência da República Federativa do Brasil.

In charge of publications:

Rosane Teles Lins Castilho

Assessoria de Biblioteca, Documentação e Informação

PUC Rio — Departamento de Informática

Rua Marquês de São Vicente, 225 — Gávea

22453-900 — Rio de Janeiro, RJ

Brasil

Tel. +55-21-529 9386

Telex +55-21-31048

Fax +55-21-511 5645

E-mail: rosane@inf.puc-rio.br

techrep@inf.puc-rio.br (for publications only)

Sumário

1 - Introdução	1
2 - Modelo do Contexto	4
2.1 - Seção Detalhada.....	4
2.1.1 - Definição do Sistema.....	4
2.1.1.1 - Objetivo	4
2.1.1.1.1 - A Nível Estratégico	4
2.1.1.1.2 - A Nível Tático.....	5
2.1.1.1.3 - A Nível Operacional	5
2.1.1.2 - Descrição Sumária.....	5
2.1.1.2.1 - Funcionamento do Sistema Processo-Controle	5
2.1.1.2.2- Tarefas do Subsistema de Controle/Monitoramento	8
2.1.2 - Lista de Eventos Externos - Estímulos Associados	10
2.1.3 - Descrição das Operações - Eventos Associados.....	13
2.2 - Seção Esquemática.....	18
2.2.1 - Esquema Transacional.....	18
2.2.2 - Esquema Semântico	18
2.2.3 - Esquema da Dinâmica	19
3 - Modelo do Comportamento	19
3.1 - Esquemas de Atividades.....	21
3.2 - Lista de Pré-/Pós-Condições	21
3.3 - Esquema da Memória Essencial.....	24
4 - Conclusão	25
Bibliografia	26

Ferramentas e Técnicas para a Modelagem da Essência de Sistemas de Tempo-Real para Controle e Monitoramento de Processos

Maria Luiza d' Almeida Sanchez
Departamento de Engenharia de
Telecomunicações - UFF
Departamento de Informática - PUC/Rio

Bruno Maffeo*
Departamento de Informática - Puc/Rio

e-mail: mluiza@inf.puc-rio.br

e-mail: maffeo@inf.puc-rio.br

* Trabalho parcialmente financiado pelo convênio entre o Centro Técnico-Científico da PUC-Rio e o Ministério de Ciência e Tecnologia

Abstract

This work presents a structure for the conceptual modelling of the real-time features in process controlling systems. It uses tools and techniques of the Structured Methods area and illustrates the modelling of the essence of a system for controlling and monitoring, including exception handling (faults in the external environment), a lithography by electron beam process.

Keywords - system modelling, real-time systems, process control systems, semi-formal modelling, conceptual modelling, Essential Model, Context Model, Behavioural Model;

Resumo

Neste trabalho é apresentada uma estrutura para a modelagem conceitual dos aspectos de tempo-real em sistemas para controle de processos. Utilizam-se ferramentas e técnicas da área de Métodos Estruturados para ilustrar a modelagem da essência de um sistema para controle e monitoramento, incluindo tratamento de exceções (falhas no ambiente externo), de um processo de litografia por feixe de elétrons.

Palavras-chave - modelagem de sistemas, sistemas de tempo-real, sistemas processo-controle, modelagem semi-formal, modelagem conceitual, Modelo da Essência, Modelo do Contexto, Modelo do Comportamento.

1 - Introdução

De um ponto de vista técnico, os erros presentes na **Especificação de Requisitos** têm sido contabilizados como os principais responsáveis pelas falhas graves observadas em sistemas computacionais [4,8,9,11,12,14]. Também, o custo para remover esses erros é muito maior do que para remover erros introduzidos em fases posteriores do processo de desenvolvimento [3].

No caso de sistemas de tempo-real para controle de processos, a Especificação de Requisitos é particularmente crítica e acidentes graves têm decorrido de erros cometidos na fase em que ela é gerada [11,12,13]. Esses sistemas caracterizam-se por controlar fenômenos físicos em ambiente de porte e complexidade arbitrariamente grandes. Tais sistemas fazem parte de sistemas mais abrangentes dando suporte à tomada de decisão de operadores humanos ou à adoção de alternativas de processamento por dispositivos externos.

Até bem pouco tempo, sistemas processo-controle ("process-control systems") baseados em tecnologia digital apenas substituíam alguns dos dispositivos mecânicos e analógicos já existentes. No entanto, a tendência atual é a construção de sistemas mais complexos e/ou inovadores [13]. Em geral, esses sistemas possuem sérias restrições de segurança e falhas podem dar origem a significativas perdas de recursos materiais e humanos.

Neste trabalho, é apresentada uma visão resumida da modelagem conceitual [10] dos aspectos de controle e monitoramento de um sistema processo-controle para ser usado na produção de chips VLSI. Utilizando-se ferramentas conceituais e técnicas da área de Métodos Estruturados [21,16], resulta dessa modelagem o denominado **Modelo da Essência (ME)**. Devido ao reduzido porte de seu texto, o trabalho **não** visa demonstrar a adequação desse modelo ao objetivo de elicitar, analisar, especificar, documentar e comunicar os requisitos funcionais e informacionais do subsistema computacional responsável pelo controle/monitoramento; tal demonstração só poderia ser realizada dispondo-se da versão integral do ME. Trata-se aqui de um ônus a ser incorrido por esse tipo de pesquisa em Engenharia de Software: a demonstração convincente da validade da utilização de qualquer método de desenvolvimento de software em projetos de sistemas que realmente serão colocados em produção só pode ser realizada através de documentação massiva, pouco compatível com os meios tradicionais de divulgação técnico-científica.

Basicamente, o presente trabalho visa:

- apresentar a estrutura do ME, revelando as principais características de cada elemento dessa estrutura;
- fornecer uma indicação do porte do subsistema computacional modelado e, através de exemplificação limitada, do tipo de esforço necessário para bem definir o problema a ser resolvido e para especificar corretamente uma solução abstraída de viés de implementação. Em particular, essa exemplificação limitada permite reconhecer como pode ser aplicada uma estratégia de Desenvolvimento Incremental desde a fase de Análise;
- evidenciar a forma de registro e o tratamento conceitual de exceções, aqui referidas como falhas que podem ocorrer em dispositivos pertencentes ao ambiente externo ao subsistema computacional.

O Modelo da Essência é uma representação invariante em relação a qualquer alternativa de implementação proposta para o sistema. Utiliza ferramentas conceituais e técnicas de modelagem semi-formais, primordialmente gráficas, com sintaxe e semântica bem definidas, que facilitam significativamente a comunicação entre pessoas. A modelagem esquemática de elementos funcionais ativos (funções) baseia-se numa notação, cuja semântica foi parcialmente formalizada em [19], que amplia aquela usada para construir Diagramas de Fluxo de Dados. Essa notação, denominada de ESML (Extended Systems Modeling Language) [5,15], juntamente com outros instrumentos de representação, como os apresentados em [16], tem-se mostrada eficaz para a modelagem de sistemas de tempo-real [7, 2,1].

O domínio da complexidade de um problema exige necessariamente algum esforço de segmentação/abstração [16,13]. Também a concepção de um sistema. Mas, como em todo projeto de engenharia, esse esforço deve obedecer a critérios bem estabelecidos que não deixem dúvidas sobre o caminho a seguir.

A técnica aqui apresentada tem como primeiro ponto de segmentação/abstração o critério de "Essência x Implementação" [21,16]. A modelagem da essência não se preocupa com a forma de implementar os requisitos do sistema - a solução concreta do problema. Para representar adequadamente essa solução abstrata, novamente utiliza-se o processo de segmentação/abstração, agora baseado em um critério de "pertinência ao sistema". Esse critério segmenta o Modelo da Essência em dois submodelos, o Modelo do Contexto e o Modelo do Comportamento, que representam, respectivamente, a definição das necessidades do ambiente externo - o enunciado do problema - e uma solução possível para esse enunciado, abstraída de referências a formas de implementação.

Cada um desses dois modelos é composto de submodelos complementares, construídos a partir de enfoques diferentes sobre o ambiente externo e sobre o sistema. Esses submodelos são interdependentes e necessidades do ambiente externo, registradas no Modelo do Contexto, podem vir a ser descobertas durante a construção do Modelo do Comportamento. Isso determina alterações no Modelo do Contexto, visando manter a consistência global do Modelo da Essência.

Assim, o **Modelo da Essência** [16,7,17,18] apresenta a seguinte estrutura:

Modelo do Contexto, composto de:

- **Definição de Sistema**, onde são descritos os objetivos e a operação "caixa-preta" do sistema;
- **Lista de Eventos Externos**, identificando os eventos externos que modelam as necessidades a serem atendidas pelo sistema;
- **Esquema Transacional**, que utiliza a ESML, modelando a interface do sistema com as entidades externas com as quais interage diretamente;
- **Esquema Semântico** [18], constituído por um conjunto de hierarquias semânticas do tipo "é-um" e "é-composto", explicitando a natureza e a composição dos fluxos presentes no Esquema Transacional e relacionando-os a transações bem definidas;

- **Esquema da Dinâmica** [7], que utiliza a linguagem gráfica dos Diagramas de Estados e Transições, modelando a dinâmica dos eventos externos de interesse para o sistema.

Modelo do Comportamento, composto de:

- **Esquema da Memória Essencial**, onde o instrumento de modelagem é o DER (Diagrama de Entidades e Relacionamentos) [6], representando toda a memória do sistema (tipos de entidade, correspondentes a depósitos, seus atributos e tipos de relacionamento entre entidades);
- **Representação Hierárquica das Atividades**, que utiliza a ESML, modelando uma hierarquia de atividades até o nível das atividades primitivas, estas representando as funções do sistema que reagem a ocorrências de eventos externos. A abordagem empregada na modelagem funcional é "outside-in" e sua representação é "top-down";
- **Esquema das Atividades Essenciais**, que utiliza a ESML, modelando todas as atividades essenciais em um mesmo diagrama;
- **Diagramas de Estados e Transições**, um para cada atividade de controle primitiva, constituindo sua especificação formal;
- **Listas de Pré /Pós Condições**, uma para cada atividade operacional primitiva, constituindo sua especificação formal.

Complementando os dois modelos, constrói-se um **Dicionário de Dados** que define a informação presente na parte esquemática desses modelos.

Esses submodelos são baseados em perspectivas diferentes sobre o ambiente externo e sobre o sistema. Isso introduz uma redundância na representação global, controlada por imposição da consistência que deve garantir a precisão e não ambigüidade do modelo resultante. Essa consistência é validada através de uma **Tabela de Verificação de Consistência** [16].

O Modelo da Essência referido neste trabalho especifica conceitualmente o sistema de controle e monitoramento a ser utilizado em um processo de litografia por feixe de elétrons.

Devido ao porte do sistema modelado, este trabalho apresenta um resumo desse modelo.

As descrições de Objetivos e de Tarefas do Sistema, bem como a Lista de Eventos Externos (LEE), estão completas, permitindo uma visão global do sistema computacional.

A Descrição de Operações limita-se a um subconjunto da LEE. Esse subconjunto será usado para ilustrar o resultado obtido ao serem utilizadas as demais ferramentas e técnicas de modelagem. O critério de seleção, permitindo a construção de uma versão parcial do sistema, ilustra a adoção de uma estratégia de desenvolvimento incremental. Os eventos externos selecionados referem-se a um serviço do sistema - gerar uma camada do chip. Devido à similaridade no controle da mesa nas direções x e y, selecionou-se a direção x para representar a modelagem desse controle.

Visando limitar ainda mais seu porte, este trabalho não exemplifica entradas do Dicionário de Dados e a Tabela de Verificação de Consistência e inclui apenas um exemplo de Esquema Semântico e de Lista de Pré-/Pós-Condições.

O Modelo do Contexto e o Modelo do Comportamento são tratados nas seções 2 e 3, respectivamente. A seção 4 conclui este trabalho.

2 - Modelo do Contexto

O objetivo do Modelo do Contexto é estabelecer o propósito do sistema entendendo-o como um mecanismo de "estímulo x resposta". A construção desse modelo emprega um conjunto de elementos de modelagem traduzindo enfoques diferenciados sobre o contexto do sistema. Essa técnica introduz uma redundância controlada que permite gerar um enunciado completo e preciso do problema a ser resolvido pelo sistema.

O Modelo do Contexto compõe-se de uma seção detalhada, textual, e de uma seção esquemática que representa graficamente informações, interações e relações especificadas ou referidas na seção detalhada. Essas visões são complementares e facilitam a verificação da consistência global do modelo.

2.1 - Seção Detalhada

2.1.1 - Definição do Sistema

2.1.1.1 - Objetivo

Os objetivos devem descrever a contribuição do sistema para os três níveis gerenciais (estratégico, tático e operacional) da organização que patrocina seu desenvolvimento. Assim, seu enunciado deve indicar a importância do sistema para que sejam atingidas metas *estratégicas* da organização, sua contribuição para a execução de planos *táticos* e o apoio que dá às atividades *operacionais*.

2.1.1.1.1 - A Nível Estratégico

O SISTEMA de Controle e Monitoramento de Litografia por Feixe de Elétrons (COMONLIFE) deve contribuir para que o Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro possa assegurar a continuidade e o incremento do apoio a suas atividades de pesquisa e desenvolvimento. Esse apoio continuado e crescente ocorrerá na medida que o Departamento prossiga contribuindo, através de seus projetos, para o avanço científico e tecnológico do País.

COMONLIFE deverá permitir que essa contribuição atinja níveis significativos de eficácia, eficiência e qualidade no caso específico de um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico voltado para a produção de dispositivos microeletrônicos (chips) de elevada integração. Cumpre ressaltar que, a nível internacional, tais dispositivos são estratégicos pois permitirão um forte incremento no poder de processamento dos futuros computadores.

2.1.1.1.2 - A Nível Tático

COMONLIFE deve contribuir para o aumento do desempenho e da qualidade:

- na produção de chips de alta integração;
- na pesquisa de novos materiais e técnicas litográficas.

2.1.1.1.3 - A Nível Operacional

COMONLIFE deve monitorar e controlar a produção de chips obtidos através do processo de litografia por feixe de elétrons. Esse processo permite atingir resoluções entre 0,1 e 0,5 μm , indispensáveis para a obtenção do nível de integração desejado.

2.1.1.2 - Descrição Sumária

Esse elemento de modelagem visa contextualizar o sistema computacional descrevendo elementos do processo controlado/monitorado, geralmente desconhecidos da equipe de desenvolvimento. Apresenta a descrição de características macro do processo e de equipamentos nele empregados. Com relação ao sistema, descreve suas tarefas e finalidades básicas.

Para permitir a noção correta de porte do sistema modelado, foi incluída em sua totalidade a Descrição do Funcionamento do Sistema Processo-Controlado e das Tarefas do Subsistema de Controle/Monitoramento.

2.1.1.2.1 - Funcionamento do Sistema Processo-Controlado

COMONLIFE destina-se a monitorar e controlar um equipamento de litografia por feixe de elétrons baseado em microscópio eletrônico e mesa x-y- θ (suporte horizontal capaz de deslocar-se nas direções x e y e de sofrer rotações em torno de eixo vertical).

O microscópio eletrônico é composto de:

- Obturador do Feixe: responsável por permitir a passagem do feixe de elétrons;
- Fonte de Alta Tensão: responsável por transferir a energia com a qual os elétrons do feixe incidem sobre a superfície do semicondutor;
- Filamento: responsável por determinar a densidade de corrente do feixe de elétrons;
- Lente Objetiva: responsável por determinar o diâmetro do feixe;
- Lente Condensadora: responsável por uniformizar e dar forma ao feixe;
- Detector de Corrente de Absorção: responsável por determinar o estado do Obturador do Feixe;
- Detector de Elétrons Retro-espalhados e Detector de Elétrons Secundários: responsáveis por recolher os elétrons que retornam da superfície sobre a qual incide o feixe de elétrons e permitir que a imagem dessa superfície seja exibida em monitor acoplado ao microscópio eletrônico.

A mesa x-y- θ é composta de

- Motor, um para a direção x (motor x) e outro para a y (motor y): responsável por mover a mesa em cada uma dessas direções;
- Interferômetro Ótico, um para a direção x e outro para a y: responsável por determinar a posição da mesa em cada uma dessas direções;
- Motor θ : responsável pela rotação da mesa no plano xy, permitindo o alinhamento das camadas do chip a ser produzido;
- Detector θ : responsável por determinar a posição angular da mesa no plano xy.

O processo de litografia por feixe de elétrons utiliza um **wafer** (material semiconductor em forma de hóstia) de duas a oito polegadas de diâmetro, sobre o qual é aplicado um **resiste**, camada de material polimérico que será submetida a processos químicos.

Baseia-se na geração de camadas sobre o wafer, utilizando um fino feixe de elétrons que pode ser defletido, ligado e desligado. Cada camada corresponde à reprodução do desenho de uma máscara definida por um sistema de C.A.D. (Computer Aided Design).

Um chip é constituído de várias camadas superpostas. O conjunto de todas as máscaras, correspondentes às camadas do chip, será referenciado como **máscaras_chip**. Vários chips idênticos são replicados em um mesmo wafer. Os parâmetros (**parâmetros de wafer**) empregados durante a geração das camadas que constituem o chip dizem respeito à identificação do wafer, ao número de réplicas do chip a serem produzidos no wafer, aos valores de grandezas físicas (**parâmetros operação**, correspondentes à voltagem da Fonte de Alta Tensão, à corrente da Lente Objetiva etc.) a serem estabelecidos no equipamento e à identificação (**identificação_chip**) do conjunto de arquivos, gerados pelo sistema de C.A.D., que definem as máscaras_chip a serem traçadas.

A produção de chips inclui várias etapas. Como em quase todo sistema processo-controle, partes do processo fogem ao escopo do subSISTEMA computacional [11]. COMONLIFE atua apenas sobre o microscópio eletrônico e a mesa x-y- θ para viabilizar a geração de camadas.

Algumas etapas do processo devem ser executadas antes de iniciar a produção de chips:

- preparação inicial de um wafer sobre o qual serão geradas as camadas do chip em questão, revestindo-o por um **resiste** cujas características permitem determinar a intensidade do feixe de elétrons e o tempo de exposição a serem utilizados;
- geração do conjunto de arquivos C.A.D. que definem as máscaras correspondentes às camadas do chip a ser produzido. Esse conjunto identifica o chip, o qual, normalmente, possui diversas camadas superpostas que podem estar detalhadas em um ou mais arquivos C.A.D.

O subSISTEMA computacional controla a geração de uma camada por vez. Excetuando o caso da última, após a geração de cada camada, o wafer deve ser retirado do equipamento para sofrer tratamentos químicos que visam preparar sua superfície para receber a próxima camada. Enquanto isso, outro wafer pode estar sendo gravado, isto é, nele pode estar sendo traçada uma máscara visando a geração de nova camada sobre sua superfície.

A retirada do wafer para tratamento químico é outra etapa do processo fora do escopo do controle. Essa manipulação gera a necessidade de administrar a produção de chips em um dado wafer. Para isso, cada **wafer** deve ser **iniciado**, isto é, devem ser-lhe associados uma identificação e os parâmetros_ operação empregados na gravação das máscaras_chip e, para permitir a geração de camadas superpostas, devem ser traçadas marcas na superfície do wafer (**marcas de alinhamento**) que definam um sistema de coordenadas associado ao wafer, fixo em sua superfície.

Sempre que é manualmente recolocado no equipamento para a geração de nova camada, o posicionamento do wafer precisa ser verificado pois, em geral, terá havido alguma modificação em relação à colocação anterior. Pequenas mudanças em sua posição relativa sobre a mesa (rotação e translação) podem ser determinadas a partir de diferenças entre a posição real e a esperada de duas marcas de alinhamento. O alinhamento do wafer requer um ajuste fino de forma que, durante a geração das sucessivas camadas, um mesmo sistema de coordenadas associado ao wafer possua referenciamento invariante em um sistema de coordenadas absolutas.

Por simplicidade, o sistema de coordenadas absolutas utilizado como referência deve ter eixos paralelos às direções (ortogonais) x e y de deslocamento da mesa e a origem deve coincidir com a interseção do feixe de elétrons com um plano paralelo à superfície do wafer (ou, equivalentemente, da mesa). O feixe de elétrons, ao longo do eixo do microscópio eletrônico, define o eixo de coordenadas z.

Antes de iniciar o processamento de um wafer (iniciação do wafer ou geração de camada do chip), a mesa pode encontrar-se em qualquer posição em relação ao sistema de coordenadas absolutas e deve ser levada a uma posição de referência inicial (**posição de repouso da mesa**) a partir da qual são realizados os deslocamentos necessários para atingir uma outra posição específica (por exemplo, a posição de uma marca de alinhamento).

A gravação de um wafer é feita com base em figura representada em um arquivo C.A.D. - correspondente a uma camada do wafer.

Essa figura deve ser replicada várias vezes, tantas quantos forem os chips a serem produzidos. Cada réplica do chip corresponde a um retângulo e, para que o sistema possa efetuar a gravação da figura associada, as coordenadas x e y presentes no arquivo C.A.D. devem corresponder a deslocamentos relativos a um dos vértices desse retângulo.

A posição do retângulo é bem definida em relação ao sistema de coordenadas associado ao wafer e será recuperada cada vez que o wafer for alinhado. Cada camada de uma réplica do chip está gravada dentro do retângulo que delimita essa réplica. Por construção, as arestas dos retângulos são paralelas às direções dos eixos x e y do sistema de coordenadas associado ao wafer.

Esse sistema de coordenadas é a base para a geração da máscara. Quando o wafer está alinhado, seus eixos são paralelos aos eixos do sistema de coordenadas absolutas e sua origem é a posição de uma das marcas de alinhamento (por exemplo: a primeira marca).

A referência a posicionamento da mesa nas direções x e y determinado por valores específicos de "x_mesa" e "y_mesa" significa:

- x_mesa : negativo do valor do deslocamento da mesa que faz o feixe do microscópio eletrônico incidir sobre a projeção do ponto (" x_mesa ", " y_mesa ") na direção x, medida em relação à origem, no sistema de coordenadas associado ao wafer;
- y_mesa : negativo do valor do deslocamento da mesa que faz o feixe do microscópio eletrônico incidir sobre a projeção do ponto (" x_mesa ", " y_mesa ") na direção y, medida em relação à origem, no sistema de coordenadas associado ao wafer.

2.1.1.2.2- Tarefas do Subsistema de Controle/Monitoramento

São **tarefas** do COMONLIFE:

- administrar a gravação de wafers;
- interpretar a máscara a ser traçada em wafer;
- controlar o posicionamento do wafer;
- controlar a passagem do feixe de elétrons pelo Obturador do Feixe;
- monitorar o estado do microscópio eletrônico;
- trocar informações com o operador.

A **administração da gravação de wafers** é feita por intermédio de:

- antes de gerar a primeira camada, garantir o traçado de marcas na superfície do wafer. Essas marcas permitem definir o sistema de coordenadas associado ao wafer em relação ao sistema de coordenadas absolutas;
- detecção de inconsistências entre os atributos dos parâmetros de wafer empregados;
- registro da história de gravação de um wafer;
- determinação da camada a gerar, requisitada pelo operador;
- identificação da máscara a ser traçada;
- cálculo e registro histórico dos valores de corrente da Lente Objetiva utilizada no equipamento durante a geração de cada camada.

Finalidades:

- garantir a geração de todas as camadas de um chip;
- permitir o alinhamento do wafer, mantendo a consistência de geração das diversas camadas;
- fornecer ao operador os valores que o equipamento deve utilizar durante a geração de cada camada.

A **interpretação da máscara** é feita por intermédio de:

- leitura do conjunto de arquivos C.A.D. associados ao wafer que está sendo gravado;
- determinação da espessura mínima de linha que, juntamente com a resolução selecionada pelo operador, define o diâmetro do feixe;
- tradução de cada desenho da máscara em linhas e sólidos de traçado, tantas vezes quantas forem as réplicas a serem produzidas.

Finalidade:

- determinar as características de traçado correspondentes à máscara que está sendo traçada;
- garantir a replicação do chip.

O controle do posicionamento do wafer é feito por intermédio de:

- durante sua iniciação, posicionamento do wafer em local predefinido (internamente ao COMONLIFE), rotação de ângulo θ e movimentação da mesa nas direções x e y, para executar o traçado das marcas de alinhamento;
- durante o alinhamento do wafer, rotação de ângulo θ e movimentação da mesa nas direções x e y, visando posicionar o wafer de forma que suas marcas de alinhamento ocupem a posição esperada e movimentação da mesa nas direções x e y, conforme comando do operador, visando ajustar o posicionamento das marcas de alinhamento;
- durante a geração de camada, movimentação da mesa nas direções x e y: para a posição onde deve ser iniciado um traçado (o que é feito com o Obturador do Feixe fechado e a velocidade máxima de movimentação visando agilizar a produção) e para a posição final de traçado (o que é feito com o Obturador do Feixe aberto e com a velocidade calculada em função da dose a ser aplicada no resiste);
- monitoramento, através de sensores, da posição corrente da mesa, visando verificar se a mesa está acompanhando a movimentação controlada e efetuar correções quando necessário;
- detecção de situações de falha nas quais a mesa não obedece aos comandos enviados.

Finalidades:

- posicionar o wafer, de forma que se encontrem sob o Feixe de Elétrons a posição inicial de traçado e as posições sobre a linha de traçado até sua posição final, permitindo a geração de camada;
- garantir o alinhamento relativo das diversas camadas do chip.

O controle do Obturador do Feixe é feito por intermédio de:

- abertura/fechamento da passagem do feixe de elétrons através do obturador;
- detecção de situações de falha nas quais o obturador não obedece aos comandos enviados.

Finalidades:

- permitir o traçado de uma linha sobre o wafer, controlando a abertura do obturador;
- permitir o posicionamento do wafer sem efetuar traçado, controlando o fechamento do obturador.

O monitoramento do estado do microscópio eletrônico é feito por intermédio de:

- verificação dos valores iniciais da voltagem na Fonte de Alta Tensão e corrente do Filamento, da Lente Objetiva e das Lentes Condensadoras;
- monitoramento dos valores da voltagem na Fonte de Alta Tensão, da corrente emitida pelo Filamento, da corrente na Lente Objetiva e da corrente nas Lentes Condensadoras;
- detecção de falhas em qualquer um desses componentes do microscópio eletrônico.

Finalidades:

- verificar se o comportamento do equipamento está de acordo com o esperado pelo operador, conforme parâmetros_ operação especificados;
- evitar desperdício de tempo gerando camada com o equipamento danificado.

A **troca de informações com o operador** é feita por intermédio de

- pedido de iniciação de um wafer, ao qual são associados os parâmetros de wafer utilizados para sua gravação;
- pedido de geração de uma camada em wafer previamente iniciado;
- ajuste e confirmação das posições das marcas de alinhamento;
- apresentação de informações sobre andamento da geração de uma camada, isto é, estado do processo de gravação (tempo transcorrido desde o início e tempo esperado de término), comunicação da ocorrência de falha e histórico de todo o processo de gravação de um wafer.

Finalidades:

- permitir iniciar um wafer;
- permitir gerar cada uma das camadas que constituem um chip;
- permitir o alinhamento de um wafer;
- fornecer o andamento da geração de uma camada e o histórico de todo o processo de gravação de um wafer;

2.1.2 - Lista de Eventos Externos - Estímulos Associados

A LEE representa, em linguagem natural, segundo um formato aproximadamente padronizado ([referência temporal,] + [propriedade de] entidade externa + verbo + objeto), uma lista ordenada de elementos textuais numerados seqüencialmente. Cada um desses elementos - descritores de Evento Externo - descreve um evento ocorrido no ambiente externo ao sistema ao qual o sistema deve reagir planejadamente para atender à necessidade modelada pelo evento.

Esses eventos são sinalizados por instâncias de:

- *fluxos reais*: Fluxos de Dados Discretos (exemplo de instância: ocorrência de uma requisição do operador) e Fluxos de Dados Contínuos (exemplo de instância: ocorrência de valor específico de uma variável contínua);
- *fluxos virtuais*: Fluxo de Controle Virtual (descriptor: *é_tempo_de ...*) - que modelam necessidades cuja instanciação associa-se a valores específicos da variável tempo.

A LEE apresenta eventos externos (por exemplo, o de nº14) cuja ocorrência provoca reação planejada do subSISTEMA (computacional) de controle no sentido de tratar situações de falha no ambiente externo (p. ex., defeito da mesa). Assim, o registro de falhas em equipamentos controlados, sob a forma de eventos externos, modela a necessidade do ambiente externo (processo) no sentido de que essas falhas ("exceções") sejam tratadas. Outros elementos de modelagem especificarão as respostas a serem produzidas pelo sistema, visando garantir a segurança do ambiente externo (a não ocorrência de perdas materiais e humanas). Desse modo, o cliente/usuário poderá, a partir da LEE, validar o tratamento de falhas ("exception handling").

Na LEE, encontram-se em **negrito** os eventos selecionados (2,9,10,11,12,31) para ilustrar o resumo da modelagem da essência apresentado neste trabalho.

Lista de Eventos Externos:

1. Operador necessita iniciar um wafer com parâmetros de operação específicos.
(sinalizado por "pedido_iniciação_wafer");
2. **Operador necessita iniciar alinhamento de wafer específico.**
(sinalizado por "pedido_início_alinhamento");
3. Operador necessita confirmar posição de marca de alinhamento.
(sinalizado por "confirmação_marca");
4. Operador necessita ajustar posição de marca de alinhamento na direção x.
(sinalizado por "ajuste_marca_x");
5. Operador necessita ajustar posição de marca de alinhamento na direção y.
(sinalizado por "ajuste_marca_y");
6. Operador necessita interromper o processo de geração de camada.
(sinalizado por "interrupção_máscara");
7. Operador necessita relatório sobre wafer gravado.
(sinalizado por "pedido_relatório_wafer");
8. Com periodicidade predeterminada, OPERADOR necessita que informações sobre o andamento do processo sejam armazenadas.
(sinalizado por "é_tempo_de registrar variáveis_processo");
9. **Variável x, associada à posição da mesa, atinge valor dentro da faixa desejada.**
(sinalizado por valor específico de "x_mesa");
10. **Variável x, associada à posição da mesa, sai da faixa desejada ultrapassando o valor máximo.**
(sinalizado por valor específico de "x_mesa");
11. **Variável x, associada à posição da mesa, sai da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo.**
(sinalizado por valor específico de "x_mesa");
12. **Decorrido período predeterminado após início da tentativa de posicionamento, variável x, associada à posição da mesa, não atinge a faixa desejada.**
(sinalizado por "é_tempo_de interromper processo");
13. Variável y, associada à posição da mesa, atinge valor dentro da faixa desejada.
(sinalizado por valor específico de "y_mesa");
14. Variável y, associada à posição da mesa, sai da faixa desejada ultrapassando o valor máximo.
(sinalizado por valor específico de "y_mesa");
15. Variável y, associada à posição da mesa, sai da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo.
(sinalizado por valor específico de "y_mesa");
16. Decorrido período predeterminado após início da tentativa de posicionamento, variável y, associada à posição da mesa, não atinge a faixa desejada.

- (sinalizado por "é_tempo_de interromper processo");
17. Variável θ , associada à posição da mesa, atinge valor dentro da faixa desejada.
(sinalizado por valor específico de " θ _mesa");
 18. Variável θ , associada à posição da mesa, sai da faixa desejada ultrapassando o valor máximo.
(sinalizado por valor específico de " θ _mesa");
 19. Variável θ , associada à posição da mesa, sai da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo.
(sinalizado por valor específico de " θ _mesa");
 20. Decorrido período predeterminado após início da tentativa de posicionamento, variável θ , associada à posição da mesa, não atinge a faixa desejada.
(sinalizado por "é_tempo_de interromper processo");
 21. Decorrido período predeterminado após início da tentativa de abrir obturador, valor de "corrente_absorção" não indica obturador aberto.
(sinalizado por "é_tempo_de interromper processo");
 22. Decorrido período predeterminado após início da tentativa de fechar obturador, valor de "corrente_absorção" não indica obturador fechado.
(sinalizado por "é_tempo_de interromper processo");
 23. Variável tensão, associada à tensão na Fonte de Alta Tensão, sai da faixa desejada ultrapassando o valor máximo.
(sinalizado por valor específico de "tensão_fonte");
 24. Variável tensão, associada à tensão na Fonte de Alta Tensão, sai da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo.
(sinalizado por valor específico de "tensão_fonte");
 25. Variável corrente_ emissão_filamento, associada à quantidade de elétrons gerada pelo Filamento, sai da faixa desejada ultrapassando o valor máximo.
(sinalizado por valor específico de "corrente_ emissão_filamento");
 26. Variável corrente_ emissão_filamento, associada à quantidade de elétrons gerada pelo Filamento, sai da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo.
(sinalizado por valor específico de "corrente_ emissão_filamento");
 27. Variável corrente_objetiva, associada à quantidade de elétrons que passa pela Lente Objetiva, sai da faixa desejada ultrapassando o valor máximo.
(sinalizado por valor específico de "corrente_objetiva");
 28. Variável corrente_objetiva, associada à quantidade de elétrons que passa pela Lente Objetiva, sai da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo.
(sinalizado por valor específico de "corrente_objetiva");
 29. Variável corrente_condensadora, associada à quantidade de elétrons que passa pela Lente Condensadora, sai da faixa desejada ultrapassando o valor máximo.
(sinalizado por valor específico de "corrente_condensadora");

30. Variável corrente_condensadora, associada à quantidade de elétrons que passa pela Lente Condensadora, sai da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo. (sinalizado por valor específico de "corrente_condensadora");
31. **Decorrido tempo necessário à estabilização do microscópio eletrônico, variáveis associadas ao Feixe de Elétrons não atingem valor dentro da faixa desejada.** (sinalizado por "é_tempo_de emitir rejeição_geração_máscara");

2.1.3 - Descrição das Operações - Eventos Associados

Neste elemento de modelagem, são descritas, em linguagem natural, as relações de "estímulo x resposta", associadas a cada evento externo.

Essa descrição facilita a comunicação com o cliente/usuário pois apresenta um enfoque textual nítido sobre a interface que conecta o subSISTEMA (computacional) de controle ao ambiente externo. Está classificada por assunto, por entidade externa responsável por enviar ao sistema o estímulo que sinaliza a ocorrência do evento externo e pela funcionalidade dessa entidade no ambiente externo.

A descrição é organizada em itens, onde cada item aborda uma necessidade do ambiente externo, qual o estímulo a ela associado, qual a resposta do sistema a esse estímulo e quais as restrições e condições de rejeição para validação do estímulo recebido. No caso de sistemas convencionais, são consideradas respostas a um estímulo, além de respostas em forma de fluxo de dados enviado ao ambiente externo, respostas visando a internalização de informação ("respostas internas de acesso à memória"). No caso de sistemas de tempo-real, são consideradas também "respostas internas de controle" como, por exemplo, iniciar um processo de monitoramento do valor de um fluxo contínuo.

a) Assunto: **Geração de Camada Genérica (camada de marcas ou camada do chip).**

A geração de uma camada genérica inicia-se pela interpretação da máscara a ser traçada e, a partir da determinação da primeira linha de traçado, o SISTEMA envia os fluxos contínuos "controle_x_motor" e "controle_y_motor" visando posicionar a mesa de tal forma que a interseção do eixo do Microscópio Eletrônico com a superfície do wafer corresponda ao início da primeira linha de traçado.

A interpretação de cada figura da máscara a ser traçada no wafer dá origem a **linhas de traçado** (linhas a serem efetivamente gravadas no wafer). Para cada linha presente no arquivo C.A.D., são geradas **n** linhas de traçado adjacentes, onde **n** é o resultado da divisão da espessura da linha pela espessura do feixe de elétrons. A espessura do feixe pode ser selecionada pelo operador ajustando um de dois atributos de "parâmetros_operação": valor da **espessura** ou valor da **resolução** de traçado (inteiro que divide a menor espessura de linha para obter a espessura do feixe). Um sólido presente no arquivo C.A.D. é transformado num conjunto de linhas de traçado de acordo com uma estratégia apropriada, a ser definida posteriormente conforme o tipo de equipamento a ser utilizado no processo;

A figura correspondente à máscara a ser traçada pode ser replicada várias vezes no wafer. O SISTEMA interpreta essa figura o número de vezes correspondentes ao número de

réplicas. As réplicas são limitadas por retângulos idênticos e adjacentes. São também idênticos os posicionamentos das réplicas no interior dos retângulos que as limitam. O SISTEMA calcula as suas posições de início e fim considerando como origem um dos vértices do retângulo.

a.1) Sob o ponto de vista de MOTOR_X, MOTOR_Y e OBTURADOR_FEIXE:

Qualquer falha em dispositivo (MOTOR_X, MOTOR_Y ou OBTURADOR_FEIXE) determina a interrupção da geração de camada.

(eventos externos 12, 16, 21 ou 22)

a.1.1) Funcionalidade: Traçar linha.

■ Tendo a mesa atingido a posição desejada, identificada por valores específicos de "x_mesa" e "y_mesa":

- Caso a posição atingida corresponda a início de traçado (correspondência reconhecida pelo SISTEMA a partir de informações internalizadas durante a geração de uma camada), o SISTEMA envia a OBTURADOR_FEIXE "controle_obturador" com o valor de aberto e controla a movimentação da mesa de forma que sua velocidade tenha módulo igual a **velocidade_gravação**, direção correspondente à da reta a ser traçada e sentido oposto ao de um percurso que vai do ponto inicial de traçado ao ponto final de traçado. Para esse controle de movimentação da mesa, o SISTEMA emite os fluxos contínuos "controle_x_motor" e "controle_y_motor".

- **Velocidade_gravação** é calculada a partir dos seguintes atributos de parâmetros_ operação: intensidade da corrente de emissão, diâmetro do feixe e tempo de exposição ao feixe de elétrons. Este último é função de características físicas do resiste e espessura das linhas.

É utilizada a fórmula:

Com:

D = dose, em C/cm

J = densidade de corrente, em A/cm;

I = corrente absorvida, em A;

d = diâmetro do feixe, em cm;

v = velocidade de deslocamento da mesa, em cm/s

e

$D = J * t$,

obtem-se:

$t = d / v$

e

$D = (I * t) / (0.8 * d)$;

- Caso a posição atingida corresponda a fim de traçado (correspondência reconhecida pelo SISTEMA a partir de informações internalizadas durante a geração de uma camada), o SISTEMA envia a OBTURADOR_FEIXE "controle_obturador" com o

valor de fechado, envia ao OPERADOR o "status" de operação (tempo transcorrido de início e tempo estimado de término) e volta a interpretar a máscara que está sendo traçada para obter uma nova linha de traçado. Existirão linhas de traçado enquanto não forem gravadas por completo o número de réplicas da máscara a traçar. Existindo linha de traçado, o SISTEMA registra internamente o traçado de nova linha e controla o deslocamento da mesa para a posição de início de traçado, emitindo os fluxos contínuos "controle_x_motor" e "controle_y_motor". Esse deslocamento é feito de forma a atingir velocidade máxima de movimentação da mesa nas direções x e y, visando agilizar o processo de geração de camada. Caso não existam mais linhas a traçar, o SISTEMA finaliza a geração de camada genérica.

- Ao término de um traçado de linha sem falhas, o SISTEMA reage inabilitando a emissão dos fluxos contínuos "controle_x_motor", "controle_y_motor" e "controle_obturador" e:
 - caso finalize geração de camada de marcas de alinhamento, o SISTEMA envia ao OPERADOR "tensão_e_corrente", contendo os valores de tensão na Fonte de Alta Tensão, corrente nas Lentes Condensadoras, corrente de emissão do Filamento e corrente da Lente Objetiva, esta última calculada pelo SISTEMA, para o processamento de cada camada (a fórmula empregada será definida por métodos empíricos). O SISTEMA registra, no histórico de wafer, a iniciação do wafer com sucesso;
 - caso finalize geração de camada do chip, o SISTEMA sinaliza ao OPERADOR "término_processo". O SISTEMA registra, no histórico de wafer, a geração da camada com sucesso.

(eventos externos 9 e 13)

b) Assunto: Alinhamento de Wafer.

b.1) Sob o ponto de vista do OPERADOR:

b.1.1) Funcionalidade: Iniciar alinhamento de wafer.

- OPERADOR necessita alinhar wafer iniciado e, para isso, envia ao SISTEMA "pedido_início_alinhamento" contendo identificação_wafer. O alinhamento do wafer visa garantir o correto posicionamento relativo das diferentes camadas do chip. Reagindo ao estímulo, o SISTEMA deve providenciar:
 - a partir da identificação_wafer, determinação da posição das marcas de alinhamento gravadas na sua iniciação;
 - início de monitoramento do microscópio eletrônico (valores referentes a "tensão_fonte", "corrente_emissão_filamento", "corrente_condensadora" e "corrente_objetiva");
 - colocação da mesa na sua posição de repouso em relação ao sistema de coordenadas absolutas. Para isso, são enviados os fluxos contínuos "controle_x_motor" e "controle_y_motor". Esse deslocamento é feito de forma a atingir a velocidade máxima

de movimentação da mesa nas direções x e y, visando agilizar o processo de alinhamento de wafer.

- início de alinhamento do wafer. Para isso, são emitidos os fluxos contínuos "controle_x_motor" e "controle_y_motor". Esses fluxos permitem a movimentação da mesa nas direções x e y para que a posição provável de uma das marcas de alinhamento situe-se no eixo do microscópio eletrônico;
- quando "x_mesa" e "y_mesa" atingem a faixa desejada, paralisação da mesa para aguardar confirmação ou ajuste de posição por parte do operador.
- rejeição ("rejeição_alinhamento"), sendo informado o motivo, nas seguintes situações:
 - 1) caso sejam selecionados parâmetros de wafer referentes a wafer não iniciado anteriormente;
 - 2) caso não exista, no depósito externo MÁSCARA, o arquivo correspondente à máscara a ser traçada.

(evento externo 2)

c) Assunto: Geração de Camada do Chip.

A verificação do estado do microscópio é efetuada ao término do processo de alinhamento do wafer (resposta interna de controle) iniciado a partir da ocorrência do evento externo 2.

A geração de uma camada do chip inicia-se pela verificação do estado do microscópio eletrônico. Estando o Microscópio Eletrônico configurado de acordo com as especificações do processo e em funcionamento estável, o SISTEMA inicia o traçado de uma **camada genérica** (vide item a) correspondente à máscara selecionada como camada do chip.

c.1) Sob o ponto de vista de Filamento, Fonte de Alta Tensão, Lente Objetiva e Lente Condensadora:

c.1.1) Funcionalidade: Iniciar geração de camada do chip em wafer alinhado.

- Com o wafer alinhado e antes de iniciar geração de camada genérica, o SISTEMA verifica os valores de "corrente_emissão_filamento", "tensão_fonte", "corrente_objetiva" e "corrente_condensadora". Estando todos os valores dentro das faixas desejadas, o SISTEMA registra o início do processamento no histórico desse wafer e controla o deslocamento da mesa para a primeira posição de início de traçado, iniciando a geração de camada. Para tal emite os fluxos contínuos "controle_x_motor" e "controle_y_motor". Esse deslocamento é feito de forma a atingir velocidade máxima de movimentação da mesa nas direções x e y, visando agilizar o processo de geração de camada. O SISTEMA informa ao OPERADOR o "status" da operação (tempo transcorrido desde o início e tempo estimado para o término);
- Decorrido um intervalo de tempo predeterminado ("é_tempo_de emitir rejeição_geração_máscara") a partir do início de alinhamento do wafer, caso um dos valores de "corrente_emissão_filamento", "tensão_fonte", "corrente_objetiva" ou

"corrente_condensadora" esteja fora da faixa desejada, o SISTEMA rejeita a geração de camada, informando ao OPERADOR o motivo ("rejeição_geração_máscara").

(evento externo 31)

d) Assunto: Movimentação da Mesa na Direção x.

d.1) Sob o ponto de vista do MOTOR_X:

d.1.1) Funcionalidade: Posicionar Mesa.

- Durante a geração de uma camada, o SISTEMA necessita controlar o posicionamento da mesa. O controle de posicionamento, modelado pelo fluxo contínuo "controle_x_motor", é enviado ao MOTOR_X. Após a movimentação da mesa, sua posição real (identificada a partir de um valor específico de "x_mesa") é lida através do INTERFERÔMETRO_ÓTICO_X.
 - Atingindo o valor de "x_mesa" a faixa desejada, o SISTEMA cessa o envio de controle para movimentação ("controle_x_motor") da mesa.

(evento externo 9)

- Saindo a variável "x_mesa" da faixa desejada ultrapassando o valor máximo, o SISTEMA envia novo controle ("controle_x_motor") para correção da movimentação da mesa na direção x.

(evento externo 10)

- Saindo a variável "x_mesa" da faixa desejada ultrapassando o valor mínimo, o SISTEMA envia novo controle ("controle_x_motor") para correção da movimentação da mesa na direção x.

(evento externo 11)

- Decorrido um intervalo de tempo predeterminado ("é_tempo_de interromper processo") após o SISTEMA iniciar a tentativa de controle do posicionamento, se a mesa não atingir posição dentro da faixa desejada, o SISTEMA fecha o OBTURADOR_FEIXE (caso se encontre aberto), interrompe todo controle/monitoramento (inabilita a emissão dos fluxos contínuos "controle_x_motor", "controle_y_motor" e "controle_obturador"), registra a ocorrência de falha durante a gravação do wafer (alinhamento do wafer ou geração de camada genérica) e informa ao OPERADOR o motivo ("interrupção_processo").

(evento externo 12)

2.2 - Seção Esquemática

2.2.1 - Esquema Transacional

Este elemento de modelagem focaliza o mecanismo de "estímulo x resposta", proporcionando uma visão sistêmica do contexto e evidenciando a fronteira conceitual do sistema. Representa graficamente as entidades externas com as quais o subSISTEMA computacional interage e os elementos de sua interface com o ambiente externo.

O Esquema Transacional utiliza uma linguagem de representação inspirada em Diagramas de Fluxo de Dados (DFD) [21] onde um depósito externo (por exemplo, DE 1 MÁSCARA) representa uma conexão não-causal, denotando assincronismo. Considerando-se a LEE completa, o esquema transacional para o COMONLIFE está representado na figura 1.

2.2.2 - Esquema Semântico

O Esquema Semântico é o elemento de modelagem que permite um enfoque alternativo sobre a porção do mundo real relevante para a construção do subSISTEMA computacional. Focaliza mais detalhadamente os aspectos transacionais da interface "sistema x ambiente externo", acrescentando semântica à representação fornecida pelo Esquema Transacional. Complementa e aprofunda o conhecimento veiculado por esse esquema e introduz uma redundância controlada que facilita a validação do modelo global.

O Esquema Semântico utiliza uma linguagem de representação inspirada na sintaxe dos Diagramas de Entidades e Relacionamentos [6]), atribuindo outra semântica à notação [18,16].

Essa linguagem permite modelar as transações entre o sistema e as entidades externas representadas no Esquema Transacional. Também podem ser modeladas transações que envolvam apenas entidades do ambiente externo, não necessariamente representadas no Esquema Transacional, caso sejam relevantes para definir completamente as necessidades a serem atendidas pelo sistema.

Os elementos da interface de cada transação (entradas e respostas, referidas ao sistema quando este estiver envolvido são especificados por hierarquias semânticas do tipo "é_um" (especialização) e "é_composto" (composição). Essas hierarquias semânticas fornecem o detalhamento da interface da transação, modelada por um relacionamento com atributos envolvendo todas as entidades que dela participam.

A representação genérica de uma transação envolvendo o sistema e uma entidade externa pode ser vista na figura 2.

A porção atributo do relacionamento que modela essa transação "é_composto" de entradas e respostas (presentes no diagrama a ser lido da esquerda para a direita), respectivamente processadas e produzidas pelo sistema.

Na figura 3 observa-se um exemplo referente ao COMONLIFE.

A porção atributo do relacionamento envolvendo MOTOR_X, MOTOR_Y, MOTOR_θ, OPERADOR e SISTEMA - "Pedido de Alinhamento" -, "é_composto" por duas entidades subordinadas na hierarquia semântica: "Condição de Geração" e "Resposta a Pedido de Alinhamento".

A "Condição de Geração" modela a entrada, composta por "pedido_início_alinhamento", estímulo proveniente da entidade externa OPERADOR, e por acesso ao depósito externo MÁSCARA para validação do pedido pois, para ser possível a geração de camada do chip, que inicia-se após o término do alinhamento, seu arquivo correspondente deve estar disponível.

A "Resposta a Pedido de Alinhamento" modela uma rejeição, representada por "rejeição_alinhamento", ou (exclusivo) a aceitação do pedido de alinhamento, representada pela entidade subordinada "Emissão de Fluxos Contínuos de Mesa" composta pelos fluxos contínuos necessários para iniciar o alinhamento da mesa.

2.2.3 - Esquema da Dinâmica

Esse esquema modela o comportamento do processo que ficará submetido ao controle/monitoramento por parte do subSISTEMA computacional (COMONLIFE).

Durante a construção do Modelo do Contexto, deseja-se compreender precisamente o processo e documentar esse entendimento, não somente para propor uma solução para os aspectos de controle/monitoramento, mas também para facilitar a manutenção futura do sistema processo-controle.

O Esquema da Dinâmica permite descrever a interação entre os elementos que compõem o processo, abstraindo a existência do subSISTEMA computacional. Utiliza a linguagem de representação própria para Diagramas de Estados e Transições [9], resumizada na figura 4.

Para ilustrar a modelagem do contexto do COMONLIFE, está representada na figura 5 a dinâmica do ambiente externo associada ao início da geração de camada do chip.

3 - Modelo do Comportamento

O Modelo do Comportamento especifica uma solução abstrata para o problema proposto no Modelo do Contexto.

Para sua obtenção, emprega-se uma técnica de modelagem "outside-in" que consiste no mapeamento da LEE em atividades essenciais [16]. No caso de sistemas convencionais esse mapeamento é um-para-um. Geralmente, a modelagem de sistemas de tempo-real requer um mapeamento um-para-muitos, onde cada evento externo associa-se a um conjunto de atividades essenciais.

O primeiro passo na construção do Modelo do Comportamento resulta no Esquema de Atividades Essenciais, representação de um nível que engloba todas as atividades essenciais que atendem às necessidades do ambiente externo.

O segundo passo deve gerar uma hierarquia de esquemas de atividades, visando dominar a complexidade da representação anterior de um só nível e, conseqüentemente, facilitar seu entendimento e comunicação. Essa hierarquia é gerada através de uma organização "bottom-up" dos elementos contidos no Esquema das Atividades Essenciais.

A análise de sistemas de tempo-real permite uma segmentação suplementar para controlar a complexidade [16,5,21].

Dois tipos de elemento funcional ativo determinam o comportamento do sistema: **Atividades Operacionais**, denotadas por retângulos com contornos desenhados em linha contínua, e **Atividades de Controle**, denotadas por retângulos com contornos desenhados em linha tracejada.)

Atividades Operacionais são responsáveis por executar as funções do sistema (por exemplo, monitorar valores de grandezas físicas associadas ao microscópio eletrônico).

Atividades de Controle coordenam a execução dessas funções, determinando *quando e por quanto tempo* uma Atividade Operacional ou de Controle poderá executar tarefas; em última análise, responsabilizam-se pela concorrência/seqüencialização das ações executadas pelo sistema.

Em função de estados internos do sistema, Atividades Operacionais e de Controle processam/produzem **Fluxos de Controle**:

- **sinais**, denotados por segmentos tracejados com descritor associado (por exemplo, "obturador_OK" na figura 6);
- **comandos**, denotados por segmentos tracejados terminando por uma letra maiúscula (A(Ativa) = (H(Habilita) | I(Inabilita)) e D(Dispara)).

Sinais, enviados por Atividades Operacionais ou de Controle, são processados por Atividades de Controle e **Comandos**, enviados por Atividades de Controle, são obedecidos por Atividades Operacionais ou de Controle.

Primordialmente, Atividades Operacionais são as responsáveis por processar/produzir fluxos que transportem dados:

- **Fluxos de Dado Discretos**, denotados por segmentos contínuos terminando por uma seta simples, modelam informação disponível num dado instante do tempo e servem ao processamento convencional;
- **Fluxos de Dado Contínuos**, denotados por segmentos contínuos terminando por uma seta dupla, modelam funções contínuas do tempo e servem a propósitos de monitoramento/controle.

O rigor formal do Modelo do Comportamento deve ser garantido pela especificação detalhada das **Atividades Primitivas**, Operacionais e de Controle, em termos de alguma linguagem de representação declarativa como convém a uma modelagem conceitual.

Para Atividades Operacionais utilizam-se Listas de Pré-/Pós-Condições e para Atividades de Controle utilizam-se Diagramas de Estados e Transições (DET).

3.1 - Esquemas de Atividades

As figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11 apresentam a organização hierárquica de esquemas de atividades correspondente à fração do COMONLIFE ilustrada neste trabalho. Cada figura corresponde a um nível de decomposição de atividade. Nos níveis onde existe uma atividade de controle, o DET incorporado à figura especifica essa atividade.

Considerando-se que a versão parcial do sistema permite apenas a geração de uma camada em um wafer, supõe-se que o alinhamento seja obtido ao colocar-se o wafer no equipamento. Nessas condições, o Modelo do Comportamento ilustrado neste trabalho não apresenta a questão do alinhamento. Existem referências a pedido de alinhamento (fluxos), e a sua validação (atividade F1.1), pois esse é o evento que dá início (através de uma resposta interna de controle) à geração de camada do chip.

3.2 - Lista de Pré-/Pós-Condições

A título ilustrativo, apresenta-se a seguir a Lista de Pré-/Pós-Condições que especifica a atividade operacional primitiva encarregada de verificar o estado do microscópio eletrônico antes de iniciar-se a geração de máscara.

F1.2 - verifica estado do microscópio

Seção de Definições Locais:

T : variável que modela o tempo;

ΔT : parâmetro que modela o intervalo de tempo, contado a partir do momento em que a função é habilitada, necessário estabilização dos valores medidos ($T = .\Delta T$ é equivalente à "ocorrência" do fluxo de controle virtual "é_tempo_de_rejeição_geração_máscara")

Cláusulas

C1_identifica_histórico_wafer

EXISTE i TALQUE <1 "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).ED_estado_wafer" = "em geração"
1>

C2_tensão_fora_faixa

valor de "FDC_variáveis_feixe elétrons.tensão_fonte.ED_tensão_fonte" >= (valor de "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_tensão_fonte" + valor de "ED_delta_tensão")

OU

valor de "FDC_variáveis_feixe elétrons.tensão_fonte.ED_tensão_fonte" <= (valor de "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_tensão_fonte" - valor de "ED_delta_tensão")

C3_corrente_emissão_filamento_fora_faixa

valor de

"FDC_variáveis_feixe_elétrons.corrente_emissão_filamento.ED_corrente_emissão_filamento"
>= (valor de "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO
WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_corrente_emissão_filamento" + valor de
"ED_delta_corrente_emissão_filamento")

OU

valor de

"FDC_variáveis_feixe_elétrons.corrente_emissão_filamento.ED_corrente_emissão_filamento"
<= (valor de "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO
WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_corrente_emissão_filamento" - valor de
"ED_delta_corrente_emissão_filamento")

C4_corrente_objetiva_fora_faixa

valor de "FDC_variáveis_feixe_elétrons.corrente_objetiva.ED_corrente_objetiva" >= (valor de
"DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO
WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_corrente_objetiva" + valor de
"ED_delta_corrente_objetiva")

OU

valor de "FDC_variáveis_feixe_elétrons.corrente_objetiva.ED_corrente_objetiva" <= (valor
de "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO
WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_corrente_objetiva" - valor de
"ED_delta_corrente_objetiva")

C5_corrente_condensadora_fora_faixa

valor de "FDC_variáveis_feixe_elétrons.corrente_condensadora.ED_corrente_condensadora"
>= (valor de "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO
WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_corrente_condensadora" + valor de
"ED_delta_corrente_condensadora")

OU

valor de "FDC_variáveis_feixe_elétrons.corrente_condensadora.ED_corrente_condensadora"
<= (valor de "DI1_HISTÓRICO WAFER(i).AD_parâmetro_operação("DI1_HISTÓRICO
WAFER(i).ED_camadas_feitas").ED_corrente_condensadora" - valor de
"ED_delta_corrente_condensadora")

C6_histórico_wafer_restaurado

"DI1_HISTÓRICO WAFER(i).ED_estado_wafer" SUBSTITUINDO POR "com sucesso" E
"DI1_HISTÓRICO WAFER(i).ED_camadas_feitas" SUBSTITUINDO POR
"DI1_HISTÓRICO WAFER(i).ED_camadas_feitas" - 1

C7_microscópio_NOK

"DI12_MICROSCÓPIO NOK.estado" SUBSTITUINDO POR "NOK"

Lista de Pré-/Pós- Condições:

==> pré-condição 1:

HABILITADA

E

$0 \leq T < \Delta T$

E

< 0 C2_tensão_fora_faixa

OU

C3_corrente_emissão_filamento_fora_faixa

OU

C4_corrente_objetiva_fora_faixa

OU

C5_corrente_condensadora_fora_faixa $0 >$

==> pós condição 1:

NÃO C6_histórico_wafer_restaurado

E

NÃO C7_microscópio_NOK

E

NÃO "FDD_rejeição_geração_máscara"

==> pré-condição 2:

HABILITADA

E

$T = \Delta T$ ("é_tempo_de_rejeição_geração_máscara")

E

< 0 C2_tensão_fora_faixa

OU

C3_corrente_emissão_filamento_fora_faixa

OU

C4_corrente_objetiva_fora_faixa

OU

C5_corrente_condensadora_fora_faixa $0 >$

==> pós condição 2:

C6_histórico_wafer_restaurado

E

C7_microscópio_NOK

E

"FDD_rejeição_geração_máscara"

==> **pré condição 3:**

HABILITADA

E

$0 \leq T \leq \Delta T$

E

<0 NÃO C2_tensão_fora_faixa

E

NÃO C3_corrente_emissão_filamento_fora_faixa

E

NÃO C4_corrente_objetiva_fora_faixa

E

NÃO C5_corrente_condensadora_fora_faixa 0>

==> **pós condição 3:**

NÃO C6_histórico_wafer_restaurado

E

NÃO C7_microscópio_NOK

E

NÃO "FDD_rejeição_geração_máscara"

==> **pré condição 4:**

INABILITADA

==> **pós condição 4:**

NÃO C1_histórico_wafer_restaurado

E

NÃO C7_microscópio_NOK

E

NÃO "FDD_rejeição_geração_máscara"

3.3 - Esquema da Memória Essencial

Esse esquema utiliza uma linguagem de representação inspirada na sintaxe e semântica dos Diagramas de Entidades e Relacionamentos [6]. Modela as categorias de informação armazenadas internamente ao sistema, seus atributos e os relacionamentos existentes entre essas informações.

No caso do COMONLIFE, essa modelagem desempenha papel secundário e, devido à necessidade de limitar o porte deste trabalho, esse esquema foi suprimido bem como a ilustração do Dicionário de Dados associado.

4 - Conclusão

Executar a modelagem conceitual de um sistema de tempo-real para controle/monitoramento de processos constitui desafio bastante atual para a Engenharia de Software.

Neste trabalho, pretendemos ter evidenciado, através da ilustração do COMONLIFE, a pertinência, para esse fim, da estrutura de uma modelagem da essência tal como é atualmente preconizada na área dos chamados Métodos Estruturados. Utilizando essa estrutura, tenta-se obter um enunciado completo e preciso do problema a ser resolvido (Modelo do Contexto) e especificar rigorosamente uma solução abstrata para esse problema (Modelo do Comportamento).

Enfoques distintos e complementares sobre o contexto do sistema (Descrição de Objetivos, Descrição Sumária, Descrição das Operações, Lista de Eventos Externos, Esquema Transacional, Esquema Semântico, Esquema da Dinâmica e Dicionário de Dados) permitem uma visão abrangente das necessidades do ambiente externo a serem atendidas pelo sistema. A redundância controlada introduzida por esses enfoques, complementada por indispensável disciplina de modelagem, permitem assegurar a consistência do enunciado do problema.

Analogamente, enfoques distintos e complementares sobre o estado e o comportamento do sistema (Esquema e Detalhe da Informação e Esquema e Detalhe das Atividades) permitem modelar rigorosamente uma solução abstrata para o problema enunciado.

A noção do porte e da complexidade intrínseca do COMONLIFE pode ser obtida através da ilustração apresentada, correspondente a um subconjunto da totalidade dos eventos externos a serem considerados. Em particular, a escolha do subconjunto permitiu evidenciar como, a partir de uma visão bastante abstrata sobre o conjunto de necessidades a serem atendidas pelo sistema, é possível implementar uma estratégia gerencial de desenvolvimento incremental para o sistema.

Adicionalmente, a LEE demonstra ser um instrumento eficaz para registrar falhas no ambiente externo, dando maior visibilidade a questões que afetem a segurança em sistemas processo-controle. A representação da ocorrência de falhas no Modelo do Contexto e de seu tratamento no Modelo do Comportamento permitem uma avaliação precisa sobre o quanto essas questões fazem parte do escopo do sistema.

As ferramentas conceituais, técnicas e elementos de modelagem apresentados representam o estado da arte para a modelagem da essência de sistemas de tempo-real, visando obter a qualidade máxima (completeza, rigor, precisão e clareza).

Permitem especificar requisitos de forma a garantir a segurança do sistema a ser construído e uma considerável redução de erros no produto final; também, conduz a significativa redução de custos nas fases de design, implementação, implantação e manutenção do sistema.

Normalmente, seu emprego associa-se a um custo considerável alocado à fase de elicitação, análise, especificação e documentação dos requisitos para o sistema. Esse custo pode ser

reduzido, compativelmente com a redução da qualidade associada ao Modelo da Essência produzido, utilizando-se um subconjunto dos elementos de modelagem da estrutura apresentada neste trabalho. Trata-se aqui de uma decisão de cunho estritamente gerencial, que deve ser tomada de forma bastante criteriosa sobretudo no que se refere à modelagem do contexto. De fato, em sistemas processo-controle, é indispensável uma representação completa e precisa do comportamento possível do ambiente externo ao subsistema computacional que executará o controle; sobretudo nos aspectos referentes a falha.

Bibliografia

- [1] Akerman C. L.; Modelagem da Essência de Sistemas de Tempo-Real - Estudo de Caso para um Sistema de Controle e Monitoramento de um Processo de Litografia por Feixe de Elétrons; Trabalho de Disciplina de Mestrado na Área de Engenharia de Software (supervisionado pelos autores); 91.2
- [2] Barbosa E. e Maffeo B.; Modelagem da Essência de um Sistema de Controle para uma Área de Linhas de Engarrafamento; Monografias em Ciência da Computação, Departamento de Informática, PUC- Rio, 29/92 (104 pgs.)
- [3] Boehm B. W.; Software Engineering Economics; Englewood Cliffs, NJ; Prentice-Hall, 1981
- [4] Boehm B., Mclean R. L. and Urfig D. B.; Some experiences with automated aids to the design of large-scale reliable software; IEEE Transactions on Software Engineering, vol. SE-1, nº 6, pp 140-149, jun. 1975
- [5] Bruyn W., Jensen R., Keskar D. e Ward P.T.; "ESML: An Extended System Modelling Language Based on Data Flow Diagram"; ACM Sigsoft, Software Engineering Notes, 13(1): 58-62, janeiro de 1988
- [6] Chen P.P.S.; The entity-relationship model - toward a unified view of data; ACM Transactions on Database Systems, 1(1): 9-36, 1976
- [7] Clemente K.; Modelagem de Sistemas Sócio-Técnicos, Estudo de Caso de um Piloto Automático para Automóvel; Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, PUC-Rio, abril de 1992
- [8] Endres A.; An Analysis of errors and their causes in system programs; IEEE Transactions on Software Engineering, vol. SE-1, nº 6, pp 140-149, jun. 1975.
- [9] Glass R. L; Software Conflict - Essays on the Art and Science of Software Engineering; Yourdon Press, 1991;
- [10] Griethuysen J. J.(editor); Concepts and Terminology for the Conceptual Schema and the Information Base; International Standardization Organization (ISO), ANSI, Secretariat ISO/TC97/SC5; New York, nº 695
- [11] Leveson N. G.; Software Safety: What, why and how; ACM Computer Surveys, vol. 18, nº 2, pp. 125-164, jun. 1986
- [12] Leveson, N. G.; The Challenge of Building Process-Control Software; IEEE software; nov. de 1990

- [13] Leveson, N. G.; Software Requirements Analysis for Real-Time Process-Control Systems; IEEE Transactions on Software Engineering, vol. 17, nº 3, mar. 1991
- [14] Liskov B. e Guttag J.; Abstraction and Specification in Program Development;
- [15] Maffeo B.; "ESML: Uma Revisão de Apresentação, Estrutura, Notação e Conteúdo"; Monografias em Ciência da Computação, Departamento de Informática, PUC-Rio, 1/91 (72 pgs.)
- [16] Maffeo B.; Engenharia de Software e Especificação de Sistemas; Editora CAMPUS, 1992 (484 pgs.)
- [17] Maffeo B. e Ritto A.C.A.; Definindo o Problema a ser Tratado por um Sistema Computacional - Modelo do Contexto; Monografias em Ciência da Computação, Departamento de Informática, PUC-Rio, 11/91 (101 pgs.)
- [18] Maffeo, B. e Ritto, A.C.A.; O Esquema Semântico no Modelo do Contexto de um Sistema Computacional, XXIII Congresso de Informática da SUCESSU, 1990
- [19] Richter G. e Maffeo B.; Towards a rigorous interpretation of ESML - Extended System Modeling Language; aceito para publicação em IEEE Transactions on Software Engineering, 1992
- [20] Sanchez M.L.A. e Maffeo B.; Gerência de Projeto ("Design") Orientado a Encapsulamento de Dados e a Troca de Mensagens entre Subsistemas Autônomos; Monografias em Ciência da Computação, Departamento de Informática, PUC- Rio, 8/91 (53 pgs.)
- [21] Ward P.T. e Mellor S.J.; Structured Development for Real-Time Systems; Yourdon Press, 1985

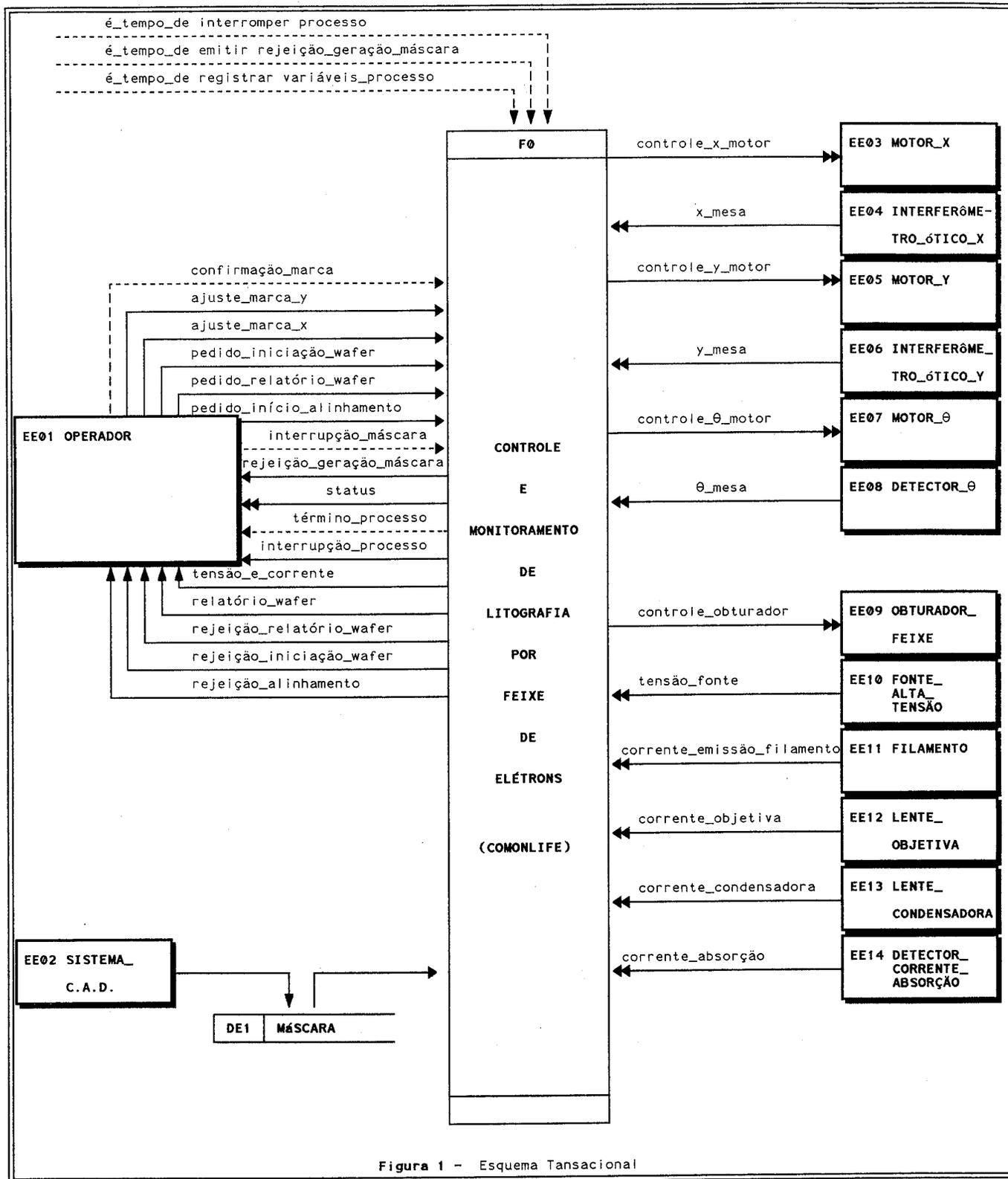
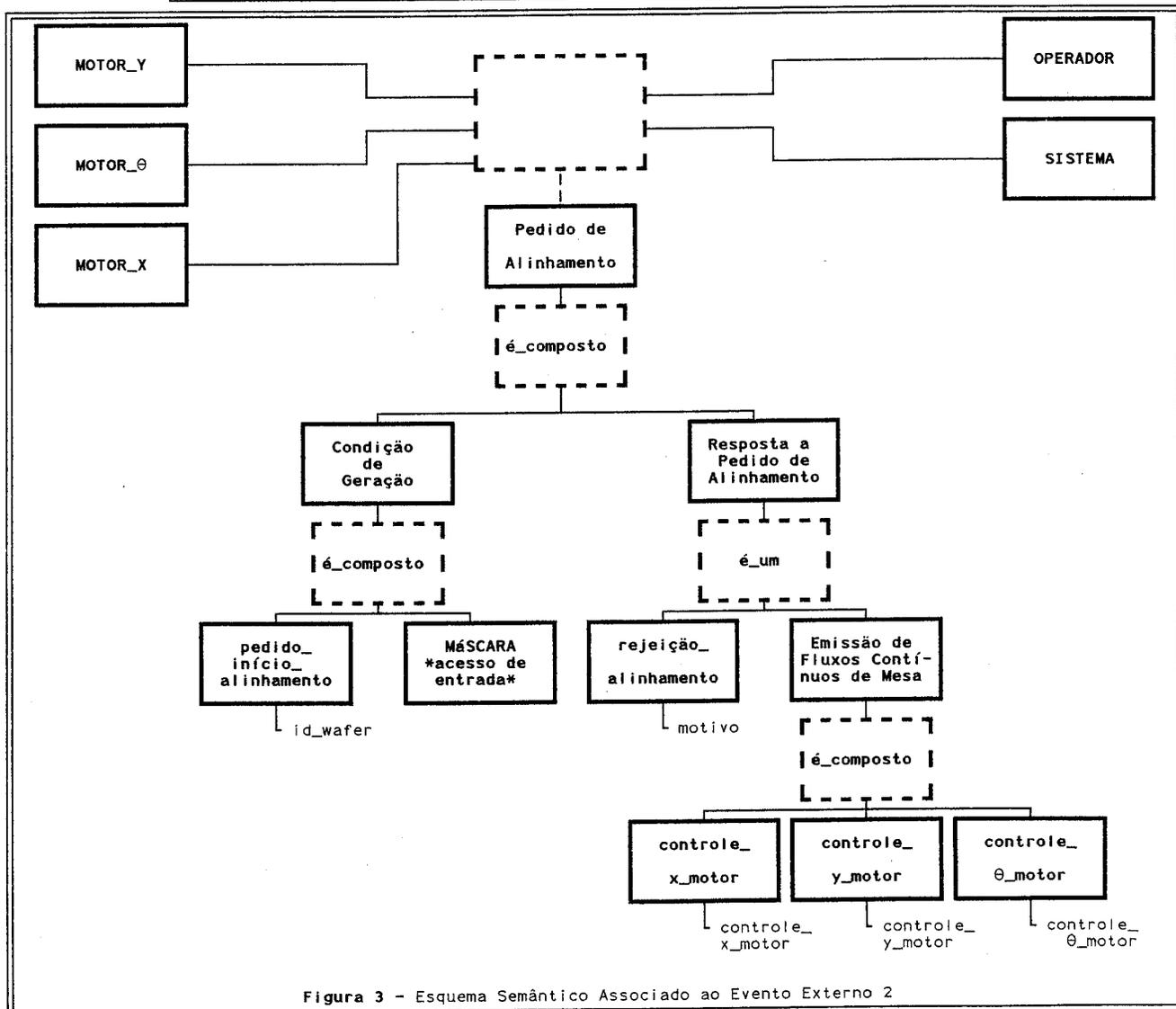
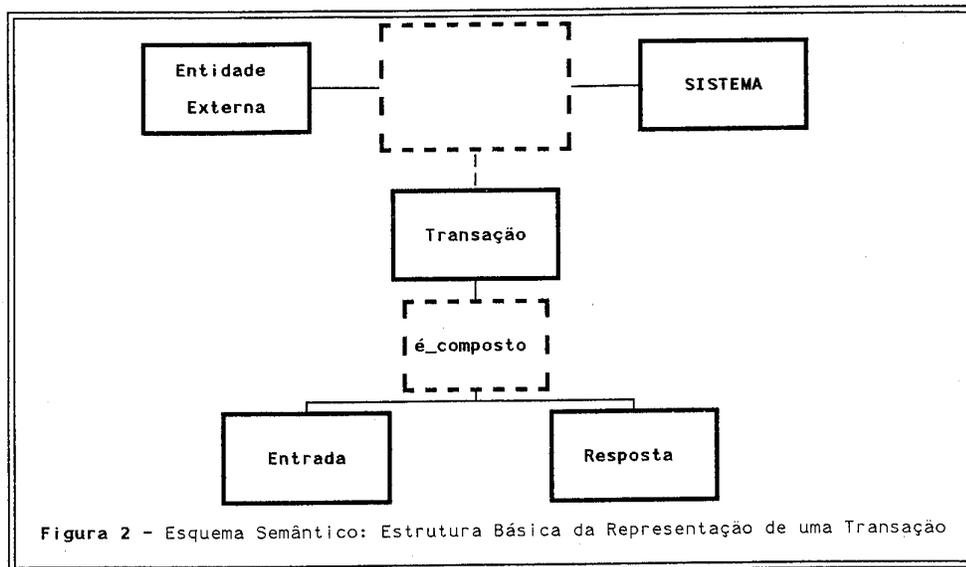
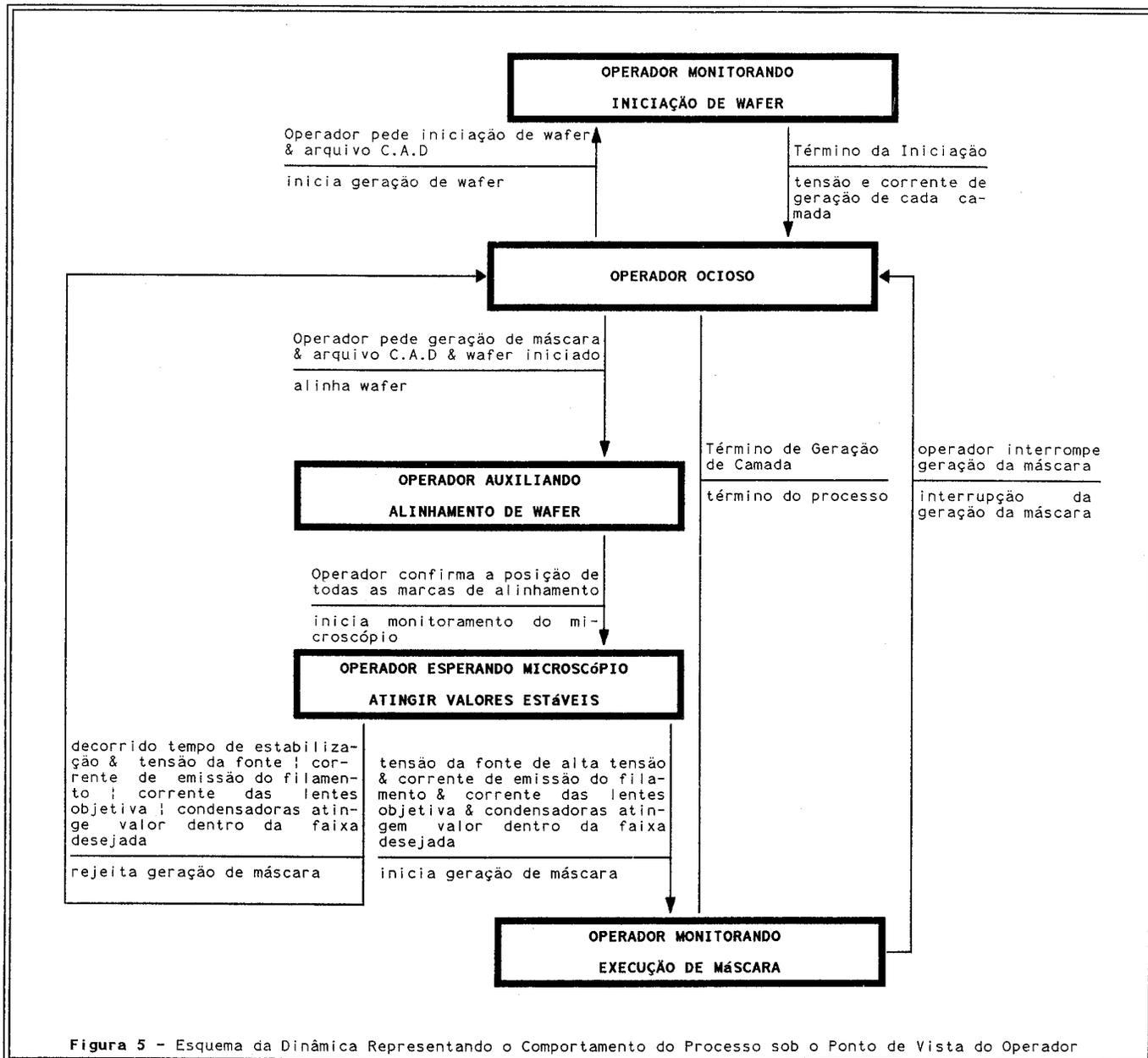
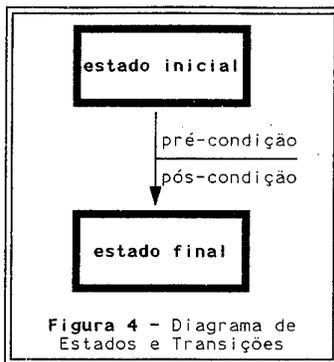
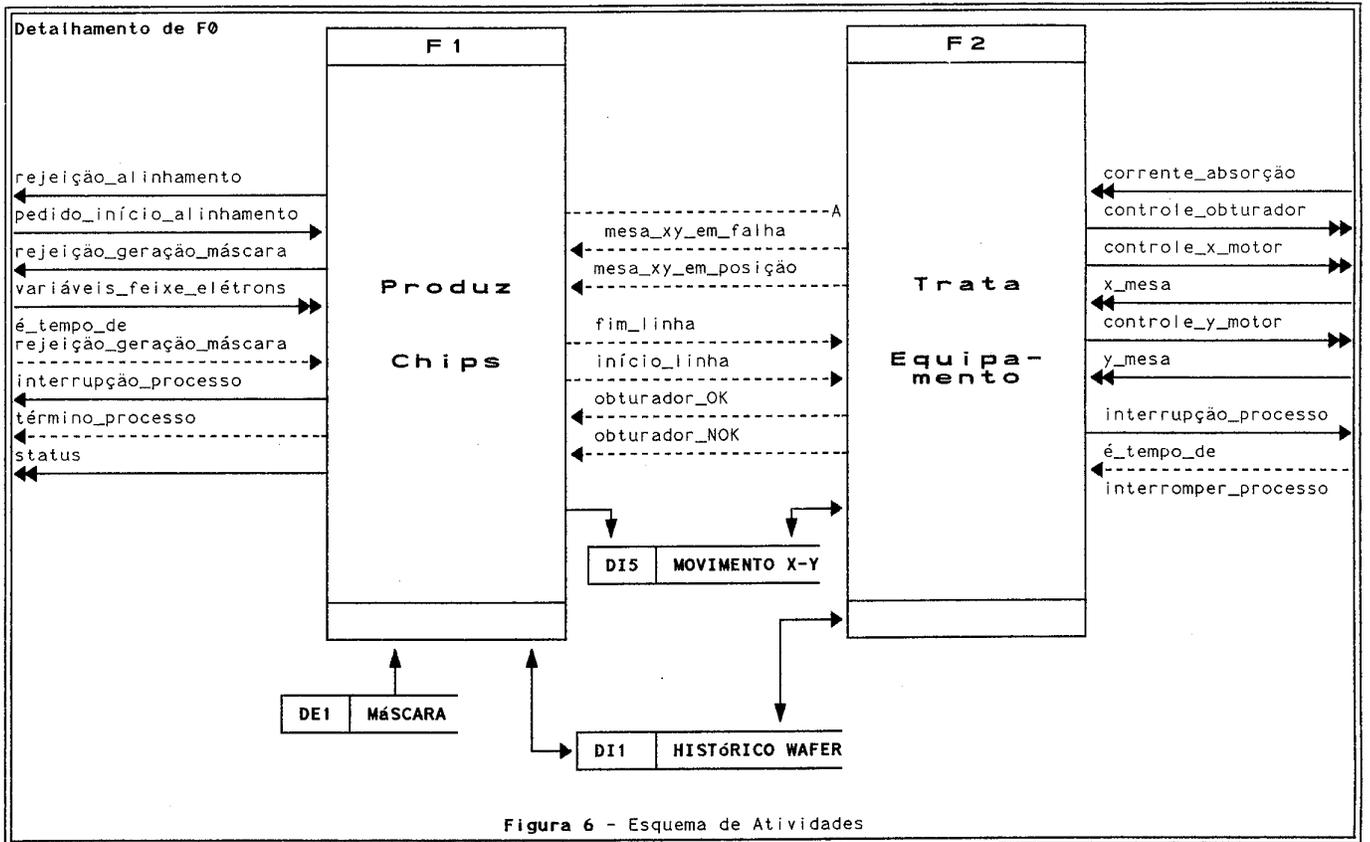
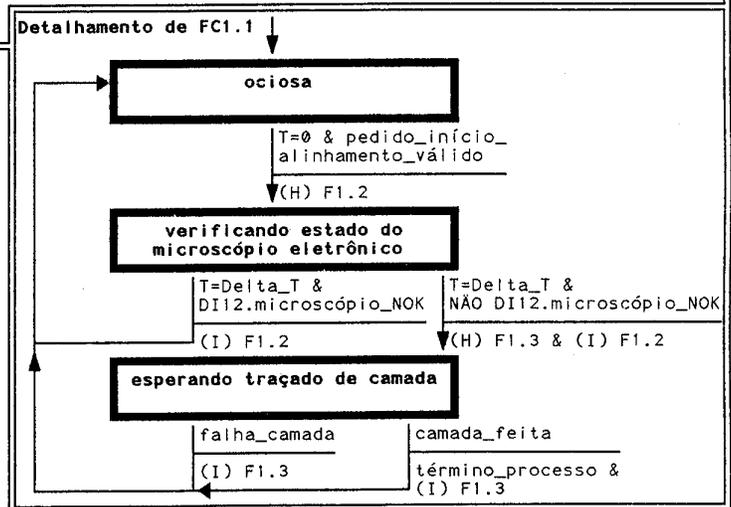
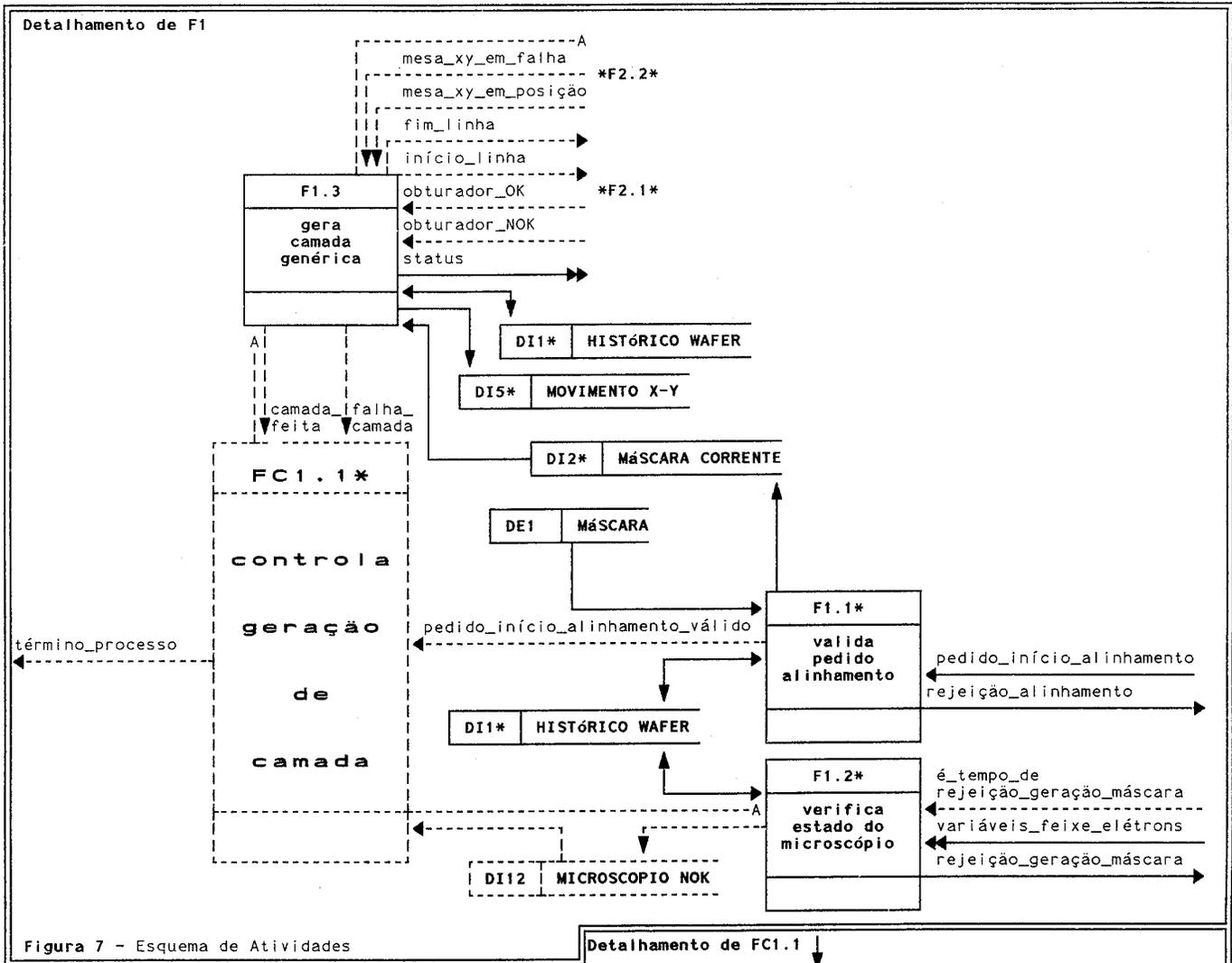


Figura 1 - Esquema Tansacional









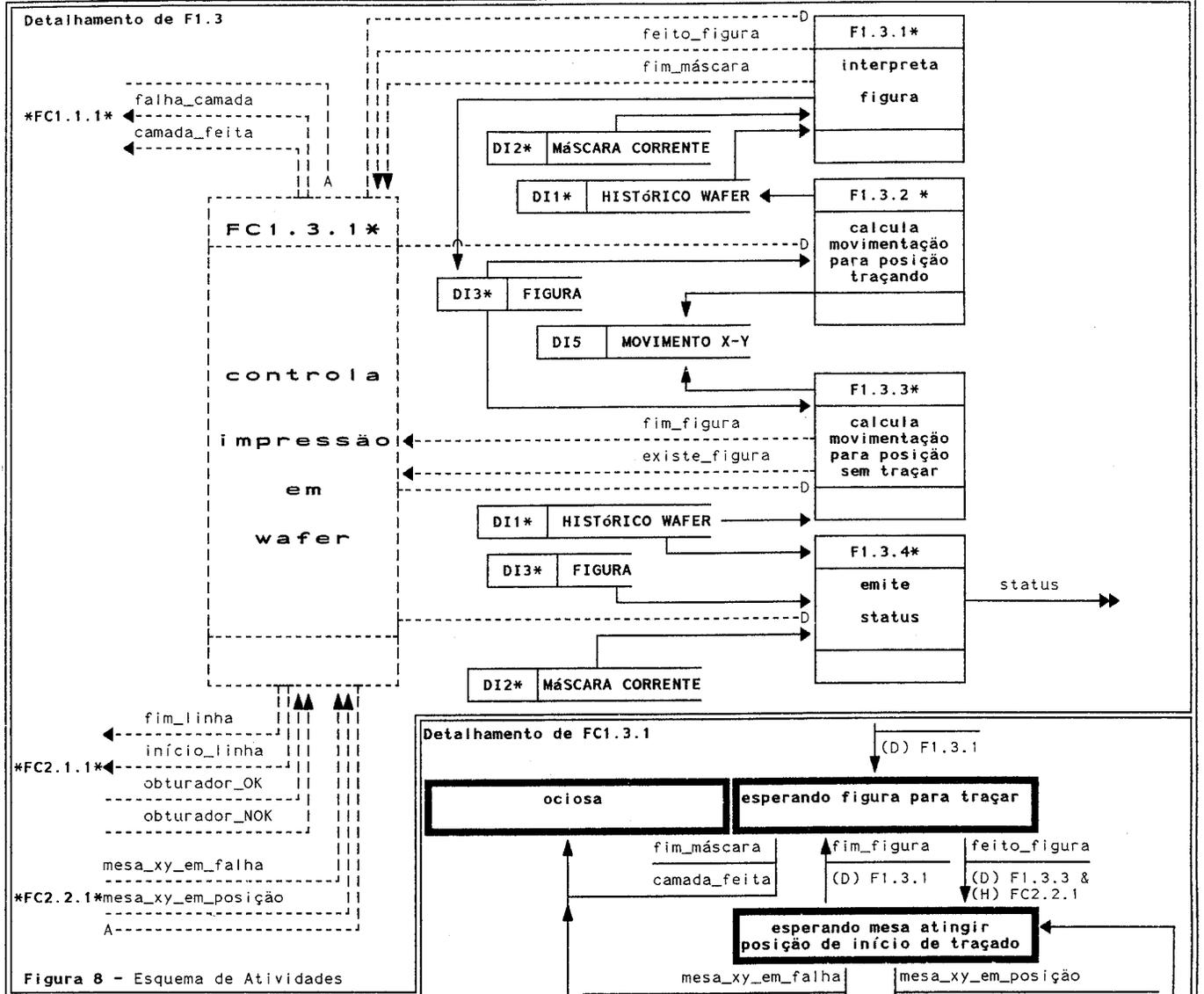


Figura 8 - Esquema de Atividades

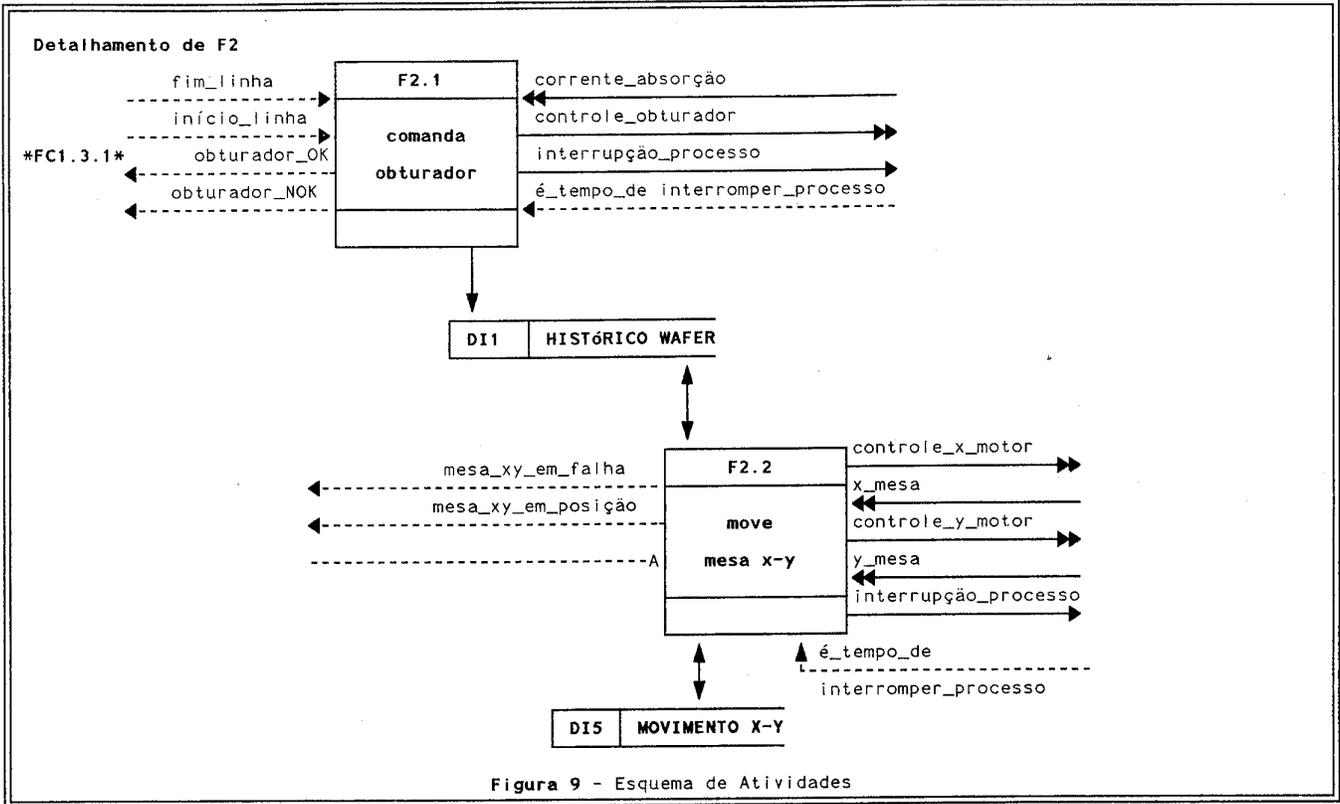


Figura 9 - Esquema de Atividades

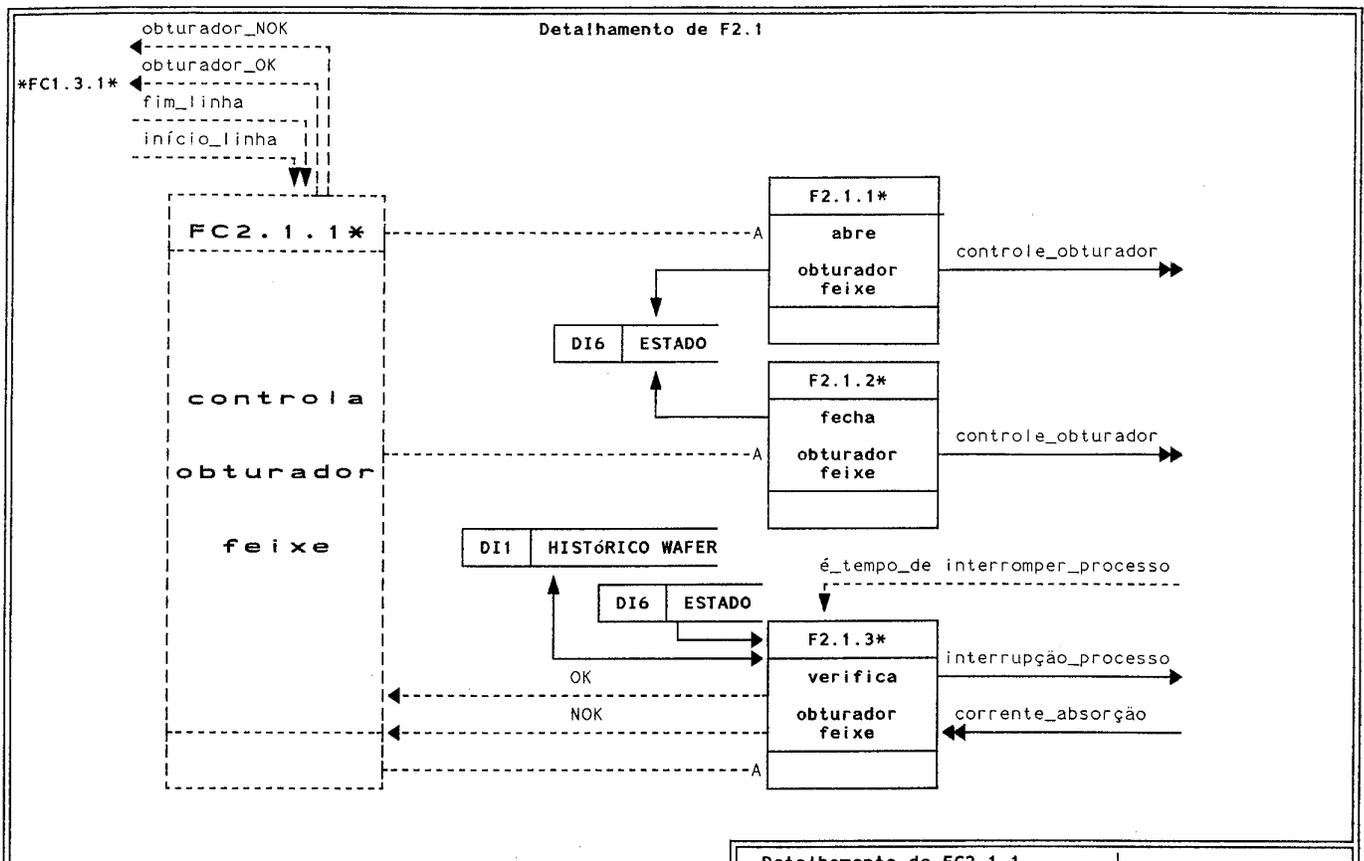
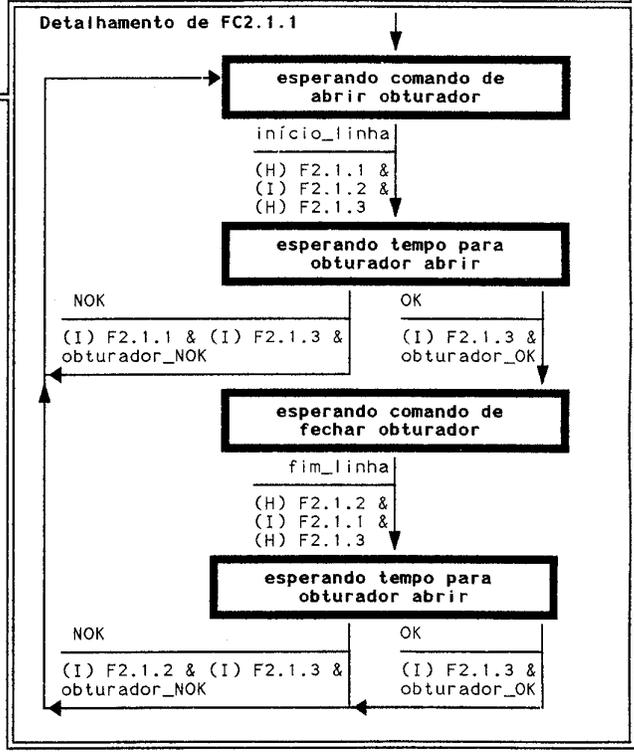


Figura 10 - Esquema de Atividades



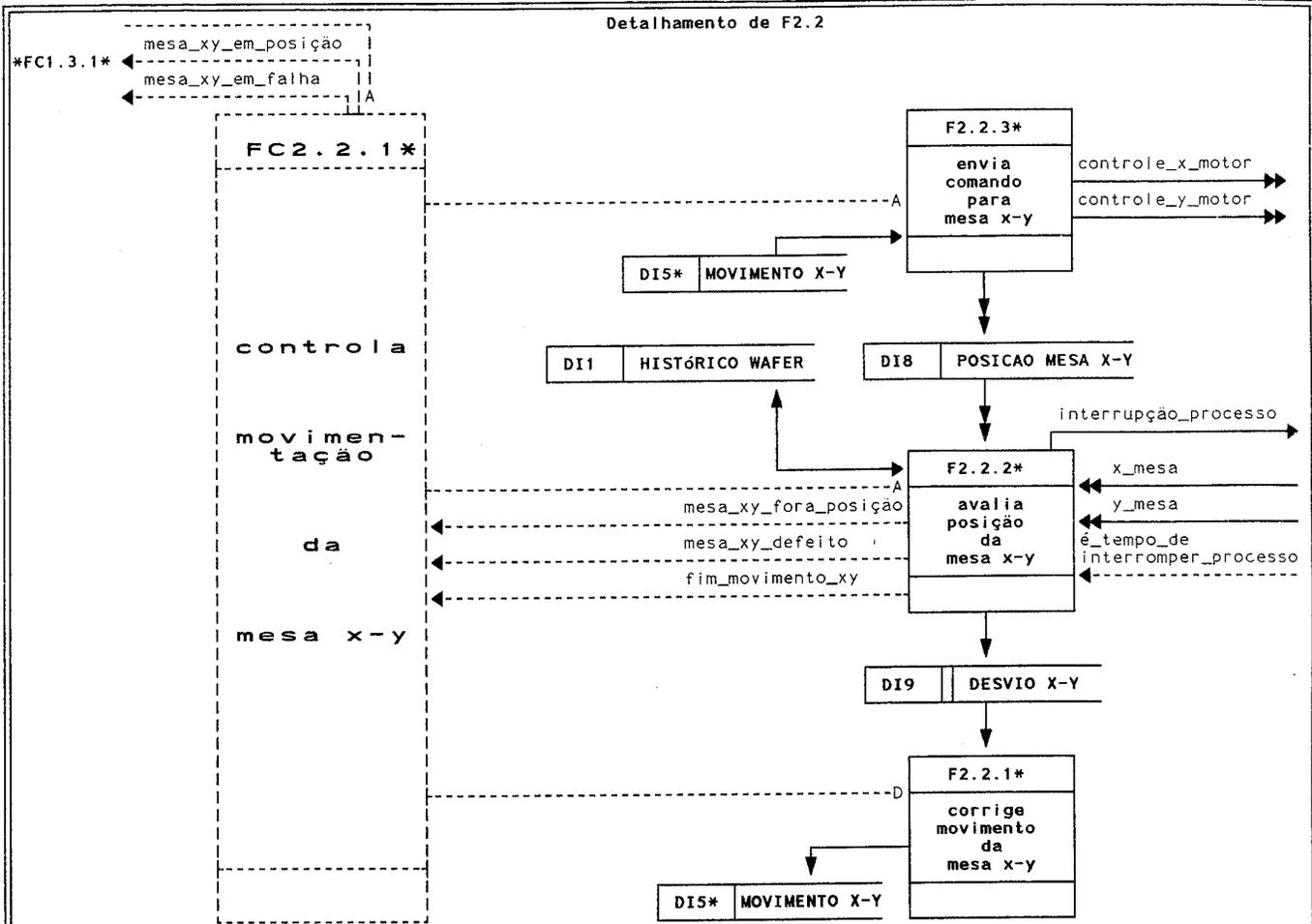


Figura 11 - Esquema de Atividades

