

MODELAGEM MARKOVIANA DE SUB-ATIVIDADES PARA A
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE ATIVIDADES EM
PLANEJAMENTO DE PROJETOS

Lino Guimarães Marujo

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS
EM ENGENHARIA OCEÂNICA.

Aprovada por:

Prof. Raad Yahya Qassim, Ph.D.

Prof. José Marcio do Amaral Vasconcellos, D.Sc.

Prof. Luiz Fernando Loureiro Legey, Ph.D.

Prof. Fernando Pereira Duda, D.Sc.

Prof. Antônio José da Silva Neto, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - Brasil

JUNHO DE 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARUJO, LINO GUIMARÃES

Modelagem Markoviana de Sub-
Atividades para a Determinação de Pa-
râmetros de Atividades em Planejamento de
Projetos [Rio de Janeiro] 2008

XI, 90p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc.,
Engenharia Oceânica, 2008)

Tese – Universidade Federal do Rio de Ja-
neiro, COPPE

- 1 - Seqüenciamento de projetos
- 2 - Modelos ocultos Markovianos
- 3 - Sobreposição de atividades de projetos
- 4 - Teoria da informação

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

*Aos meus filhos Maria Elisa e Miguel e àquela que com paciência e
amor sempre me apoiou, Daniela.*

Agradecimentos

Para o desenvolvimento deste trabalho, muitas pessoas contribuíram direta e indiretamente e assumiram um papel especial.

A princípio tudo se deve Àquele que me permitiu chegar até aqui, sempre me acolhendo e permitindo que, através de meus erros e acertos fosse aprendendo na escola da vida, Deus.

Aos meus pais que sempre estavam presentes nos momentos difíceis estendendo sua mão generosa a me ajudar e também estendendo a mão firme nos momentos que esmoreci.

À minha família que vibra com cada passo que damos juntos, e não seria diferente aqui.

Ao amigo Jorge de Lacerda, que me apresentou ao meu orientador e muito me apoiou em todo o desenvolvimento deste trabalho, com discussões sempre proíficas.

Ao meu orientador, Prof. Raad Y. Qassim, pelo companheirismo e por me orientar não só academicamente, mas também nos mais diversos assuntos.

Aos amigos do CEFET/RJ, Rafael Barbastefano, Leonardo Lima, Diego Carvalho, Rafael Paim e Inessa Salomão, companheiros de profissão, que experimentam as restrições inerentes do contexto universitário brasileiro, que junto comigo viveram esta jornada, contribuindo cada um ao seu modo para a conclusão desta etapa.

Ao amigo Valdir Melo, pela ajuda na descrição dos algoritmos do Capítulo 3.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

MODELAGEM MARKOVIANA DE SUB-ATIVIDADES PARA A
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS DE ATIVIDADES EM
PLANEJAMENTO DE PROJETOS

Lino Guimarães Marujo

Junho/2008

Orientador: Raad Yahya Qassim

Programa: Engenharia Oceânica

Com base na dificuldade de se determinar os parâmetros das atividades em projetos, isto é a duração mais provável, a otimista e a pessimista, é proposto neste trabalho um modelo de se determinar esses parâmetros através da modelagem semi-markoviana oculta, onde as sub-atividades constituem um nível atômico da atividade do projeto. Através da introdução de uma restrição geométrica é analisada a influência desta no planejamento do processo de uma atividade de projeto no contexto da Engenharia Oceânica. Este trabalho também vem preencher uma lacuna na literatura de planejamento de projetos com atividades sobrepostas, pois até então não existia um modelo de determinação do *extended design time*, que é a quantidade de retrabalho necessária para acomodar mudanças inerentes ao processo de sobreposição de atividades. Os modelos desenvolvidos são então aplicados a quatro exemplos numéricos, onde são analisadas as funcionalidades dos modelos em relação à determinação dos parâmetros de duas atividades isoladamente, para duas atividades com um certo grau de sobreposição entre elas e também o planejamento de uma seqüência de sub-atividades que são restritas geometricamente.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

ACTIVITY PARAMETER DETERMINATION IN PROJECT PLANNING
USING MARKOVIAN MODELING OF SUB-ACTIVITIES

Lino Guimarães Marujo

June/2008

Advisor: Raad Yahya Qassim

Department: Ocean Engineering

Faced with the difficulty to determine the project activity parameter, such as the most likely duration, the optimistic duration and the longest duration, a model is proposed in this work to establish a way to find out those parameters, through the hidden semi-Markov modeling, where the sub-activities constitute an atomic level of the project activity. Introducing a geometrical constraint is analyzed its influence on the project activity process planning, in the Ocean Engineering context. This work also fulfill a gap on project planning literature with overlapping activities, because until now there was not a model do determinate the *extended design time*, that is the quantity of rework needed to accommodate the inherent changes to activities overlapping processes. The developed models are applied to four numerical examples, where their functionalities are analyzed related to parameters determination of two isolated activities, to two activities with a certain grade of overlapping and the planning of the sequence of sub-activities with a geometrical restriction.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	3
1.2	Objetivos	4
1.3	Organização do trabalho	5
2	Revisão da Literatura	7
2.1	Introdução	7
2.2	Desagregação de atividades	7
2.2.1	A transição entre a atividade agregada e os micro-estados	9
2.2.2	O modelo oculto de Markov	11
2.3	Caminho probabilístico geometricamente restrito	14
2.4	A abordagem da engenharia simultânea	16
2.5	Sobreposição de atividades	19
2.6	Fluxo de informações	27
2.6.1	O conceito da entropia da informação	28
3	Modelo de Desagregação de Atividades em Sub-Atividades	31
3.1	Considerações iniciais e premissas adotadas	31
3.2	Notação matemática	32
3.3	Modelo para desagregação de uma atividade	34
3.4	O algoritmo de conjunção para uma única atividade	36

3.5	Determinação dos parâmetros de uma atividade	39
3.6	O planejamento de caminho geometricamente restrito	40
3.7	O modelo para duas atividades como sobreposição	42
4	Exemplos Numéricos	46
4.1	Modelo de fluxograma de uma única atividade	46
4.1.1	Determinação dos parâmetros da Atividade 1	46
4.1.2	Determinação dos parâmetros da Atividade 2	51
4.2	Análise dos efeitos da sobreposição sobre duas atividades	56
4.3	Determinação do caminho probabilístico geometricamente restrito para uma atividade	59
5	Análise da sensibilidade dos efeitos da sobreposição	63
6	Conclusões e Trabalhos Futuros	67
	Referências Bibliográficas	73
A	Rotina descritiva do Algoritmo 1 para a Atividade 1	81
B	Rotina descritiva do Algoritmo 1 para a Atividade 2	86
C	Rotina descritiva do Algoritmo 2 para determinação do caminho probabilístico geometricamente restrito	89

Lista de Figuras

2.1	Áreas do conhecimento permeadas por este trabalho.	8
2.2	Visão sistêmica de um projeto.	20
2.3	Padrões de execução de atividades em projetos	22
2.4	Representações das dependências entre atividades de projeto.	24
3.1	Sobreposição de dois modelos ocultos de Markov.	32
3.2	Grafo que descreve a seqüência de símbolos observados.	37
3.3	Grafo resultante que melhor descreve o fluxograma de uma atividade.	39
3.4	Representação esquemática da influência da <i>HAZ</i> no trajeto.	42
3.5	Representação dos estados e seus símbolos emitidos.	44
4.1	Um par de seqüências de observações da Atividade 1.	47
4.2	Planilha representativa da matriz de incidência β_{inc1}	47
4.3	HMM que representa o modelo de fluxograma para a Atividade 1.	48
4.4	Série de observações realizadas para a Atividade 2.	51
4.5	Planilha representativa da matriz de incidência β_{inc2} da Atividade 2.	52
4.6	HMM que representa o fluxograma para a Atividade 2.	53
4.7	Os 4 estados da placa representando os pontos de soldagem e suas distâncias.	60
4.8	A seqüência do caminho de soldagem.	62
5.1	Relação entre o grau de sobreposição e o estado de completamento da atividade.	63

5.2	Relação entre o grau de sobreposição e a entropia dos estados a serem visitados.	64
5.3	Relação entre o grau de sobreposição e a necessidade de trabalho adicional.	64
5.4	Relação entre a probabilidade da emissão de cada símbolo por estado e a entropia do estado.	64
5.5	Relação entre o grau de completamento da atividade e a entropia. . .	65
5.6	Relação entre grau de completamento da atividade e a necessidade de trabalho adicional.	65
5.7	Relação entre o grau de sobreposição da atividade e a necessidade de retrabalho sem a influência dos símbolos.	65
5.8	Relação entre grau de completamento da atividade e a necessidade de trabalho adicional sem a influência dos símbolos.	65

Lista de Tabelas

2.1	Correlação entre o modelo de fluxograma e HMM.	13
2.2	Estrutura para o desenvolvimento concorrente.	19
4.1	Matriz de probabilidade de transições para a Atividade 1.	48
4.2	Emissões de cada estado para a Atividade 1.	49
4.3	Matriz de probabilidades de transição para a Atividade 2.	52
4.4	Emissões de cada estado para a Atividade 1.	54
4.5	Resumo dos parâmetros calculados para as Atividades 1 e 2.	56
4.6	Resumo dos parâmetros de impacto em função da sobreposição.	59
4.7	Distâncias entre os pontos de soldagem em <i>mm</i>	61
4.8	Matriz de probabilidades de transição entre os pontos de soldagem.	61
4.9	Parâmetros de controle de processo de soldagem elétrica a arco.	61

Capítulo 1

Introdução

A crescente importância da agilidade e flexibilidade das empresas em lançarem produtos ou serviços no mercado mais rápido que seus competidores, têm sido refletidas no crescimento das técnicas de planejamento e seqüenciamento do desenvolvimento de produtos e do aumento na velocidade da manufatura, no intuito de entregar produtos novos ou modificar os existentes mais rápido que os competidores, forçando as empresas a estabelecerem uma maneira de produzirem de forma mais rápida, o que se transforma em vantagem competitiva em mercados onde clientes valorizam uma suficiente redução no tempo que justifique o pagamento de um prêmio ou o aumento das compras.

Estas características são mais latentes em um ambiente de produção sob encomenda, onde o mecanismo de disparo para a execução ou fabricação de um novo item é um acordo de execução, ou um contrato, como por exemplo em indústrias aeronáuticas, civil ou navais, em contraste com outros tipos de manufatura onde um ponto de reposição nos registros de inventário é que dita o ponto de ressuprimento ou o início da fabricação. Também em ambientes intensivos em tecnologia, onde a introdução de novas tecnologias é condição *sine qua non* para a sobrevivência da empresa se justificam tais práticas.

Uma vez identificada a demanda por seus produtos, uma empresa deve iniciar a redução no tempo de produção para introduzir produtos mais rapidamente no

mercado. Em geral, três princípios podem ser aplicados: (1) a reorganização do trabalho, (2) a organização e recompensa para encorajar a redução do tempo e (3) a perseguição agressiva à redução do tempo de produção [14].

Nesse sentido, a tendência que vem sendo observada em uma gerência de produção é a de implementar as mais importantes tarefas de um projeto de forma simultânea, ou seja através da sobreposição de tarefas. Essa abordagem, conhecida como engenharia concorrente ou simultânea (*concurrent engineering*), é baseada no conceito de que a execução em paralelo das principais atividades irá encurtar o ciclo de vida do projeto e, então, reduzir o tempo para que novos produtos, ou modificações destes cheguem ao mercado. Segundo HOUT e STALK [28], a década de 90 deu início ao fenômeno da *responsividade*, ou seja, o fenômeno da resposta rápida. Um exemplo de resposta rápida é a mudança rápida, especialmente na introdução de novos produtos e a entrega rápida de um produto ou serviço. A execução seqüencial de tarefas então, já não mais satisfaz em alguns casos os interesses empresariais. É necessário começar todo o projeto de uma só vez, com equipes com grandes responsabilidades e alçadas decisórias. Portanto, a habilidade em reduzir o tempo requerido para o lançamento de novos produtos é considerada a nova fronteira de batalha industrial [14].

Projetos em geral, de quaisquer naturezas, têm sempre a preocupação com o tempo de execução. Para tanto, podem ter seu tempo de conclusão reduzido através de três técnicas ou da combinação delas. São elas:

- Aceleração das atividades (*crashing*) Na aceleração o projeto é acelerado pela alocação de recursos extras a uma ou mais atividades.
- Sobreposição de duas ou mais atividades (*overlapping*) Na sobreposição, uma atividade que originalmente se inicia após o completo término de sua atividade predecessora, é iniciada antes do término desta, mesmo que nem toda

informação esteja disponível.

- Substituição de atividades (*substitution*) Na substituição uma ou mais atividades são substituídas por atividades de menor duração não previstas no projeto original, como por exemplo, a terceirização ou atividades que agreguem várias atividades previstas inicialmente.

Na sobreposição de atividades, o adiantamento do início de uma atividade sucessora, implica nesta iniciar com a informação incompleta da atividade predecessora. Esta falta de informação, resulta em uma necessidade de retrabalho na atividade sucessora, o que por sua vez implica em recursos e custos extras para acomodação de mudanças não previstas.

1.1 Motivação

A área de gerenciamento de projetos é uma das áreas principais da Engenharia Oceânica, o cerne das atividades de construção naval e off-shore, onde se concentram inúmeros esforços para uma boa entrega de encomendas, que são de certa forma peculiares, pois encerram em si um grau de complexidade considerável. Assim sendo, tem uma grande possibilidade de se desenvolver bons trabalhos, pelo uso intensivo do "estado-da-arte" de técnicas de gerenciamento de projetos, tais quais, a aceleração a sobreposição de atividades.

Contudo, um dos parâmetros de *input* mais difíceis de ser estimado em um modelo tempo-custo de aceleração de projetos com atividades sobrepostas, é o *extended design time*, ou tempo estendido de planejamento, o que tem sido estimado de forma empírica por especialistas, como por exemplo em GERK [20], onde uma das premissas para o desenvolvimento de seu trabalho é o conhecimento prévio da fração de retrabalho. Mais detalhadamente, começar a execução antes do desenvolvimento por completo da fase conceitual pode resultar também em um número aumentado

de mudanças e, conseqüentemente, perda de produtividade, aumentando os custos e dependendo mais tempo para acomodar possíveis desvios.

Esta necessidade latente de retrabalho aparece em um nível mais detalhado das atividades, chamadas sub-atividades, onde a atividade desagregada em partes menores, assume a forma de um fluxograma, o qual descreve as seqüências e a relação de dependência entre as sub-atividades, em uma visão atômica do projeto [47], onde os parâmetros da atividade podem ser calculados, em conjunto com a aplicação das técnicas de aceleração.

1.2 Objetivos

Existem alguns problemas quando se trata da determinação de parâmetros para atividades de projetos. De uma maneira concisa, pode-se elencar dois problemas principais:

- Dada uma atividade determinística, em seu macro estado, e seus parâmetros de duração, a qual pode ser decomposta em uma série de sub-atividades estocásticas, em seu micro estado, deve-se determinar a duração mais provável, a mais pessimista e a otimista para tal atividade;
- Dado um par de atividades determinísticas, as quais são comumente executadas em série, e supondo ainda que estas estão com um certo grau de sobreposição e que cada uma pode ser decomposta em uma série de sub-atividades estocásticas, qual seria o incremento na duração da atividade sucessora devido à necessidade de retrabalho em função da sobreposição?

Com base nestas questões fundamentais, se delineiam os objetivos deste trabalho que são: desenvolver um modelo generalista utilizando os conceitos de modelagem markoviana para estimar os parâmetros de duração otimista, mais provável e pessimista de uma atividade isoladamente e, para duas atividades com um certo grau

de sobreposição entre elas. De posse destes dados o *extended design time* pode ser avaliado e a fração de retrabalho necessária será então determinada.

Isto é feito através de um modelo de indução de fluxogramas baseado em aprendizado de máquina, mais precisamente aplicando-se conceitos de modelos ocultos markovianos e semi-markovianos, para uma atividade singular e para um par de atividades que serão sobrepostas. Para se estimar a fração de retrabalho necessária para acomodar as mudanças requeridas, foi analisado também a entropia da informação que flui entre um estado oculto e outro dentro do fluxograma gerado.

1.3 Organização do trabalho

O Capítulo 2 tem como objetivo conceituar as principais referências nas três linhas abordadas nesta tese: mapeamento do fluxo de trabalho por cadeias de Markov, analisando-se mais detalhadamente os modelos markovianos de estados lineares, não-ergódicos; técnicas de seqüenciamento de projetos, onde a ênfase dada está nas práticas de engenharia simultânea e de sobreposição de atividades e tópicos em teoria da informação, principalmente a entropia contida em um fluxo de informação onde há incerteza.

No Capítulo 3 observa-se a introdução da metodologia de construção de fluxogramas a partir de uma série de registros e um método para extrair esse fluxograma empregando-se conceitos de modelos markovianos ocultos. Também é proposto um esquema para se analisar a interação entre duas atividades sobrepostas, com incerteza das sub-atividades nos estados e a geração de retrabalho pela presença da entropia na informação transmitida entre um estado e outro. Por fim, se propõe um modelo de minimização do caminho probabilístico que é restrido geometricamente.

O Capítulo 4 apresenta os exemplos numéricos que têm o intuito de validar os modelos propostos no capítulo anterior. Os dois primeiros exemplos servem para

validar os modelos de construção de fluxogramas a partir de técnicas de modelagem markoviana oculta. O terceiro exemplo, através da introdução das durações das sub-atividades transforma o modelo markoviano oculto em um modelo semi-markoviano oculto e faz a análise dos efeitos de um certo grau de sobreposição sobre a atividade subsequente. O quarto exemplo faz a introdução de um certo tipo de restrição, no caso contextual uma restrição geométrica, para se avaliar seu impacto nos parâmetros obtidos através da metodologia proposta.

Por fim, nas Conclusões são analisadas as proposições para as questões fundamentais, uma síntese da teoria desenvolvida ao longo do trabalho é realizada, as implicações práticas inerentes a um trabalho que tem por objetivo preencher uma lacuna nos estudos da engenharia simultânea e futuras direções de extensões desse trabalho.

Capítulo 2

Revisão da Literatura

2.1 Introdução

Neste Capítulo serão apresentadas as revisões sobre os assuntos que compõem esta tese. Serão abordados os temas que tratam da desagregação de atividades de um nível macro determinístico para um nível micro de sub-atividades estocástico. Também serão vistos os principais conceitos sobre o planejamento de percursos ou caminhos probabilísticos sujeito às mais diversas restrições, sejam elas, geométricas, temporais ou organizacionais.

Por fim, serão analisados os conceitos das áreas de gestão de projetos, e de projeto e desenvolvimento de produtos no que tange a sobreposição de atividades para a redução do lead-time total do projeto e suas implicações com relação aos fluxos de informação e à necessidade de retrabalho para acomodar eventuais mudanças. Todo o arcabouço conceitual pode ser esquematizado como visto na Figura 2.1.

2.2 Desagregação de atividades

A crescente importância da agilidade no desenvolvimento de produtos e na redução do lead-time de projetos complexos, tem levado as organizações a buscarem cada vez mais a gestão de seus processos de negócio via uma orientação por projetos.

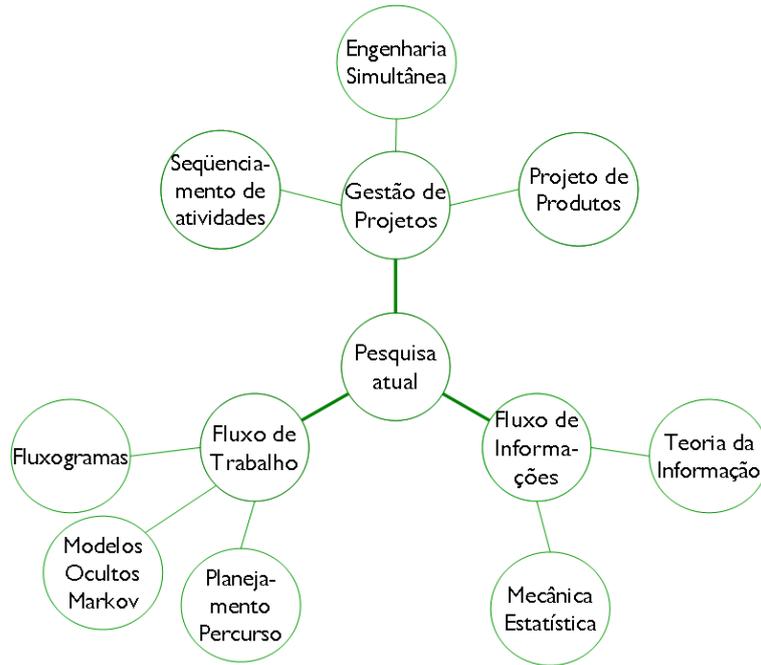


Figura 2.1: Áreas do conhecimento permeadas por este trabalho.

Contudo um grande desafio enfrentado é a gestão destes de forma simultânea e com eficácia. Neste cenário surge uma indagação: como realmente gerenciar o que ocorre a nível operacional em cada uma das atividades de cada um desses projetos? Com base nesta questão surgiram métodos de agregação e desagregação de atividades para dar suporte a alta gerência na gestão de projetos via "milestones", ou eventos-chave críticos para o desenvolvimento desses projetos. Contudo, uma visão macro do processo incorre em uma maior probabilidade de se ocultar imperfeições e desvios na execução das tarefas, provocando aumento de custo e de prazo não planejados. Essas imperfeições não ocorrem em um nível agregado de gestão, excetuando-se aquelas originadas em erros de gestão propriamente ditos, mas sim ocorrem devido a desvios na execução das tarefas a um nível operacional, que só podem ser captadas através de modelos do tipo fluxograma dos processos. Mas para isso é necessário que se estabeleça um método de desagregação das atividades e posterior agregação dos parâmetros operacionais para uma melhor gestão dos projetos.

2.2.1 A transição entre a atividade agregada e os micro-estados

Em diversas organizações onde o sistema produtivo é orientado por projetos (construção naval, civil, aeroespacial), os níveis mais altos de gerenciamento não gerenciam projetos individuais, no entanto planejam "milestones" ou eventos-chave na gestão dos projetos. O planejamento desses eventos não é por si só uma tarefa simples de ser realizada, pois por um lado, por exemplo, datas específicas devem ser determinadas para se evitar uma sobrecarga de trabalho no chão-de-fábrica. Caso contrário, os requisitos acertados com o cliente (prazos de entrega, condições, etc) não serão atendidos. Por outro lado, eventos-chave devem ser especificados para se evitar uma ociosidade na carga de trabalho no chão-de-fábrica, sob pena de a produtividade do sistema ser reduzida, com o risco de se incorrer em "estouros" no orçamento.

Uma abordagem para se fazer a análise dos eventos-chave descrita acima, é seqüenciar todas as atividades simultaneamente. Contudo, para grandes sistemas produtivos orientados por projetos, esta abordagem é computacionalmente proibitiva [24]. Então, pesquisadores da área têm investigado abordagens de agregação e desagregação de atividades em sub-atividades para se reduzir o tamanho de problemas de alocação desse tipo.

AGRAWAL e GUNOPULOS [1], apresentam uma abordagem para um sistema que constrói um fluxograma de processo a partir de *logs* de registros passados, execuções não estruturadas de um dado processo. Um grafo é então produzido conforme as dependências e o caminho de execuções apresentados pelo *log*. Fornecendo modelos que capturam execuções prévias dos processos, esta técnica permite uma introdução fácil e rápida de um sistema de avaliação de um fluxograma bem como a evolução dos modelos de processos já existentes. Em um nível elementar, onde as atividades

são detalhadas, ou descritas como sub-atividades, ainda que "ocultas" aos gestores dos projetos, seguem uma relação de precedência estrita, obedecendo a uma ordem serial definida, na qual a coleção delas quando agregadas representam uma atividade a nível macro, definida como atividade agregada. A relação entre a atividade agregada e as sub-atividades existe quando estas têm em comum o mesmo "produto" a ser entregue, ou seja, a realização destas tarefas em uma determinada ordem, produzem o mesmo *output* objetivado, e, a princípio, o trabalho só flui para outra atividade agregada quando o produto daquela etapa estiver terminado.

O nível detalhado de uma atividade agregada é representado por um modelo oculto de Markov (em inglês *hidden Markov model*, HMM), como um grafo acíclico onde cada nó representa um estado, e o conjunto de arcos representa as transições entre os estados. Cada sub-atividade i , é alocada a exatamente uma atividade agregada p , indicada por $i \in p$. As atividades agregadas são então decompostas em sub-atividades detalhadas, se essas fizerem parte de um fluxograma que tem o mesmo objetivo a ser alcançado em termos de resultados.

Entretanto, o fluxograma das atividades detalhadas não é necessariamente uma série linear de estados, podendo ter variações ocasionadas pelas restrições operacionais que trabalhadores, ou atores enfrentam no desenvolvimento de suas atividades no chão-de-fábrica. Segundo HERBST [27], a razão da dificuldade de se obter um modelo de fluxograma que descreva uma operação se dá pelo fato de o conhecimento necessário para defini-lo estar distribuído em vários setores da organização. Está estocado nas mentes dos atores que estão diretamente envolvidos na execução das atividades, e esses atores, que desenvolvem as atividades no chão-de-fábrica, nem sempre são qualificados ou focados a realizarem uma modelagem formal de fluxogramas. Daí surge a questão de como envolver esses atores na melhor descrição de um fluxograma das atividades detalhadas que eles desenvolvem, deixando-os fazer seus

trabalhos, registrando as tarefas realizadas. Feito isso, com base nesses registros, se aplica uma abordagem de aprendizado de máquina, mais conhecida como modelo oculto de Markov (HMM), para se induzir um modelo de fluxograma que suporte a realização das atividades agregadas.

2.2.2 O modelo oculto de Markov

Um modelo de gerenciamento de projetos pode ser caracterizado por vários níveis de planejamento e gestão, que podem ser estabelecidos como uma estrutura hierárquica. Em alguns desses escalões, os gestores procuram saber o que realmente está sendo feito de forma correta, ou não, ou o que poderia ser identificado como uma necessidade de retrabalho, para acomodar mudanças ou erros. A necessidade latente de retrabalho aparece em um nível mais baixo, onde as atividades são quebradas em partes elementares, ou tarefas, que formam um *fluxograma*, que descreve as seqüências e a dependência entre tarefas, em uma visão atômica do projeto [47]. O modelo de Markov pode ser definido da seguinte forma:

Definição 1 SAATY e ALEXANDER [50] *Dado qualquer subconjunto de índices, i. e.*

(k_1, \dots, k_n) , tal que $k_1 < k_2 < \dots < k_n$, então se $P[S_{k_n} \leq a_n | S_{k_1} = a_1, S_{k_2} = a_2 \dots S_{k_{n-1}} = a_{n-1}] = P[S_{k_n} \leq a_n | S_{k_{n-1}} = a_{n-1}]$, o processo estocástico é chamado de *Processo de Markov*.

Esta definição propõe que os estados do modelo somente sofrem influência de estados imediatamente anteriores, o que é mais conhecido como efeito sem memória.

Modelos ocultos de Markov (*hidden Markov models* - HMM), como introduzido por RABINER [48], são caracterizados por uma seqüência de estados estocásticos, $K = \{1, \dots, |k_n|\}$, nos quais a probabilidade de cada um é dependente somente do evento imediatamente anterior a ele (caracterizando o modelo Markoviano), e onde

os estados não são diretamente observados, mas sim associados a probabilidades de transição entre eles (caracterizando que ele é oculto), e o instante exato de acontecer um estado é oculto, i.e., há uma probabilidade de ocorrer este estado dentro de determinado intervalo de tempo, e para um símbolo (chamado *emissão*) observado a cada visita do estado, com uma certa probabilidade.

A definição formal de um HMM é descrito por uma tupla $M = (K, V, A, B, \pi)$, onde:

- $K = \{1, \dots, |k_n|\}$ denota o conjunto de estados;
- $V = \{V_1, \dots, V_n\}$ denota o conjunto de sub-atividades, ou de símbolos emitidos;
- $A = (a_{ij}) = P[S_t + 1 = k_j | S_t = k_i]$, com $1 \leq i, j \leq N$ é a matriz de probabilidades de transição;
- $B = (b_i(k)) = P[\text{emissão de } V_k \text{ no tempo } t | S_t = k_i]$, com $1 \leq i \leq N$ são as probabilidades de emissão de cada símbolo;
- $\pi = (\pi_i)$, $\pi_i = P[S_i = k_i]$ com $1 \leq i \leq N$ são as probabilidades iniciais e
- S_t denota o estado no tempo t .

Implementando-se o modelo de desagregação de atividades por fluxograma, um modelo de fluxograma inicial deve ser criado e adotado, o qual define as atividades mas não o processo em si e suas condições. Nesta fase o que se pretende é a adoção de um modelo de fluxograma que defina o processo, o que passará por uma fase de estimativa e reestimativa de parâmetros para melhor definir o processo. O problema é então, criar um modelo de fluxograma a partir de traços de execução, que é o problema correlato ao se encontrar um modelo de HMM apropriado a partir de um número de símbolos emitidos e observados, ou seja, sub-atividades concluídas. Na

tabela 2.1 pode-se observar as relações existentes entre um modelo de fluxograma e um modelo HMM geral.

Tabela 2.1: Correlação entre o modelo de fluxograma e HMM.

Modelo de Fluxograma	Modelo Oculto Markoviano
Nó da sub-atividade	estado
Sub-atividade	símbolo emitido
Traço de evento	conjunto de seqüências de símbolos emitidos
Duração da sub-atividade*	duração da transição entre estados

* Para modelos onde a duração não pode ser determinada, utiliza-se um modelo semi-markoviano, i.e., a duração é uma função densidade de probabilidade geralmente seguindo uma distribuição triangular.

Um HMM pode ser visualizado como um grafo direcionado [7, 27, 54], cujos vértices descrevem os estados com seus símbolos emitidos e as arestas representam as transições entre os estados, indicando a relação de precedência entre as atividades. Portanto, os aspectos de comportamento de modelos de fluxograma seqüenciais (que são a vista atômica de uma atividade de projeto), podem ser mapeados como um HMM, onde os símbolos emitidos representam as sub-atividades e as transições dos estados descrevem o fluxo de trabalho (veja [26, 27]).

Para se levar em conta o chamado problema de nós múltiplos, a mesma tarefa pode ocorrer mais de uma vez dentro do modelo de fluxograma, devido por exemplo a repetições necessárias, retrabalhos, falta de informação, seqüenciamento mal realizado, etc.

Embora o HMM seja um modelo simples e eficiente para se identificar dados seqüenciais, alguns autores apontam algumas limitações quando as atividades se tornam mais complexas, ou as atividades exibem uma dependência temporal de longo termo [17], o que não será relevante para o estudo presente pelas características de atividades de projetos. Para se lidar com tais limitações, duas classes extensivas de HMM têm sido propostas. A primeira introduz modelos que complementam o básico

HMM com uma estrutura hierárquica, com o propósito de explorar a organização hierárquica natural do comportamento humano (por exemplo veja [10],[18] e [40]). A segunda extensão de modelos adotam modelos semi-markovianos e introduzem suas variantes ocultas [46]. Nesses modelos, é assumido que um estado permanece inalterado por uma dada duração aleatória de tempo antes de transitar a outro estado. Para cada estado uma distribuição de probabilidade de duração é dada para caracterizar o tamanho desta duração.

2.3 Caminho probabilístico geometricamente restrito

Por um outro lado, as técnicas de se induzir um fluxograma a partir de registros prévios de processos de sub-atividades desenvolvidas são complementadas pela introdução de algumas restrições nos processos de execução das sub-atividades. Muitas aplicações de desenho e desenvolvimento de fluxogramas de processo freqüentemente têm restrições com relação ao tempo de execução, como as tão conhecidas técnicas de planejamento em rede de projetos, nas quais cada processamento de um fluxograma de sub-atividades precisa respeitar as datas para seu término. SON e KIM [53] desenvolveram um esquema que tem por objetivo maximizar o número de fluxogramas de processos que satisfaçam a um determinado prazo de término. Primeiro, demonstram um método para se encontrar um conjunto de atividades críticas onde a criticidade se dá pela demora na sua execução que diretamente afeta o tempo total de processamento do fluxograma onde aquela atividade está alocada. Desde que cada atividade crítica tenha um certo número de servidores associados a ela para uma capacidade de processamento suficiente, então se desenvolve um método para determinar o número mínimo de servidores para a atividade crítica tal que esta atividade deva ser terminada sem nenhum atraso para uma dada taxa de entrada de tarefas. LI e FAN [39] apresentam um conjunto de seis restrições temporais e um

método para se identificar um caminho crítico para o processamento adequado de um fluxograma.

Porém, as restrições associadas ao processamento de um fluxograma de sub-atividades não estão limitadas a restrições do tipo temporais. CRAMPTON [15] apresenta um modelo de um sistema de fluxograma restrito e desenvolve um método esquemático algébrico para combinar as restrições com informações e alçadas de autorização. VAN HEE et al. [55] investiga a política de gestão de recursos para alocá-los com base no número de recursos disponíveis somente, e formula uma condição para se requisitar um recurso, chamada de solidez (ou o original *solidity*) baseado no uso de redes de Petri.

Outros tipos de restrições podem ser encontradas em [52] onde um modelo oculto markoviano representa um plano de navegação de um robô, com um esquema que incorpora informações das restrições geométricas disponíveis. A mesma abordagem é utilizada por GUNARAJ e MURUGAN [22] onde eles demonstram um método empírico para avaliar o tamanho de uma restrição geométrica específica para processos de soldagem utilizados amplamente em projetos de construção em engenharia naval e oceânica, chamada *zona termicamente afetada - HAZ*, a qual é utilizada neste trabalho. KIM et al. [34] utilizam um algoritmo genético para um problema do caixeiro viajante (TSP) que é modificado para se determinar a seqüência de tarefas de soldagem para uma soldagem multi-linha com um passe de solda simples, evitando assim distorções causadas pela história térmica do processo de soldagem [31]. KIM et al. [33] determinam uma seqüência de operações de soldagem evitando a área termicamente afetada e as distorções conseqüentes, incluindo um certo tempo de espera, para o objetivo de se minimizar o tempo requerido para se completar um dado conjunto de operações de soldagem.

A composição automática de fluxogramas é analisada por DOSHI et al. [16] e

por ZHAO e DOSHI [59] onde eles propõem a utilização de um Modelo Markoviano de Decisão que trata as restrições para a composição de fluxogramas de serviços via *web*, levando-se em conta as incertezas do ambiente modelado.

2.4 A abordagem da engenharia simultânea

Por meio de um estudo em uma empresa na área de equipamentos médicos, CLARK e WHEELWRIGHT [13] identificaram que, para obter integração, as decisões do projeto do produto devem ser feitas considerando-se as capacidades de processo nas fases iniciais e a engenharia de processo em contato com as necessidades do projeto, de forma que as duas possam influenciar de forma efetiva e oportuna os resultados finais. Soluções integradas significam que as ações realizadas nas funções se suportem e se reforcem mutuamente.

A engenharia simultânea é então um resultado da integração das diversas funções que influenciam a atividade de projeto como marketing, vendas, projeto de produto, planejamento do processo, produção, montagem, garantia da qualidade, etc. Eles definem a engenharia simultânea como:

"Engenharia simultânea é um desenvolvimento concorrente das funções de projeto, com uma comunicação aberta e interativa entre todos os membros da equipe, com o propósito de reduzir o tempo de desenvolvimento entre as fases de concepção do produto até o início da produção".

Portanto, a engenharia simultânea é vista como parte da filosofia de negócios da empresa e tinha por objetivo aumentar a qualidade, reduzir os custos do ciclo de vida do projeto e diminuir o seu tempo de desenvolvimento. Nesse sentido, a engenharia simultânea é uma estratégia estabelecida pela empresa como consequência da busca de competitividade.

Dentro deste contexto estratégico, a engenharia simultânea vem ao encontro da nova competição. Nessa nova competição, a função engenharia deve possuir aperfeiçoamentos contínuos, integração da inovação e dos processos, baixos custos, tempos curtos de desenvolvimento e melhor realização das necessidades e expectativas do consumidor.

A engenharia simultânea tem alguns princípios básicos a serem seguidos que estão de acordo com as necessidades da nova competição. São eles:

- Responsabilidade com o cliente: as atividades devem ser dedicadas ao aumento da satisfação dos clientes e usuários, com uma identificação dos seus desejos e necessidades.
- Melhoramento contínuo do processo: princípio suportado pelo conceito de que a qualidade do produto é função de melhoramento do processo, e esta é uma atividade contínua.
- Estabelecimento de objetivos através de planejamento a longo prazo.
- Instituição de liderança.

Para conceituar os níveis de concorrência no processo, CLARK e WHEEL-WRIGHT apresentam quatro dimensões de comunicação, a saber: riqueza de meios de comunicação, frequência, direção, senso de oportunidade.

Os autores conceituam quatro modos de interação entre o fluxo de trabalho da atividade "anterior" e o fluxo de trabalho da atividade "posterior". Fluxo "anterior" e fluxo "posterior" são atividades que possuem uma relação de precedência, na qual o fluxo posterior tem seu início antecipado em relação ao fluxo anterior.

Esses modos de interação são níveis de simultaneidade entre os fluxos de trabalho. Complementando, KRISHNAN [37] apresenta uma descrição detalhada das

características das trocas de informações para operacionalizar a "sobreposição" (simultaneidade). O autor desenvolveu um método para mapear o processo de desenvolvimento de novos produtos que é útil para a avaliação das capacidades de processos existentes. Esse método é baseado nos conceitos de "evolução" e "sensibilidade" relacionados aos fluxos de trabalho superior e inferior. KRISHNAN [37] introduz dois conceitos:

- *Evolução das informações do fluxo "anterior"*: trata-se da velocidade em que as informações trocadas alcançam sua forma final. A evolução das informações geradas do fluxo anterior é rápida quando as informações conseguem sua forma final rapidamente e são transmitidas antecipadamente (precocemente) para a fase do fluxo posterior sem muitos problemas para a fase do fluxo anterior. A evolução é lenta se ocorrerem grandes penalidades na transmissão antecipada das informações do fluxo anterior para a fase do fluxo posterior. É interessante notar que a quantidade de alterações nas informações trocadas é uma função de sua evolução. Quanto mais rápida a sua evolução, menor a quantidade de alterações nas informações trocadas entre as fases.
- *Sensibilidade da fase do fluxo "posterior"*: trata-se da medida da duração do trabalho do fluxo posterior necessário para acomodar alterações das informações do fluxo anterior. A fase do fluxo posterior é considerada altamente sensível quando as fases são totalmente acopladas e é grande o trabalho necessário do fluxo posterior para incorporar pequenas alterações nas informações da fase do fluxo anterior.

Com base nesses dois conceitos, o autor apresenta uma estrutura para o desenvolvimento concorrente, conforme ilustra a Tabela 2.2.

onde:

Tabela 2.2: Estrutura para o desenvolvimento concorrente.

	Evolução lenta	Evolução rápida
Sensibilidade baixa	A	B
Sensibilidade alta	C	D

- (A) *Sobreposição iterativa*: Concorrência pela troca preliminar de informações de produto;
- (B) *Sobreposição distributiva*: Informações trocadas preliminarmente e finalização antecipada levam à simultaneidade;
- (C) *Sobreposição divisiva*: Baixíssima concorrência; informações desagregadas;
- (D) *Sobreposição preemptiva*: Concorrência pela finalização antecipada das informações do fluxo posterior.

2.5 Sobreposição de atividades

O ambiente dinâmico e de elevado grau de incerteza dos projetos requer, para seu gerenciamento eficaz, procedimentos avançados de planejamento e controle, resultados do processo de abordagem de modelagem de sistemas. Esta vê um projeto de larga escala como um sistema complexo, dentro do qual cada componente interage com outro através da troca de informações entre eles, com o intuito de entregar um produto de qualidade e dentro dos prazos e orçamentos especificados, para isso depende de entradas, processos e saídas, como pode ser visto na Figura 2.2.

A gestão de um projeto envolve uma gama bastante grande de atividades, onde o planejamento de prazos, planejamento de recursos, tais como equipamentos e pessoal, são de fundamental importância para a conclusão das atividades requeridas, atingindo um objetivo previamente estabelecido. Essa programação integra o

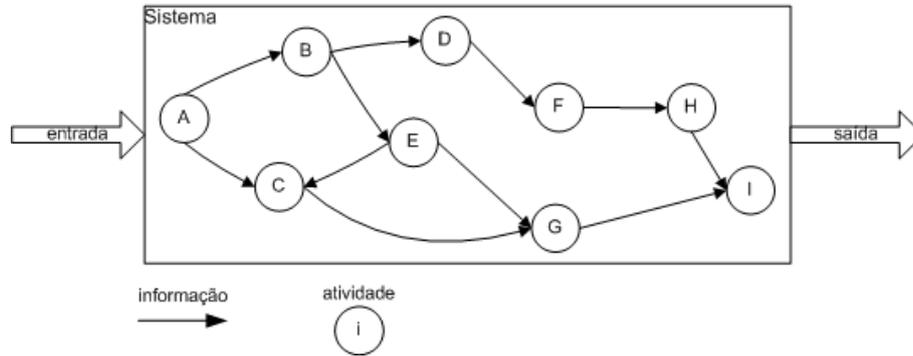


Figura 2.2: Visão sistêmica de um projeto.

fluxo de informações em diversos aspectos do projeto, e em várias formas ou sentidos, incluindo a duração estimada das atividades, a relação de precedência entre as diversas atividades, as restrições impostas pela disponibilidade de recursos e orçamento e o estabelecimento de datas e prazos, e são baseados em uma estrutura de divisão de trabalho (WBS, *Work Breakdown Structure*) [25] e [32]. Estas informações são processadas numa programação aceitável e por modelos apropriados, muito freqüentemente do tipo "rede". Outros autores ainda indicam a DSM (matriz estruturada de desenvolvimento) como a forma mais apropriada para se representar as dependências de informações entre atividades ([3],[5],[12],[42],[56],[57]) onde o fluxo de informações pode ser representado em diversas direções e não somente para atividades subseqüentes.

A etapa da estimativa da duração de uma atividade é conduzida em paralelo à alocação de recursos (pessoas, materiais e equipamentos) nas atividades, uma vez que existe uma relação intrínseca entre duração e quantidade de recursos [4], portanto há uma relação de troca entre tempo e custo de alocação desses recursos. A relação de troca existente entre tempo e custo é a correspondência entre o tempo de redução de uma atividade e o custo total que se dispõe de recursos para obter a redução, conforme afirmam ROEMER, AHMADI e WANG [49]:

"A diminuição do ciclo de vida dos produtos impele as firmas a criar e

planejar, desenvolver e vender mais produtos em menos tempo do que nunca antes. A sobreposição do design e do desenvolvimento em suas diversas fases, é freqüentemente citada como uma das estratégias mais eficazes para se reduzir o tempo de criação e desenvolvimento de novos produtos. Entretanto, a sobreposição geralmente requer recursos adicionais e que podem ser custosos".

Como explicitado acima que ciclos mais rápidos de desenvolvimento de produtos são freqüentemente caracterizados por atividades sobrepostas (overlapping), por exemplo, como a concepção normalmente está terminada antes da construção começar, a sobreposição até um certo grau, das duas atividades resultará na redução da duração do projeto. Contudo, começar a execução antes da concepção estar concluída pode também, resultar em um número aumentado de mudanças de comandos, perda subsequente da produtividade, aumentando os custos e perdendo tempo. Entretanto, estudos de projetos de construção revelaram que, quando havia mais mudanças em projetos com atividades sobrepostas, o número total de mudança de comandos não era significativamente diferente do que em projetos similares que não possuíam sobreposição de atividades, ainda assim o objetivo de redução do tempo total de execução do projeto era satisfatório [29].

Tradicionalmente, no desenvolvimento de um projeto as atividades se desenrolam em uma seqüência, às vezes em tarefas em um nível micro que estão ocultas [24], onde o progresso e a informação são acumulados gradativamente ao longo de estágios consecutivos.

Portanto, a estratégia de sobreposição de atividades com o objetivo de se reduzir a duração total do projeto tem merecido maior atenção dos especialistas nas últimas décadas de acordo com o volume de publicações a respeito na área de seqüenciamento de projetos e desenvolvimento de novos produtos.

Considerando-se tanto as atividades quanto as trocas de informações entre elas, é possível se classificar o padrão de execução das atividades de um projeto em três tipos, seqüencial, paralela ou sobreposta, que é o objeto de estudo deste trabalho. Como pode ser visto na Figura 2.3 para um processo com duas atividades, processos seqüenciais envolvem atividades subseqüentes seguindo suas antecessoras de um modo discretizado, ou seja, uma só começa quando a outra termina. Em processos paralelos, o emparelhamento das atividades é proporcionado pela independência na execução das mesmas, e as atividades podem ocorrer simultaneamente no tempo. Em processos de sobreposição, a interdependência é mantida porém as atividades são desenvolvidas simultaneamente, com freqüente troca de informações de acordo com intervalos pré-determinados [23].

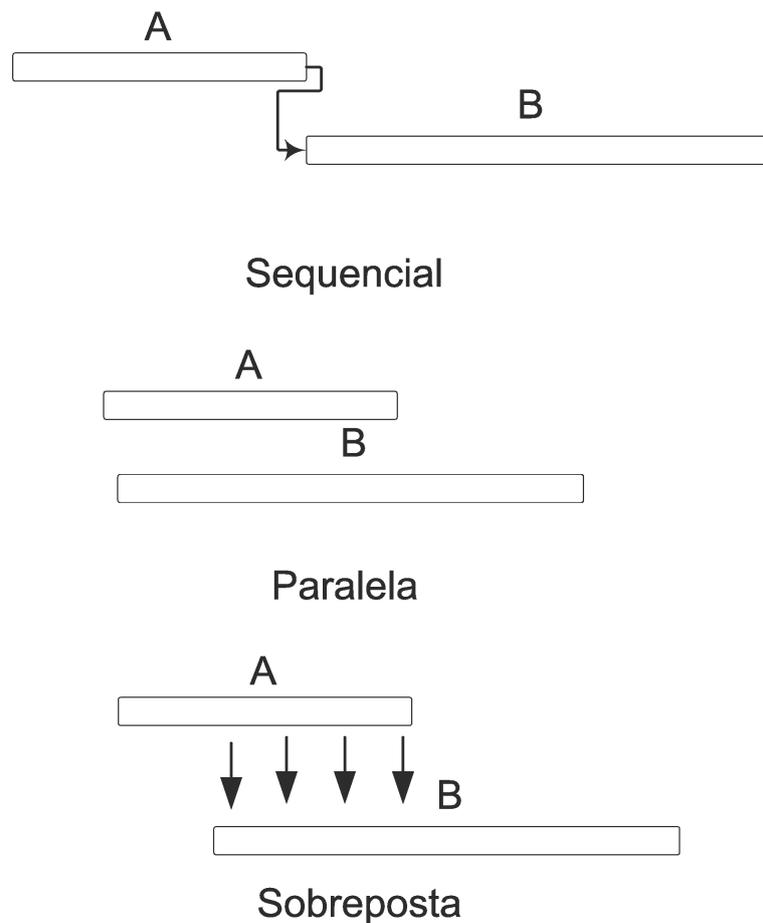


Figura 2.3: Padrões de execução de atividades em projetos

KRISHNAN [36] estabelece uma metodologia passo a passo para a sobreposição de atividades:

1. Mapeie o processo "as-is" como ele está. Quaisquer ferramentas de mapeamento de processos podem ser utilizadas, tais quais, redes, fluxogramas, matrizes de informação, etc. (conforme Figura 2.4).
2. Reduza a agregação das atividades para ver se qualquer informação está disponível previamente e, se disponível, verificar se ela é útil para a atividade subsequente. Agregue estas atividades cujo término não disponibiliza qualquer informação prévia a atividade que segue.
3. Modele as interações entre as atividades como restrições temporais. Identifique as atividades do caminho crítico (trocas críticas de informações no tempo).
4. Classifique cada troca crítica de informações no tempo segundo os conceitos de evolução e sensibilidade (entre devagar/rápida evolução e baixa/alta sensibilidade).
5. Utilize o esquema para a escolha da estratégia de sobreposição de atividades.
6. Aplique modelos detalhados para determinar como sobrepor atividades com base na troca de informações entre elas.
7. Atualize o processo e repita os passo de 3 a 6.

BROWNING et al. [9] desenvolveram uma revisão do trabalho de modelagem de processos de desenvolvimento de produtos que envolvam algum tipo de redução da duração. Também AHMADI et al. [3] fazem um apanhado das práticas de modelagem do processo de desenvolvimento de produtos e utilizam um modelo markoviano

simples para o processo de forma agregada. KRISHNAN et al. [38] então desenvolvem um esquema para ajudar *designers* e gestores a decidir *quando* e *como* sobrepor atividades reduzindo o prazo de desenvolvimento e fabricação de novos produtos enquanto assegura que os efeitos adversos na qualidade dos produtos e o esforço de engenharia de desenvolvimento são minimizados, e apresenta uma maneira de determinar como desagregar as informações de desenho e sobrepor estágios consecutivos através do emprego de uma matriz estruturada de desenvolvimento, baseados nas propriedades de sensibilidade e grau de evolução das trocas de informação.

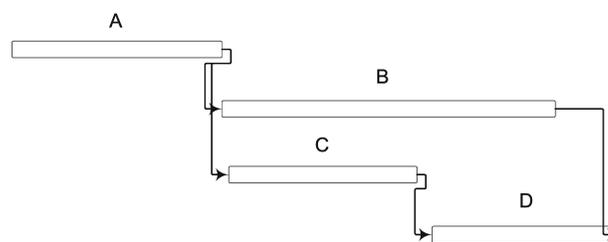


Gráfico Gantt

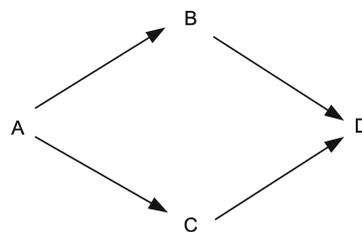


Diagrama de rede

	A	B	C	D
A				
B	X			
C	X			
D		X	X	

Matriz Estruturada de Informações

Figura 2.4: Representações das dependências entre atividades de projeto.

As dependências de informação entre as atividades constituem uma maneira de se estruturar a troca de informações no processo de desenvolvimento, e podem ser

modeladas como uma cadeia de Markov [3] e arranjadas dentro de uma matriz estruturada de desenvolvimento [12] e [42] que também serve de base para se estruturar o seqüenciamento do projeto. A estratégia de sobreposição difere da abordagem seqüencial pois os esforços da atividade subsequente se iniciam previamente, muitas vezes com pouca ou nenhuma informação disponível [49], e isso constitui um ponto capital para se estabelecer qual o grau de desenvolvimento da atividade predecessora, pois de uma forma agregada e determinística não se pode estabelecer qual a quantidade de informação e de completude esta atividade já alcançou.

Como resultado da aplicação da técnica de sobreposição, a duração das atividades individualmente normalmente aumenta, contudo só será compensatório se a duração total do projeto diminuir de acordo com o trabalho simultâneo em diferentes atividades. Então, começando-se uma atividade sem a informação completa de sua antecessora, assume-se no seqüenciamento do projeto que algumas atividades sobrepostas incorrerão em algum grau de retrabalho, necessário para se corrigir eventuais desvios e baixa qualidade, para tanto deve-se analisar constantemente a relação de troca entre custo e tempo, e que é discutida extensivamente na literatura de gestão de projetos, onde as atividades podem ser reduzidas através de recursos adicionais. Aqui vale ressaltar que, como a aceleração e a sobreposição de atividades objetivam a redução do tempo total do projeto, elas devem ser consideradas como alternativas ou complementares umas as outras [20].

NICOLETTI e NICOLÒ [47] desenvolveram um modelo de programação linear com uma visão de maximizar o fluxo de informações em projetos de engenharia simultânea, e estabelecem um método de se gerenciar recursos de projeto através de uma visão atômica do projeto, de suas atividades desagregadas. CHAKRAVARTY [11] faz uma análise das propriedades de sobreposições simples e múltiplas e seus impactos nas funções de custo do projeto.

Entender as diversas interrelações de informação em um ambiente de projeto, que é um ambiente complexo, tem sido um desafio e se tornado a base fundamental para se explicar diversos fenômenos dinâmicos que ocorrem no decorrer das atividades. Para tanto, as redes de interrelacionamento dentro de um projeto podem ser modeladas utilizando-se conceitos da mecânica estatística, fornecendo uma base para se analisar a estrutura da rede de fluxos de informações. BRAHA e BAR-YAM [8] demonstram como uma rede de um projeto de desenvolvimento de produtos pode ser modelada e sua topologia analisada e melhorada para tornar mais eficaz o processo de troca de informações entre as diversas partes envolvidas no projeto.

FORD e STERMAN [19] e MARUJO [43] comprovam através da aplicação de um modelo de Dinâmica de Sistemas que o desenvolvimento simultâneo de atividades não só aumenta a vulnerabilidade dos projetos com relação a mudanças e a erros necessitando de retrabalho, mas também aumenta a fração de trabalho realizado que necessita de mudanças. Contudo os ganhos em termos de redução do prazo final são latentes. AHMADI e ROEMER [4] apresentam um modelo de minimização para o emprego simultâneo da aceleração e da sobreposição de atividades em um projeto consistindo de atividades em série, analisando o impacto de diferentes parâmetros de evolução e sensibilidade.

ZHANG et al. [58] estabeleceram um método para se medir a força de acoplamento de atividades e para calcular a carga de trabalho bruta de cada atividade, determinando a melhor seqüência de cada par de atividades baseado na taxa de output, na taxa de mudança de parâmetros (dimensionais, materiais, etc) e no feedback de informações de parâmetros.

GERK e QASSIM [21] desenvolveram um modelo de programação mista inteira para a aceleração de projetos, empregando simultaneamente a aceleração, a sobreposição e a substituição de atividades em diversos tipos de projetos, considerando

que a fração de retrabalho requerida na aplicação da sobreposição é um parâmetro de entrada do modelo previamente conhecido e não obtido analiticamente.

2.6 Fluxo de informações

No contexto da Teoria da Informação, a idéia de fluxo de informação mede a quantidade de informação que flui de um estado X para um estado Y durante a execução de um dado processo. De um modo mais genérico, a presença de um problema é um estado de incerteza. Então, um problema pode ser inicialmente abordado em termos da incerteza inerente a ele, portanto, é definido como a incerteza antes do processo iniciado menos a incerteza após o término do mesmo processo. Então, a incerteza na informação de um processo é expressa por $H(X, Y)$, i.e. a entropia conjunta e pode ser calculada como definido por SHANNON [51], abaixo:

$$H(X, Y) = - \sum_{x,y} p_{x,y} \log(p_{x,y}) \quad (2.1)$$

A medida da entropia mostra o grau de arrumação interna da estrutura das mensagens produzidas pelo estado X para o estado Y . Quanto maior esta arrumação, menor a aleatoriedade e, portanto, menor o valor de H .

Portanto, o fluxo da informação é caracterizado por um canal de comunicação qualquer, o fluxo propriamente dito e sua medida de incerteza, a entropia. O canal de comunicação pode ser representado pela topologia da rede de informações, ou por uma parte dela, i.e. uma subrede, geralmente descrita sob a forma de um grafo G orientado ou não orientado, com vértices V e arcos E , os quais definem as direções do fluxo de informações e os pontos onde esta deve chegar ou é gerada [2].

2.6.1 O conceito da entropia da informação

De forma geral, os sistemas são compostos por uma grande quantidade de componentes distintas e perfeitamente separadas. A microanálise destas componentes pode ser então muito difícil. É possível, no entanto, prever com precisão adequada algumas das propriedades de um sistema complexo e desorganizado como um todo. Neste caso, assume-se o estado de um determinado sistema como uma média estatística dos vários estados em que se encontram seus componentes. Este tipo de análise é objeto de estudo da Mecânica Estatística onde, estudando os sistemas é possível prever propriedades macroscópicas dos mesmos partindo de um estado microscópico. Uma vez que os estados macroscópicos são compostos pela justaposição de um número extremamente elevado de níveis microscópicos, a melhor maneira de se avaliar os efeitos à nível macro é a do tratamento estatístico.

Neste contexto, é adequado observar que, em geral, quando se procura descrever o estado de um sistema pode-se ter as seguintes situações:

- uma descrição bem detalhada e completa, que permite chegar à especificação dos microestados do sistema, onde cada um representa uma descrição bem definida do sistema;
- uma descrição bem definida porém não tão detalhada quanto a anterior, permitindo especificar o mesoestado do sistema; muitos microestados podem corresponder a um mesoestado;
- uma descrição mais geral dada por um conjunto de informações sobre o sistema, dando origem a um macroestado;

Partindo da idéia de que um conjunto de microestados pode satisfazer ao macroestado do sistema, Boltzmann (como visto em KIMBER [35]) apresentou a definição estatística de entropia como sendo:

$$H = -K \sum f_i \ln f_i$$

onde f_i é a frequência relativa de ocorrência de cada microestado do sistema e K é uma constante positiva, chamada de *constante de Boltzmann*.

Considerando um certo evento E com uma probabilidade de ocorrência P , SHANNON [51], introduziu o conceito de *Entropia na Teoria Matemática da Informação*, segundo a expressão:

$$H(P) = -K \sum_i p_i \log(p_i)$$

portanto ela é uma medida da incerteza associada com uma série de eventos $i = 1, 2, \dots, n$ e cujas probabilidades de ocorrência são dadas pela distribuição de probabilidades $[P] = [p_1, p_2, \dots, p_n]$.

A medida $H[P]$ foi definida por Shannon como sendo a entropia da distribuição de probabilidades $[P]$; $H[P]$ é considerada como uma medida absoluta da incerteza associada com uma certa distribuição de probabilidades e representa uma maneira eficiente de caracterizar um macroestado de um sistema, que pode ser obtido a partir de uma série de diferentes microestados tendo, cada qual, uma certa probabilidade de ocorrência.

A entropia da informação demonstra dessa forma o grau de arrumação interna da estrutura da informação produzida ou transmitida. Quanto maior esta arrumação, menor a aleatoriedade da informação e, portanto menor o grau de entropia, $H(X)$.

Se existe um conjunto de possíveis eventos com probabilidades de ocorrência p_1, \dots, p_n , então pode-se encontrar uma medida que $H(p_1, p_2, \dots, p_n)$, e considerando que $p_i = \frac{n_i}{n}$ e que $\sum p_i = 1$, tem-se que:

$$H(1/n, 1/n, \dots, 1/n) = A(n)$$

Supõem-se que uma escolha de n possibilidades com probabilidades $p_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$ onde n_i são inteiros, e que n possibilidades de emissão com probabilidades p_1, p_2, \dots, p_n , pode-se igualar a escolha de símbolos total a partir de $\sum n_i$ da seguinte forma,

$$K \log \sum n_i = H(p_1, p_2, \dots, p_n) + K \sum p_i \log n_i$$

Então, como demonstrado no trabalho de Shannon,

$$\begin{aligned} H &= K \left[\sum p_i \log \sum n_i - \sum p_i \log n_i \right] \\ H &= -K \sum p_i \log \frac{n_i}{\sum n_i} \\ H &= -K \sum p_i \log p_i. \end{aligned} \tag{2.2}$$

A escolha do coeficiente K está relacionada com a conveniência do modelo e/ou de acordo com a unidade de medida, sendo que $K = 1$ é o mais comumente utilizado [41], [45].

Capítulo 3

Modelo de Desagregação de Atividades em Sub-Atividades

3.1 Considerações iniciais e premissas adotadas

Como pôde ser observado no Capítulo anterior, a análise registros de fluxogramas de processo para se modelar um fluxograma que seja o mais representativo, tem sido bastante utilizada na gestão de processos. Porém para se estabelecer um modelo de desagregação de atividades para projetos, será apresentado neste Capítulo um algoritmo formal para realizar tal procedimento.

Sendo a sobreposição uma técnica bastante útil para a redução do prazo do projeto, esta carrega em si uma questão fundamental: como determinar analiticamente a fração do retrabalho necessário para acomodar as mudanças? Esta tem sido uma lacuna em toda a literatura sobre projetos, bem como de projeto e desenvolvimento de produtos que este trabalho vem ao encontro, pois não existe nesta literatura um esquema que empregue a desagregação e parametrização de um modelo oculto markoviano ou semi-markoviano na determinação dos parâmetros das atividades de projeto, bem como no cálculo da fração de retrabalho quando dois modelos destes estão sobrepostos, conforme Figura 3.1.

Para tanto, algumas premissas devem ser adotadas, como as seguintes:

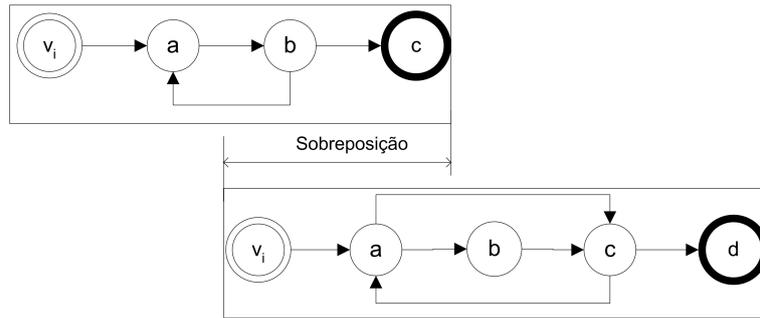


Figura 3.1: Sobreposição de dois modelos ocultos de Markov.

- As atividades a nível macro, têm características determinísticas;
- Cada atividade só é concluída quando completados um certo número de estados, que constituem as sub-atividades em um nível detalhado da atividade de projeto;
- Os tempos de duração para cada sub-atividade é uma média ponderada, e definida como a relação com o número de emissões de cada estado, tendo três dimensões: otimista, mais provável e pessimista;
- Não foi considerado neste estudo o modelo oculto markoviano da atividade subsequente, para fins de *feedback* ou que influenciasse o cálculo da probabilidade de mudança ou o impacto dessa mudança na atividade corrente;
- Cada atividade só pode ser sobreposta à sua predecessora imediata;
- Os recursos físicos e financeiros estão disponíveis sempre que necessário, portanto não influenciam nesta modelagem, porém constituem objeto de estudo de vasta literatura pois restringem diretamente as decisões dos gestores de projeto.

3.2 Notação matemática

- p denota a atividade predecessora agregada;

- q denota a atividade sucessora agregada;
- i denota a sub-atividade predecessora;
- j denota a sub-atividade sucessora;
- $K = \{1, \dots, |K_n|\}$ denota o conjunto de estados ocultos;
- $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ denota o conjunto de sub-atividades ou símbolos emitidos;
- $A = (a_{ij}) = P[S_t + 1 = k_j | S_t = k_i]$, com $1 \leq i, j \leq N$ denota a matriz de probabilidades de transição;
- S_t denota o estado no tempo t ;
- $P(V|M)$ denota a probabilidade da seqüência V de acordo com o modelo M ;
- $P^*(V|M)$ denota seqüência mais provável de V no modelo M ;
- $G = \{V, E\}$ denota o grafo G com as arestas $E = \{e_{1,2}, \dots, e_{n-1,n}\}$ e os nós V , representando o conjunto de sub-atividades;
- $\beta_{inc} = \{V, E\}$ denota a matriz de incidência do grafo G , onde:

$$\exists e_k = (i, j) \text{ if } \begin{cases} e_{i,k} = +1, \\ e_{r,k} = 0, \forall r \neq i, j, \\ e_{j,k} = -1 \end{cases}$$

- $Dur(V|M) = (d_{ij})$ denota os parâmetros de duração da seqüência de sub-atividades;
- τ_p denota o estado completado da atividade p ;
- δ_i denota a duração de cada sub-atividade;
- D_p denota o número do estado no qual a atividade p é completada;
- P_i denota a probabilidade de mudança de cada estado;

- $H(i)$ denota a entropia do estado;
- $S_{ij}(k_i)$ representa a quantidade de impacto devido às mudanças do estado k_i , em unidades de tempo;
- Edt_q denota o *extended design time*, isto é, a quantidade de retrabalho necessária, em unidades de tempo;
- L_q denota a fração de retrabalho necessária à atividade q ;
- HAZ denota a dimensão do raio da zona termicamente afetada que deve ser evitada pelo processo.

3.3 Modelo para desagregação de uma atividade

Para se determinar um modelo de desagregação de uma atividade, deve-se estabelecer que em um nível elementar, onde as atividades estão em um nível mais detalhado, descritas como sub-atividades i, j , ainda que ocultas aos responsáveis pelo projeto, estas seguem uma relação estrita de dependência segundo uma ordem definida, na qual o conjunto das sub-atividades, quando agregadas, representa a atividade em um nível macro determinístico, denominadas atividades p, q .

Proposição 1 *A relação entre a atividade e as sub-atividades, existe quando aquela contendo as sub-atividades em uma determinada ordem, produz o mesmo resultado esperado ou objetivado, e, para isso, o trabalho flui para uma outra atividade se o resultado destas sub-atividades tenha sido alcançado.*

Deve ser observado, entretanto, que no ambiente descrito anteriormente, não há a presença de sobreposição entre as atividades p, q , a visão é restrita a uma atividade isolada do projeto.

Proposição 2 *A atividade macro é determinística e pode conter vários conjuntos de seqüências de sub-atividades, enquanto que uma seqüência de sub-atividades só pode estar contida em uma única atividade macro.*

O nível detalhado da atividade é então modelado como um modelo oculto Markoviano (HMM - *hidden Markov model*), representado por um grafo acíclico $G = \{V, E\}$ em que cada nó $v \in V$ representa o símbolo emitido pelo estado oculto, descrevendo as sub-atividades que são desempenhadas, e o conjunto de arestas $e \in E$, representa as transições entre os símbolos emitidos. Cada sub-atividade é alocada a uma atividade, isto é $i \in p$. As atividades são então decompostas em sub-atividades, com um nó fonte e um nó sumidouro, ambos adicionados às emissões observadas, estabelecendo o início e o final de cada série de seqüências de observações, seguindo um modelo de fluxograma.

Para se estabelecer um modelo de execução das sub-atividades, uma abordagem indutiva para se construir o fluxograma é proposta, seguindo as quatro fases seguintes:

1. ***Fase da execução das sub-atividades detalhadas*** - nesta fase as sub-atividades são desenvolvidas usando um modelo genérico para guiar o desenvolvimento da atividade. Em situações não descritas pelo modelo genérico, os atores executam as sub-atividades necessárias e fazem registros das seqüências geradas, que representam o conhecimento de cada envolvimento no processo em questão.
2. ***Fase de indução do fluxograma*** - fase na qual um componente de aprendizado de máquina induz o fluxograma, com os símbolos das sub-atividades registrados na fase anterior, descrevendo consistentemente as observações. O fluxograma é, então, uma descrição de como o trabalho é normalmente reali-

zado, e não como o trabalho deveria ser realizado, de acordo com um objetivo específico do processo.

3. **Análise e melhoria do fluxograma** - como a prática comum não é necessariamente a melhor prática, o modelo deve ser analisado e melhorado. Isso é realizado por especialistas no processo em questão, que podem verificar as probabilidades conjuntas de cada seqüência gerada dentro do mesmo fluxograma, o que pode ser denominado como um algoritmo de Viterbi modificado, introduzido por STOLCKE [54].
4. **Determinação da duração da atividade e o melhor caminho** - após encontrar a seqüência mais provável de execução das sub-atividades oriunda da aplicação do algoritmo de Stolcke, ou algoritmo de Conjunção para um HMM, deve-se encontrar a duração mais curta, ou seja, dita otimista, $Dur_{opt}(V^*|M)$, a mais provável para um atividade agregada, $Dur(V|M)$, e a duração mais tardia ou pessimista, $Dur_{max}(V|M)$.

3.4 O algoritmo de conjunção para uma única atividade

Nesta seção, um algoritmo é desenvolvido para junção dos símbolos emitidos por cada estado, baseado na teoria dos grafos, onde a matriz de incidência β_{inc} descreve o caminho para a junção de símbolos idênticos emitidos que representam a mesma sub-atividade. STOLCKE [54] descreve o algoritmo que induz a estrutura e as probabilidades de transição das emissões em um HMM, para uma dada seqüência de observações de realizações no chão de fábrica. As entradas do algoritmo são as seqüências de observações que são dispostas em um grafo, onde a matriz de incidência pode ser lida (veja Figura 3.2), onde cada $NumObs$ representa o número de realizações observadas, e v_n representa o símbolo emitido pela sub-atividade do es-

tado oculto, sendo v_i e v_f adicionados como nó início e sumidouro, respectivamente.

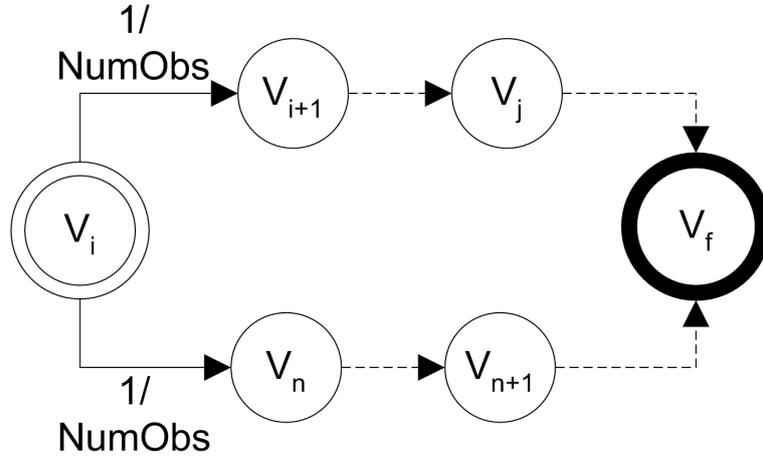


Figura 3.2: Grafo que descreve a seqüência de símbolos observados.

Aplicando-se o algoritmo na matriz de incidência, o modelo oculto Markoviano que melhor descreve o fluxograma é encontrado, resultando em um grafo, como o mostrado pela Figura 3.3, onde cada símbolo igual é unido e relacionado a um estado oculto, enquanto que as probabilidades de transição de cada símbolo é recalculada. O algoritmo de junção de estados é descrito pelo algoritmo 1.

Algorithm 1 Merge

Require: Matriz de incidência β_{inc} .

```

1: for  $i = 1 : m$  do
2:   for  $j = 1 : n$  do
3:      $NumPos = \sum_i \sum_j b_{i,k}; \forall b_{i,k} = +1$ 
4:      $NewProbTrans = \frac{1}{NumPos}$ 
5:      $NumNeg = \sum_j \sum_k b_{j,k}; \forall b_{j,k} = -1$ 
6:   end for
7: end for
8: for  $i = 1 : m$  do
9:   for  $j = 1 : n$  do
10:     $a_{ij} = NewProbTrans * NumNeg$ 
11:   end for
12: end for

```

O algoritmo de junção funciona da seguinte forma:

- Em primeiro lugar, para um par de emissões i, j , seja um arco que os conecte, i.e. $i \rightarrow j$, este será marcado com um valor $+1$ para i e com um valor -1 para j ;
- Para cada símbolo emitido os valores $+1$ são somados e armazenados em uma variável chamada $NumPos$, e para o mesmo símbolo os valores -1 são somados e armazenados em uma variável chamada $NumNeg$;
- Após estas duas fases, a nova probabilidade de transição, $NewProbTrans$, entre duas emissões, pode ser obtida dividindo-se a probabilidade original, i.e. a probabilidade inicial $1, 0$, pelo número de arcos positivos, que deixam cada símbolo;
- Com estes resultados a matriz de transições é então atualizada pela multiplicação na $NewProbTrans$ pelo $NumNeg$;
- A matriz de transições atualizada descreve como as emissões são observadas ao longo do tempo, e a probabilidade de ocorrência de cada estado, ou subatividade, que está oculta, não diretamente observada.

Após a matriz de transições ser obtida a partir de uma série de observações, pode-se avaliar o progresso da atividade, a probabilidade da fração de retrabalho, e a probabilidade de uma dada seqüência, como na expressão 3.1:

$$Pr(rework)_p = \prod_i \prod_j a_{ij} \quad \forall i \leq j \quad (3.1)$$

A expressão acima avalia a diagonal inferior da matriz de transições, e retorna a probabilidade conjunta de cada estado que emite o mesmo símbolo mais de uma vez.

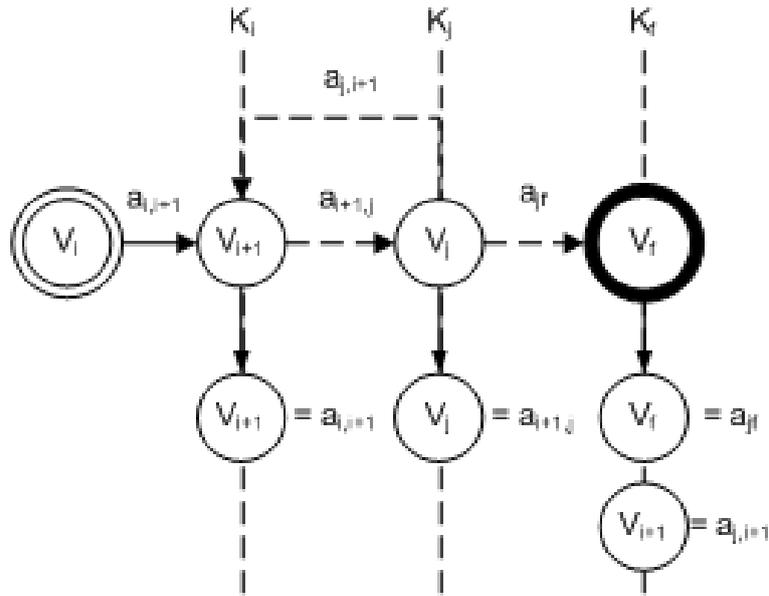


Figura 3.3: Grafo resultante que melhor descreve o fluxograma de uma atividade.

Para se calcular a probabilidade de uma dada seqüência de sub-atividades, utiliza-se a seguinte expressão:

$$\begin{aligned}
 P(v_i, v_{i+1} \dots v_k \dots v_j, v_f | M) &= p(v_i \rightarrow v_{i+1}) \cdot p(v_{i+1} \dots \rightarrow v_k) \\
 &\quad \cdot p(v_k \dots \rightarrow v_j) \cdot p(v_j \rightarrow v_f) \quad (3.2)
 \end{aligned}$$

3.5 Determinação dos parâmetros de uma atividade

Com a aplicação do algoritmo *Merge*, é possível calcular os parâmetros para uma atividade de projeto, tais quais, a duração otimista, $Dur_{opt}(V^*|M)$, a duração mais provável, $Dur(V|M)$, representada pela média ponderada das probabilidades com a duração e cada emissão, transformando o modelo oculto Markoviano em um modelo oculto semi-Markoviano (HSMM - *hidden semi-Markov model*) que leva em consideração a duração de cada sub-atividade [44]. Também se calcula a duração dita pessimista, a mais longa, $Dur_{max}(V|M)$, que leva em consideração a probabilidade de retrabalho na seqüência, obedecendo as expressões 3.3, 3.4 and 3.5.

$$Dur_{opt}(V^*|M) = \sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i \quad \forall i, j \in V^* \quad (3.3)$$

$$Dur(V|M) = \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i}{\sum_i \sum_j a_{ij}} \quad \forall j = i + 1 \quad (3.4)$$

$$Dur_{max}(V|M) = Dur(V|M) + \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i}{\sum_i \sum_j a_{ij}} \quad \forall j \leq i \quad (3.5)$$

3.6 O planejamento de caminho geometricamente restrito

Um problema a ser resolvido após a determinação de um fluxograma que descreva uma seqüência de sub-atividades, é achar um caminho possível que satisfaça um conjunto de restrições pré-definidas. No caso de um ambiente de construção mecânica em engenharia oceânica, uma restrição a ser considerada é a distância entre cada par de sub-atividades, obedecendo o *raio* da *zona termicamente afetada (HAZ)* por uma fonte de calor, e a matriz de probabilidade de transições que permite ou não a transição entre os estados representativos das sub-atividades.

De acordo com GUNARAJ e MURUGAN [22], a espessura da zona termicamente afetada é uma indicação da extensão das mudanças estruturais ocorridas durante o processo, que podem causar trincas e deformações ou distorções. O controle dimensional da *HAZ* se dá pelo controle das variáveis do processo e pela fonte de calor, então devem correlacionados através do desenvolvimento de um modelo matemático para se calcular a extensão da *HAZ*.

Os parâmetros do processo independentemente controláveis afetando a geometria da solda e sua qualidade são o parâmetro de voltagem (V) do arco elétrico, a alimentação do arame de solda (F) na máquina de soldagem, a velocidade do processo de soldagem (S) e a distância da ponta soldadora a placa a ser soldada (N). Estes permitem que se expresse a extensão da *HAZ*, como $HAZ = f(V, F, S, N)$, e então determinado em [22] como uma correlação empírica,

$$\begin{aligned}
HAZ = & 1.029 + 0.013 \cdot V + 0.144 \cdot F - 0.159 \cdot S - 0.05 \cdot N + \\
& 0.032 \cdot V^2 + 0.064 \cdot F^2 + 0.078 \cdot S^2 + 0.03 \cdot V \cdot F + \\
& 0.029 \cdot V \cdot N - 0.056 \cdot F \cdot S + 0.037 \cdot F \cdot N
\end{aligned} \tag{3.6}$$

Este esquema provê um dimensionamento para a *HAZ* que deve ser evitada. De acordo com a matriz de probabilidades de transição, é possível se delinear o caminho entre mais de dois estados evitando-se a *HAZ*, como mostrado na Figura 3.4, descrito pelo algoritmo 2.

O modelo que determina o caminho ótimo com a matriz de probabilidades de transição e a dimensão da *HAZ* é:

$$\min \sum_i \sum_j d_{ij} \tag{3.7}$$

sujeito a

$$\sum_i \sum_j d_{ij} > HAZ \tag{3.8}$$

$$\sum_i \sum_j p_{ij} > 0 \tag{3.9}$$

$$d_{ij}, p_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j = 1 \cdots n, \tag{3.10}$$

Note-se que a função objetivo descreve a minimização do caminho a ser percorrido, contudo deve-se respeitar as restrições seguintes, que tratam: (1) a restrição 3.8 faz com que o estado a ser visitado esteja fora da restrição proposta, no caso geométrica, e (2) a restrição 3.9 faz com que as probabilidades de transição entre estados sejam mantidas, ou seja, só há uma aresta factível se há probabilidade de que ela exista.

Esquemáticamente pode-se observar como um caminho com restrições geométricas pode ser desenvolvido, demonstrado na Figura 3.4.

Algorithm 2 GeomPath

Require: Matriz de Probabilidades de Transição.

Require: Matriz de Distâncias.

Require: HAZ .

```
1:  $Path_t = \{\}$ 
2: for  $i = 1 : n$  do
3:   for  $j = 1 : n$  do
4:     if  $p_{ij} > 0$  then
5:       if  $d_{ij} > HAZ$  then
6:          $d_T = \sum \min(d_{ij})$ 
7:          $Path_t = Path_{t-1} + d_{ij}$ 
8:       end if
9:     end if
10:  end for
11: end for
```

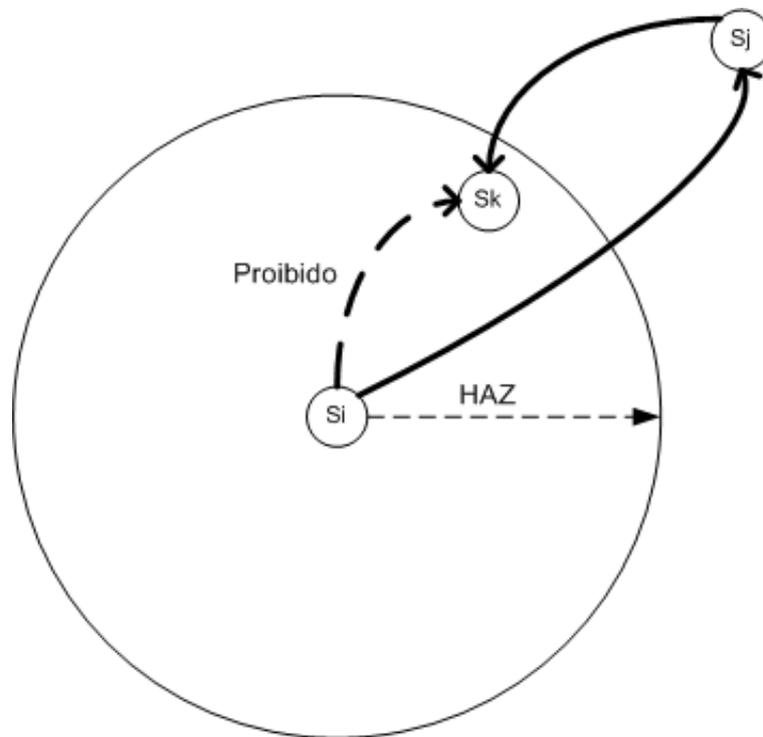


Figura 3.4: Representação esquemática da influência da HAZ no trajeto.

3.7 O modelo para duas atividades como sobreposição

Sejam duas atividades modeladas como modelos ocultos (semi) Markovianos, com um certo grau de sobreposição y_{pq} , define-se:

1. **Estado de completude de uma atividade** (D_p). Determina com quantos

estados, ou sub-atividades, a atividade será completada. Pode ser representado também, pelo número do estado final, que foi adicionado aos registros observados.

2. **Estado de evolução de uma atividade** (τ_p). Denota a evolução de uma dada atividade relacionado a um certo grau de sobreposição, e é medido em termos de quantidade de estados. Por conservadorismo, deve ser representado pelo menor inteiro da fração.

$$\tau_p = \left\lfloor \left(1 - \frac{y_{pq}}{Dur(V|M_p)} \right) \cdot D_p \right\rfloor \quad (3.11)$$

onde y_{pq} denota a fração de sobreposição de q em p .

3. **Probabilidade de mudanças** P_{pq} . Expressa a probabilidade de uma dada atividade p sofrer qualquer alteração em seus parâmetros, quando os estados estiverem sendo visitados $[(k_{i-1}, k_i)]$, afetando a atividade sucessora q . Seja a atividade p um conjunto de estados $\{k_1, k_2, \dots, k_p\}$, que emitem um conjunto de símbolos, denominado *alfabeto* designando o conjunto de sub-atividades m , a probabilidade de mudança de cada estado pode ser derivada do conceito de entropia da informação, introduzido por Shannon e outros (veja [6], [30], [35], [45] e [51]), onde há uma relação intrínseca entre a entropia da informação $H(k_i)$ e a probabilidade de mudança P_{pq} , então tem-se

$$H(k_i) = - \sum_a^n p_i(k_i) \log p_i(k_i) \quad (3.12)$$

sendo $p_{ij} = a_{ij}$, onde a_{ij} é a probabilidade de transição do estado i para o estado j , segundo a Figura 3.5.

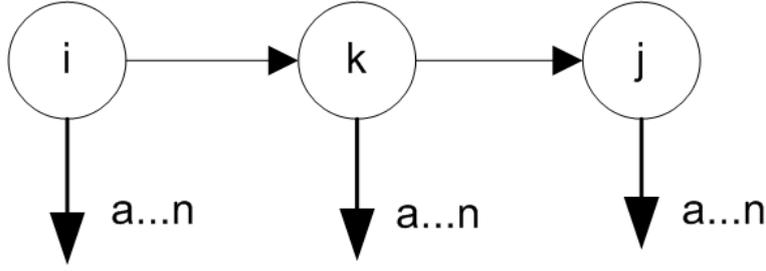


Figura 3.5: Representação dos estados e seus símbolos emitidos.

O somatório somente tem validade até o estado D_{p-1} , porque no último estado, D_p , toda a informação da atividade p está disponível, e tem-se a convenção de que para $p(ij) = 0$ assume-se por convenção que $0 \cdot \log 0 \equiv 0$.

Logo para cada estado tem-se uma expressão do somatório da entropia dos símbolos de cada estado. E a entropia dos conjuntos de estados a serem visitados será,

$$H(k_i k_j) = \sum_{k=1}^{D_{p-1}} H(k_i) \quad (3.13)$$

Portanto, tem-se a Probabilidade de mudanças P_{pq} para cada estado como,

$$P_{pq}(k_i) = \frac{H(k_i)}{\sum_{k=1}^{D_{p-1}} H(k_i)} \quad (3.14)$$

4. **Impacto das mudanças** ($S_{pq}(k_i)$). Determina a quantidade de tempo necessária a acomodar a mudança de parâmetros com probabilidade $P_{pq}(k_i)$, em um modelo oculto semi-Markoviano, pois considera as durações de cada símbolo emitido, e é dado por

$$S_{pq}(k_i) = P_{pq}(k_i) \cdot \sum_i^n \delta_i \cdot p_{ij}, \quad k_i \in \{1 \dots D_i - 1\} \quad (3.15)$$

onde δ_i é a duração de cada sub-atividade em unidades de tempo e n é o número de símbolos emitidos em determinado estado.

5. **Extended Design Time** (Edt_q). O conceito do *extended design time* é influenciado pela entropia da informação transmitida entre as atividades. Pode ser determinado como o somatório da magnitude do impacto das mudanças de cada estado, em unidades de tempo,

$$Edt_q = \sum_{k_i=\tau_p}^{k_j=D_p} S_{pq}(k_i), \quad \tau_p < D_p \quad (3.16)$$

6. **Fração de retrabalho** (L_q). Determina a fração de retrabalho necessária pela atividade q que foi sobreposta pela atividade antecessora p em uma certa quantidade y_{pq} . É uma relação entre o *extended design time* e a duração mais provável $Dur(V|M_q)$ da atividade q , como se segue

$$L_q = \frac{Edt_q}{Dur(V|M_q)} \quad (3.17)$$

Para alguns autores, a fração de retrabalho é obtida através de entrevistas com especialistas ou de uma maneira empírica (p.e. [57], [56] e [58]).

Capítulo 4

Exemplos Numéricos

Neste capítulo serão apresentados quatro exemplos para ilustrar e demonstrar a aplicabilidade dos modelos e dos conceitos desenvolvidos previamente. Nos dois primeiros exemplos, apenas uma atividade é analisada e seus parâmetros de duração otimista, mais provável e pessimista, são determinados também, a seqüência de sub-atividades mais provável e a probabilidade de retrabalho intrínseco à atividade, fruto de uma série de observações do seu desenvolvimento.

No terceiro exemplo, duas atividades que foram modeladas estão sob um determinado grau de sobreposição entre elas. É então analisada a influência deste grau de sobreposição na duração da atividade subsequente, e seu impacto na duração da mesma, onde se é determinada a fração de retrabalho e o *extended design time*.

No quarto e último exemplo, se faz a demonstração de um planejamento de um caminho probabilístico, levando-se em consideração a restrição do tipo geométrica, que irá influenciar a seqüência de estados a serem visitados para uma atividade isoladamente.

4.1 Modelo de fluxograma de uma única atividade

4.1.1 Determinação dos parâmetros da Atividade 1

Seja uma atividade determinística, a nível macro, onde o grafo de observações tem dois ramos de realizações registradas em um grafo direcionado, chamados de con-

juntos de sub-atividades, como visto na Figura 4.1, onde cada nó representa uma sub-atividade que foi realizada. Após a entrada dos dados do grafo, o Algoritmo 1 define o novo modelo de fluxograma, através da matriz de incidências do Grafo 1, β_{inc_1} conforme visto na Figura 4.2.

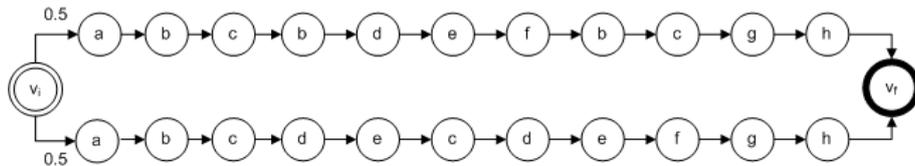


Figura 4.1: Um par de seqüências de observações da Atividade 1.

Pode-se ver, portanto, que o número total de estados é igual ao número de símbolos emitidos, representando cada sub-atividade, contudo estes podem ser emitidos mais de uma vez em estados diferentes.

	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10	e11	e12	e13	e14	e15	e16	e17	e18	e19	e20	e21	e22	e23	e24	e25	e26	e27	e28
vi	1						1					1								1								
a	-1	1		-1	1		-1	1				-1	1		-1	1				-1	1		-1	1		-1	1	
b		-1	1					-1	1				-1	1		-1	1				-1	1		-1	1			
c											-1								-1									
d			-1	1	-1	1			-1	1	1			-1	1			-1	1	1			-1	1		-1	1	1
vf						-1					-1									-1								-1

Figura 4.2: Planilha representativa da matriz de incidência β_{inc_1} .

Aplicando-se o Algoritmo 1, conforme descrito no Apêndice A para se achar o modelo oculto markoviano que melhor define a seqüência de sub-atividades, o resultado do modelo é uma matriz de probabilidades de transição entre os estados, conforme visto na Tabela 4.1.

O HMM que melhor descreve o modelo de fluxograma para a Atividade 1 é mostrado na Figura 4.3. Este mostra os estados ocultos ($K_1 = \{V_i, A, B, C, D, E, F, G, H, V_f\}$) e os símbolos emitidos com sua probabilidade de ocorrência, ou seja, as sub-atividades sendo realizadas.

Tabela 4.1: Matriz de probabilidade de transições para a Atividade 1.

	v_i	a	b	c	d	e	f	g	h	v_f
v_i	1.00									
a		1.00								
b			1.00	0.75	0.25					
c			0.25	1.00	0.50			0.25		
d					1.00					
e				0.33		1.00	0.67			
f			0.50				1.00			
g								1.00		
h									1.00	
v_f										1.00

Portanto as sub-atividades, que são as emissões feitas em cada estado, podem ser vistas na Tabela 4.2.

Após o melhor modelo de fluxograma ter sido encontrado, a probabilidade de retrabalho intrínseca à atividade e os parâmetros de tempo devem ser calculados, tomado-se por base um modelo HMM que considera as durações individuais de cada sub-atividade, o que o torna em um modelo oculto semi-markoviano de sub-atividades.

A probabilidade intrínseca de retrabalho é então calculada com a matriz diagonal inferior da Tabela 4.1, a partir das probabilidades de transição $\forall i \leq j'$, representando

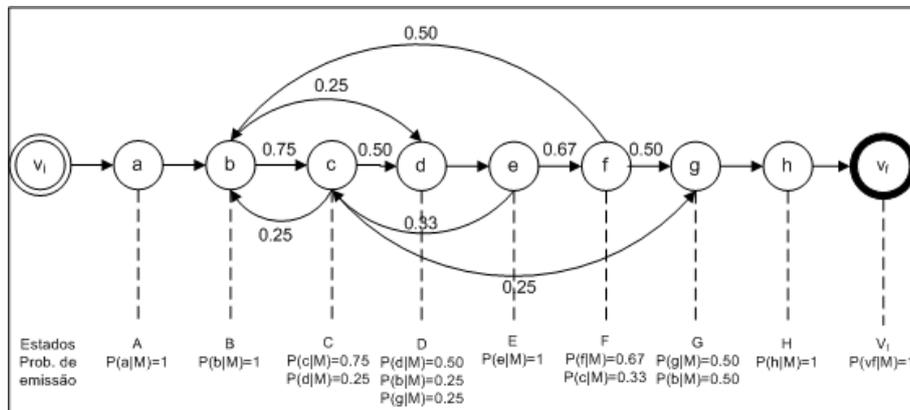


Figura 4.3: HMM que representa o modelo de fluxograma para a Atividade 1.

Tabela 4.2: Emissões de cada estado para a Atividade 1.

Estados	Sub-atividades	Probabilidade
V_i	v_i	1,00
A	a	1,00
B	b	1,00
C	c	0,75
	d	0,25
D	d	0,50
	b	0,25
	g	0,25
E	e	1,00
F	f	0,67
	c	0,33
G	g	0,50
	b	0,50
H	h	1,00
V_f	v_f	1,00

a probabilidade de retrabalho inerente aos registros de atividades realizados.

$$Pr(rework)_1 = \prod_i \prod_j a_{ij} \quad \forall j \leq i$$

$$Pr(rework)_1 = (0,25) \cdot (0,33) \cdot (0,50)$$

$$Pr(rework)_1 = 0,04$$

Para se encontrar a seqüência mais provável de sub-atividades do modelo, calcula-se a probabilidade conjunta dos estados que aparecem na diagonal $i = j+1$ da matriz de probabilidades de transição,

$$P(abcdefghv_f|M_1) = p(v_i \rightarrow a) \cdot p(a \rightarrow b) \cdots p(g \rightarrow h) \cdot p(h \rightarrow v_f)$$

$$P(abcdefghv_f|M_1) = (1,00) \cdot (1,00) \cdot (0,75) \cdot (0,50) \cdot (1,00) \cdot (0,67) \cdot (0,50) \cdot (1,00) \cdot (1,00)$$

$$P(abcdefghv_f|M_1) = 0,13$$

ou seja, 13% é a probabilidade do fluxograma seguir a ordem $\{a, b, c, d, e, f, g, h, v_f\}$ sem nenhum retorno ou retrabalho.

De posse dos dados das durações individuais de cada sub-atividade, $\Delta = (2,08; 1,97; 1,98; 1,90; 2,03; 1,96; 1,86; 2,02; 2,13)$ em unidades de tempo obtidas através do processo de se registrar as execuções, a duração mais provável, a duração máxima ou pessimista e a duração mínima ou otimista podem ser obtidas. Anteriormente era feito de forma empírica pelos especialistas da indústria, visto que, a aplicação do modelo se condiciona anão existência desses especialistas, ou ao desconhecimento por parte desses das características do processo a ter sua duração avaliada.

$$\begin{aligned}
 Dur(V|M_1) &= \frac{\delta_a \cdot p(v_i \rightarrow a) + \dots + \delta_h \cdot p(h \rightarrow v_f)}{a_{v_i a} + \dots + a_{h v_f}} \\
 Dur(V|M_1) &= (1,00 \cdot 2,08) + (1,00 \cdot 1,97) + \left(\frac{(0,75 \cdot 1,98) + (0,25 \cdot 1,86)}{(0,75 + 0,25)} \right) + \\
 &+ \left(\frac{(0,50 \cdot 1,90) + (0,25 \cdot 1,97)(0,25 \cdot 1,86)}{(0,50 + 0,25 + 0,25)} \right) + (1,00 \cdot 2,03) + \\
 &+ \left(\frac{(0,67 \cdot 1,96) + (0,33 \cdot 1,98)}{(0,67 + 0,33)} \right) + \left(\frac{(0,50 \cdot 1,86) + (0,50 \cdot 1,97)}{(0,50 + 0,50)} \right) + \\
 &+(1,00 \cdot 2,02) + (1,00 \cdot 2,13)
 \end{aligned}$$

$$Dur(V|M_1) = 16,05u.t.$$

Portanto a duração mais provável para a Atividade 1 é de 16,05 u.t.

A duração máxima ou pessimista pode ser determinada através da soma da duração mais provável e a multiplicação das probabilidades na diagonal inferior da matriz de probabilidades de transição, conforme os cálculos a seguir,

$$\begin{aligned}
 Dur_{max}(V|M_1) &= Dur(V|M_1) + \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i}{\sum_i \sum_j a_{ij}} \quad \forall j \leq i \\
 Dur_{max}(V|M_1) &= 16,05 + \frac{(1,97 \cdot 0,25) + (1,98 \cdot 0,33) + (1,97 \cdot 0,50)}{(0,25 + 0,33 + 0,50)}
 \end{aligned}$$

$$Dur_{max}(V|M_1) = 18,03u.t.$$

Portanto a duração máxima da Atividade 1 será de 18,03 u.t.

A duração mais curta, ou otimista é obtida a partir da seqüência mais provável de símbolos emitidos relacionando-a com a duração de cada emissão,

$$\begin{aligned}
 Dur_{opt}(V^*|M_1) &= \sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i \quad \forall i, j \in V^* \\
 Dur_{opt}(V^*|M_1) &= (1,00 \cdot 2,08) + (1,00 \cdot 1,97) + (0,75 \cdot 1,98) + \\
 &\quad + (0,50 \cdot 1,90) + (1,00 \cdot 2,03) + \\
 &\quad + (0,67 \cdot 1,96) + (0,50 \cdot 1,97) + \\
 &\quad + (1,00 \cdot 2,02) + (1,00 \cdot 2,13)
 \end{aligned}$$

$$Dur_{opt}(V^*|M_1) = 14,90u.t.$$

4.1.2 Determinação dos parâmetros da Atividade 2

Para uma segunda atividade, chamada Atividade 2 a nível macro com características determinísticas, também se faz necessário a observação do grafo constituído de quatro seqüências de observações de registros de sub-atividades, como pode ser visto na Figura 4.4.

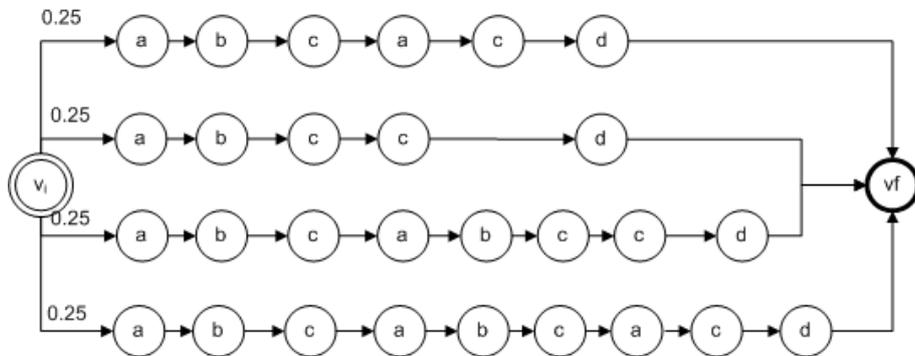


Figura 4.4: Série de observações realizadas para a Atividade 2.

Com as seqüências de observações feitas, se extrai a matriz de incidência do Grafo 2 através da aplicação do Algoritmo 1, definindo o modelo de fluxograma que descreve a seqüência de sub-atividades oriundas dos registros.

A matriz de incidência β_{inc2} descreve então como as sub-atividades estão dispostas na rede, conforme visto na Figura 4.5.

	e1	e2	e3	e4	e5	e6	e7	e8	e9	e10	e11	e12	e13	e14	e15	e16	e17	e18	e19	e20	e21	e22	e23	e24	e25	e26	e27	e28
vi	1						1						1								1							
a	-1	1		-1	1		-1	1				-1	1		-1	1				-1	1		-1	1		-1	1	
b		-1	1					-1	1				-1	1		-1	1				-1	1		-1	1		-1	1
c										-1								-1										
vf			-1	1	-1	1			-1	1	1			-1	1		-1	1	1			-1	1		-1	1	-1	1
						-1					-1							-1										-1

Figura 4.5: Planilha representativa da matriz de incidência β_{inc2} da Atividade 2.

Aplicando-se o Algoritmo 1, conforme explicitado no Apêndice B, para se achar o modelo oculto markoviano que melhor define a seqüência de sub-atividades para a Atividade 2, o resultado do modelo é uma matriz de probabilidades de transição entre os estados, conforme visto na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Matriz de probabilidades de transição para a Atividade 2.

	v_i	a	b	c	v_f
v_i	1.00				
a			0.75	0.25	
b				1.00	
c		0.40		0.20	0.40
v_f					

O HMM que melhor descreve o modelo de fluxograma para a Atividade 2 é mostrado na Figura 4.6, com suas probabilidades de transição e os símbolos emitidos. Este mostra os estados ocultos ($K_2 = \{V_i, A, B, C, V_f\}$) e as emissões com sua probabilidade de ocorrência, ou seja, as sub-atividades sendo realizadas.

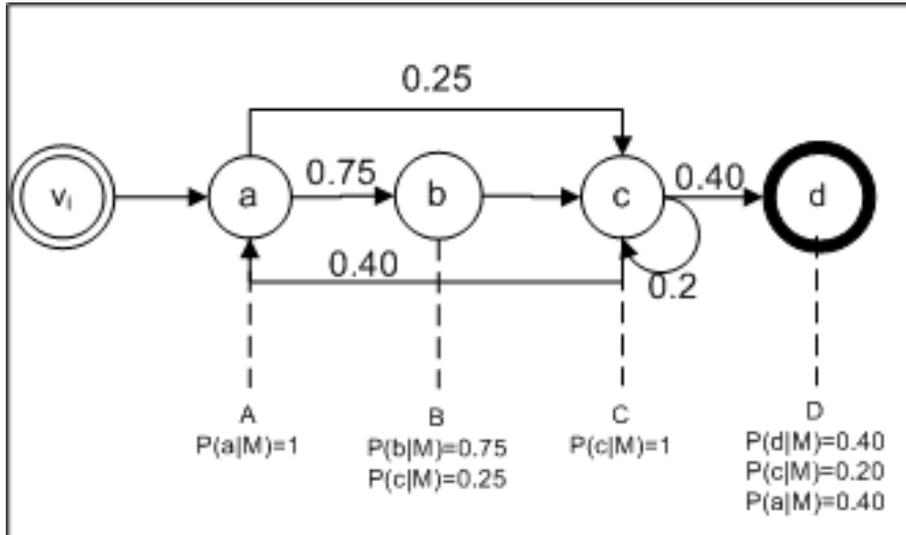


Figura 4.6: HMM que representa o fluxograma para a Atividade 2.

Na Tabela 4.4 podem ser observadas as probabilidades de emissão de cada símbolo, ou sub-atividade.

Para se encontrar a seqüência mais provável de sub-atividades, é necessária a multiplicação das probabilidades conjuntas, na diagonal da matriz de probabilidade de transições, onde $j = i + 1$.

$$\begin{aligned}
 P(abcv_f|M_2) &= p(v_i \rightarrow a) \cdot p(a \rightarrow b) \cdots p(c \rightarrow v_f) \\
 &= 1,00 \cdot 0,75 \cdot 1,00 \cdot 0,40
 \end{aligned}$$

$$P(abcv_f|M_2) = 0,30$$

ou seja, 30% é a probabilidade da seqüência $\{a, b, c, v_f\}$ ocorrer.

Após o melhor modelo de fluxograma ter sido encontrado, a probabilidade de retrabalho intrínseca à atividade e os parâmetros de tempo devem ser calculados tomando-se por base um modelo HMM que considera as durações individuais de cada sub-atividade, o que o torna um modelo oculto semi-markoviano de sub-atividades.

Tabela 4.4: Emissões de cada estado para a Atividade 1.

Estados	Sub-atividades	Probabilidade
V_i	v_i	1,00
A	a	1,00
B	b	0,75
	c	0,25
C	c	1,00
V_f	a	0,40
	c	0,20
	v_f	0,40

A probabilidade de retrabalho intrínseca à Atividade 2 é calculada a partir dos dados da diagonal inferior da matriz de probabilidades de transição, ou seja, Tabela 4.3.

$$\begin{aligned} Pr(rework)_2 &= \prod_i \prod_j a_{ij} \\ &= (0,40) \cdot (0,20) \end{aligned}$$

$$Pr(rework)_2 = 0,08$$

Portanto a probabilidade de retrabalho oriundo da performance das sub-atividades é de 0,08 ou 8%.

Dados os parâmetros de duração para cada sub-atividade, $\Delta = (3.84, 3.96, 4.00, 3.88)$ em unidades de tempo, os parâmetros necessários para o cronograma do projeto onde a Atividade 2 está inserida, isto é, a duração pessimista, a mais provável e a otimista, podem ser calculadas.

$$\begin{aligned} Dur(V|M_2) &= \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i}{\sum_i \sum_j a_{ij}} \quad \forall j = i + 1 \\ Dur(V|M_2) &= \frac{\delta_a \cdot p(v_i \rightarrow a) + \dots + \delta_{v_f} \cdot p(c \rightarrow v_f)}{a_{v_i a} + \dots + a_{c v_f}} \\ Dur(V|M_2) &= (1,00 \cdot 3,84) + \left(\frac{(0,75 \cdot 3,96) + (0,25 \cdot 4,00)}{(0,75 + 0,25)} \right) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +(1,00 \cdot 4,00) + \left(\frac{(0,40 \cdot 3,84) + (0,20 \cdot 4,00) + (0,40 \cdot 3,88)}{(0,40 + 0,20 + 0,40)} \right) \\
Dur(V|M_2) & = 15,69u.t.
\end{aligned}$$

Portanto, a duração mais provável para a Atividade 2 é de 15,69 u.t.

A duração máxima, ou pessimista, é então calculada a partir da duração mais provável e a multiplicação da diagonal inferior da matriz de probabilidades e suas respectivas durações, como segue,

$$\begin{aligned}
Dur_{max}(V|M_2) & = Dur(V|M_2) + \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i}{\sum_i \sum_j a_{ij}} \quad \forall j \leq i \\
Dur_{max}(V|M_2) & = 15,69 + \left(\frac{(0,40 \cdot 3,84) + (0,20 \cdot 4,00)}{(0,40 + 0,20)} \right) \\
Dur_{max}(P|M_2) & = 19,59u.t.
\end{aligned}$$

E a duração otimista, ou mais curta é uma função da seqüência de sub-atividades mais provável,

$$\begin{aligned}
Dur_{opt}(V^*|M_2) & = \sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i \\
Dur_{opt}(V^*|M_2) & = (1,00 \cdot 3,84) + (0,75 \cdot 3,96) + \\
& \quad +(1,00 \cdot 4,00) + (0,40 \cdot 3,88) \\
Dur_{opt}(V^*|M_2) & = 15,64t.u.
\end{aligned}$$

ou seja, 15,64 u.t. é a duração mais curta da Atividade 2.

Em resumo, a Tabela 4.5, demonstra os resultados das seqüências mais prováveis, as probabilidades intrínsecas de retrabalho e os parâmetros de duração para as Atividades 1 e 2.

Tabela 4.5: Resumo dos parâmetros calculados para as Atividades 1 e 2.

	Atividade 1	Atividade 2
Seqüência mais Provável	$a, b, c, d, e, f, g, h, v_f$	a, b, c, v_f
P(seqüência)	0,13	0,30
P(retrabalho)	0,04	0,08
Duração mais provável (u.t.)	16,05	15,69
Duração máxima (u.t.)	18,03	19,59
Duração mínima (u.t.)	14,90	15,64

4.2 Análise dos efeitos da sobreposição sobre duas atividades

Dado um certo grau de sobreposição da Atividade 2 sobre a Atividade 1, denominado $y_{12} = 5$ u.t., o impacto das mudanças da Atividade 1 na Atividade 2 devem ser calculados através da premissa de que a Atividade 1 não foi terminada e portanto o fluxo de informações para a Atividade 2 está incompleto.

A primeira análise a ser feita é determinar o estado que está completo na Atividade predecessora 1 no intuito de se avaliar a quantidade de informação disponível e quanto ainda da atividade poderá sofrer alterações. Então tem-se o grau de completude da Atividade 1 como,

$$\begin{aligned}\tau_1 &= \left[\left(1 - \frac{y_{12}}{Dur(V^*|M_1)} \right) \cdot D_1 \right] \\ \tau_1 &= \left[\left(1 - \frac{5}{16,05} \right) \cdot 9 \right] \\ \tau_1 &= 6\end{aligned}$$

que indica em qual estado a sobreposição será iniciada, ou seja, transcorridos 6 estados a partir do estado inicial v_i está planejada o início da sobreposição.

D_1 representa a quantidade de estados para se terminar por completo a Atividade 1, isto é 9 estados representados por $k = \{V_i, A, B, C, D, E, F, G, H, V_f\}$, notando-se que o estado inicial serve somente como marco, sem ter nenhum efeito no cálculo,

pois não representa uma atividade de fato.

Portanto pode-se calcular a entropia existente entre os estados 6 e 9, da Atividade 1, levando-se em conta os símbolos emitidos,

$$\begin{aligned}
 H(6) &= -(0,67 \cdot \log(0,67) + 0,33 \cdot \log(0,33)) \\
 &= 0,2754 \\
 H(7) &= -(0,50 \cdot \log(0,50) + 0,50 \cdot \log(0,50)) \\
 &= 0,3010 \\
 H(8) &= H(9) = 0 \\
 H(6,9) &= 0,5764
 \end{aligned}$$

E o cálculo das probabilidades de mudança que cada estado tem, será

$$\begin{aligned}
 p(6) &= \frac{0,2754}{0,5764} = 0,4778 \\
 p(7) &= \frac{0,3010}{0,5764} = 0,5222 \\
 p(8) &= p(9) = 0
 \end{aligned}$$

Com os valores de τ_1 , a duração de cada sub-atividade e $p_{6...9}$, o impacto das mudanças para cada estado é:

$$\begin{aligned}
 s(6) &= p(6) \cdot \sum_i^n \delta_i \cdot p_{ij} \\
 &= 0,4778 \cdot (1,96 \cdot 0,67 + 1,98 \cdot 0,33) \\
 &= 0,9396u.t. \\
 s7 &= p(7) \cdot \sum_i^n \delta_i \cdot p_{ij} \\
 &= 0,5222 \cdot (1,86 \cdot 0,50 + 1,97 \cdot 0,50)
 \end{aligned}$$

$$= 1,0000u.t.$$

representando as variações em unidades de tempo para cada sub-atividade.

Somando-se, então, os valores dos impactos das mudanças, pode-se determinar o *extended design time* Edt_2 para a Atividade 2,

$$\begin{aligned} Edt_2 &= \sum_{\tau_1}^{D_1} s_{ij} \\ &= 0,9396 + 1,0000 \end{aligned}$$

$$Edt_2 = 1,9396u.t.$$

portanto o impacto das mudanças na Atividade 1 em termos de unidades de tempo na Atividade 2 é de 1,9078 u.t. e levando-se em conta a duração mais provável da Atividade 2, $Dur(V|M_2) = 15,698$, tem-se a fração de retrabalho provocada pela sobreposição das atividades, tal que

$$\begin{aligned} L_2 &= \frac{Edt_2}{Dur(V|M_2)} \\ &= \frac{1,9396}{15.698} = 0,1236 \\ L_2 &= 12,36\% \end{aligned}$$

Sumarizando-se os resultados na Tabela 4.6 os parâmetros que são provenientes da sobreposição, verifica-se o impacto da mesma em termos de unidades de tempo e percentualmente.

Tabela 4.6: Resumo dos parâmetros de impacto em função da sobreposição.

Variável	Valor	Unidade
Sobreposição	6-9	estados
τ_1	6	estados
D_1	9	estados
$H(6)$	0,2754	
$H(7)$	0,3010	
$H(8) = H(9)$	0	
$H(6, 9)$	0,5764	
$P(6)$	0,4778	
$P(7)$	0,5222	
$P(8) = P(9)$	0	
δ_6	1,9666	u.t.
δ_7	1,9150	u.t.
$s(6)$	0,9396	u.t.
$s(7)$	1,0000	u.t.
Edt_2	1,9396	u.t.
$Dur(V M_2)$	15,698	u.t.
L_2	0,1236	12,36%

4.3 Determinação do caminho probabilístico geometricamente restrito para uma atividade

Para determinação do caminho probabilístico geometricamente restrito, será tomado como exemplo no contexto da Engenharia Naval e Oceânica, um caso hipotético onde uma placa de aço precisa ter seus quatro vértices soldados, como mostrado na Figura 4.7, com 4 estados representando os pontos de soldagem.

As distâncias entre esses pontos de soldagem, em mm , estão representadas na Tabela 4.7,

A matriz de probabilidades de transição entre os pontos de soldagem, que deve ser respeitada, pode ser vista na Tabela 4.8, ela restringe o caminho da soldagem, entre os estados que são permitidos de serem visitados com $p \geq 0$.

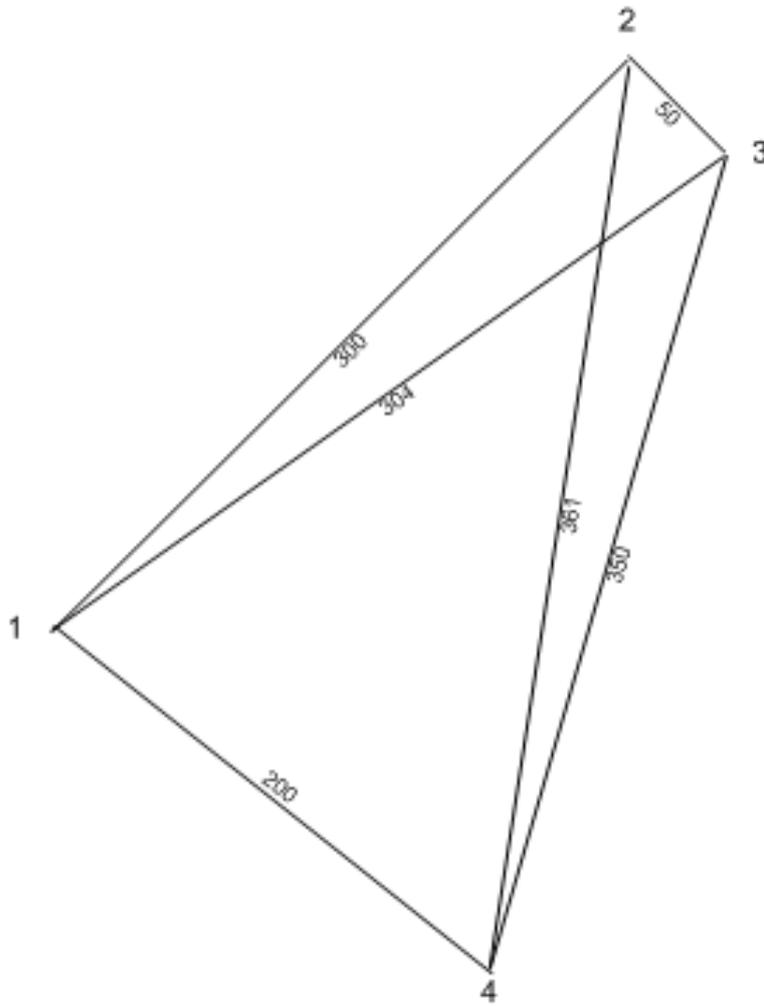


Figura 4.7: Os 4 estados da placa representando os pontos de soldagem e suas distâncias.

Os parâmetros de processo independentemente controláveis que afetam a geometria e a qualidade da junta soldada são a voltagem do arco de solda (V), a taxa de alimentação do arame (F), a velocidade de soldagem (S), e a distância entre o bico da solda e a placa (N), e seguindo os parâmetros descritos na Tabela 4.9.

Aplicando-se, portanto, o Algoritmo 2 sob as condições dispostas na Tabela 4.9, e explicitado no Apêndice C, tem-se um caminho que deverá ser percorrido pelo ponto de solda, que deve ser $Path = 3, 1, 2, 4$ com um tamanho de percurso de $d_T = 965mm$, e probabilidade $P_{path} = 0,15$, conforme a Figura 4.8.

Tabela 4.7: Distâncias entre os pontos de soldagem em *mm*.

	1	2	3	4
1	-	300	304	200
2	300	-	50	361
3	304	50	-	350
4	200	361	350	-

Tabela 4.8: Matriz de probabilidades de transição entre os pontos de soldagem.

	1	2	3	4
1	-	0,75	0,25	-
2	-	-	0,50	0,50
3	0,40	-	0,20	0,40
4	-	-	-	-

Tabela 4.9: Parâmetros de controle de processo de soldagem elétrica a arco.

Parâmetro	unidade	valor
V	volts	28
F	m/min	1,16
S	m/min	0,59
N	mm	35

De posse destas informações, modificações na estimação dos parâmetros da atividade que contém o modelo descrito acima devem ser feitas. Necessita-se para tanto das durações individuais de cada sub-atividade $\Delta = (3.84, 3.96, 4.00, 3.88)$,

$$Dur(V|M_{welding}) = \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} \cdot \delta_i}{\sum_i \sum_j a_{ij}} \cdot n \quad \forall j = i + 1$$

$$Dur(V|M_{welding}) = \frac{\delta_a \cdot p(v_i \rightarrow a) + \dots + \delta_{v_f} \cdot p(c \rightarrow v_f)}{a_{v_i,a} + \dots + a_{c,v_f}} \cdot n$$

$$Dur(V|M_{welding}) = \left(\frac{(1,00 \cdot 3,84) + (0,40 \cdot 4,00) + (0,75 \cdot 3,96) + (0,50 \cdot 3,88)}{(1 + 0,40 + 0,75 + 0,50)} \right) \cdot 4$$

$$Dur(V|M_{welding}) = 15,68u.t.$$

Então, demonstra-se que os impactos da restrição geométrica alteram a duração da atividade em seu macroestado, passando de $15,64u.t.$ para $15,68u.t.$, o que pode parecer ínfimo, contudo, se o parâmetro de tempo for de meses, representariam 1,2

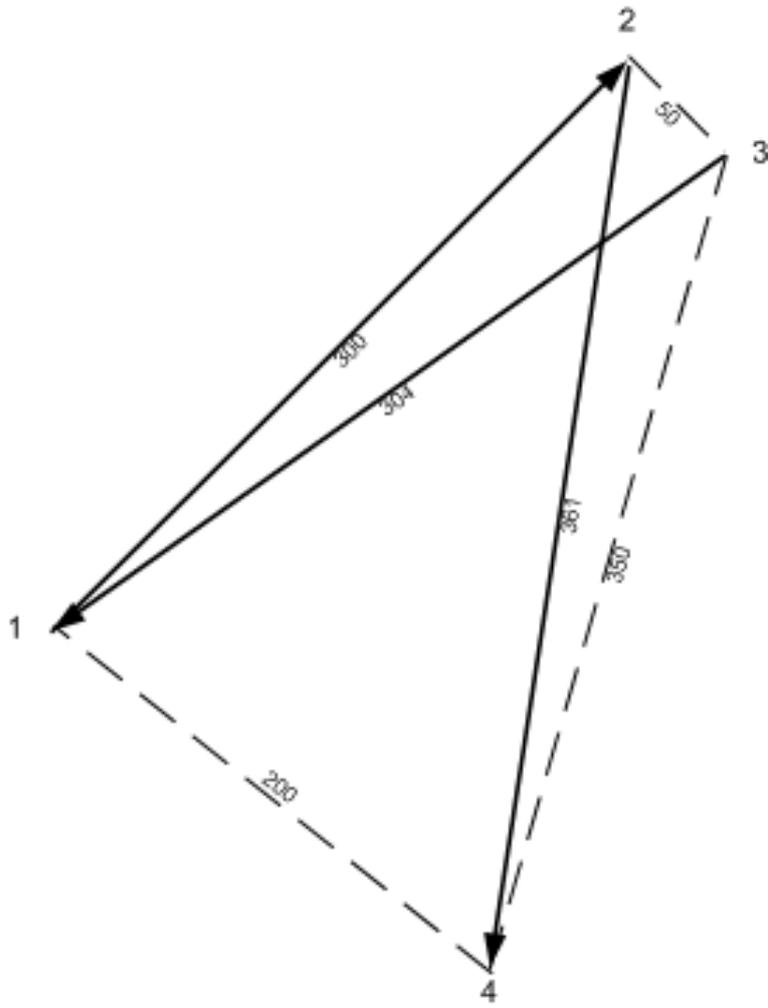


Figura 4.8: A seqüência do caminho de sodagem.

dias, representando um estouro no orçamento.

Capítulo 5

Análise da sensibilidade dos efeitos da sobreposição

Neste Capítulo são investigadas as interdependências entre as principais variáveis envolvidas na sobreposição de atividades e que vem ao encontro da teoria desenvolvida.

Na Figura 5.1 pode-se observar que conforme o grau de sobreposição entre duas atividades aumenta, diminui a quantidade de estados completados pela atividade antecessora.

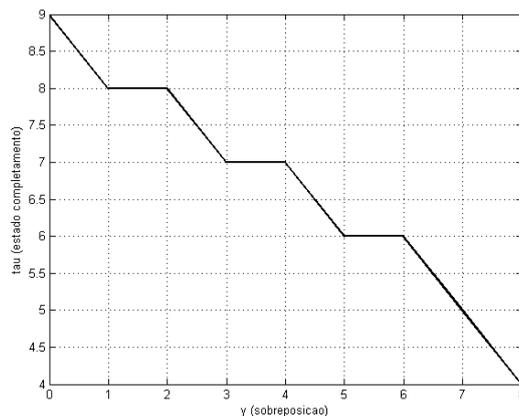


Figura 5.1: Relação entre o grau de sobreposição e o estado de completamento da atividade.

Relacionando-se o grau de sobreposição e a quantidade de entropia, pode ser ob-

servada que está cresce conforme aquela aumenta, pois quanto maior a quantidade de estados ainda não completados maior a incerteza na sobreposição e portanto maior a entropia. Deve-se observar na Figura 5.2 que em alguns estados onde somente um símbolo é emitido não há aumento da entropia, pois a mesma é nula.

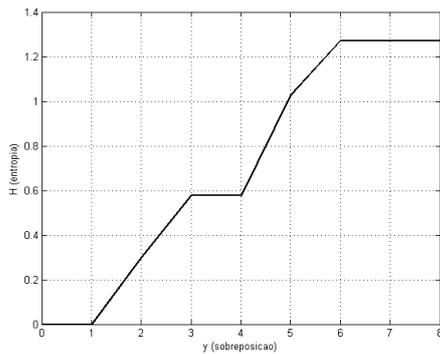


Figura 5.2: Relação entre o grau de sobreposição e a entropia dos estados a serem visitados.

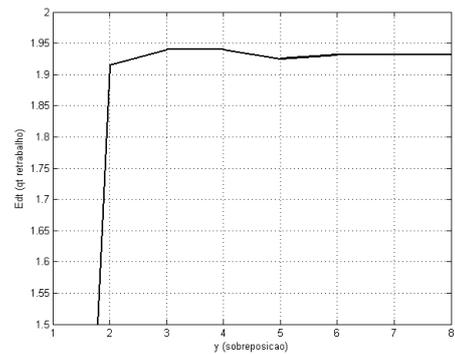


Figura 5.3: Relação entre o grau de sobreposição e a necessidade de trabalho adicional.

Similarmente o grau de sobreposição aumenta a necessidade de retrabalho, conforme Figura 5.3, contudo a sensibilidade do retrabalho depende fundamentalmente da entropia e da probabilidade de mudanças que são função dos símbolos emitidos, conforme Figura 5.4.

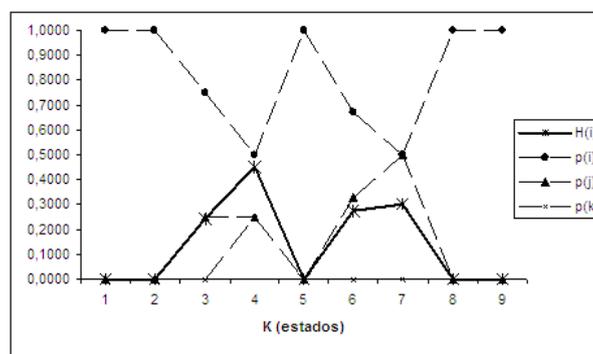


Figura 5.4: Relação entre a probabilidade da emissão de cada símbolo por estado e a entropia do estado.

A entropia diminui em função do estado de completamento de uma atividade pois quanto maior a informação disponível a ser repassada para a atividade sucessora, maior a probabilidade de sucesso do processo, ou seja, menor a necessidade de retrabalho (Figura 5.5. E a necessidade de trabalho adicional permanece alta pois é função da entropia dos estados visitados.

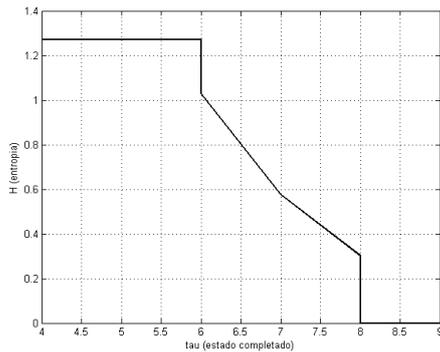


Figura 5.5: Relação entre o grau de completamento da atividade e a entropia.

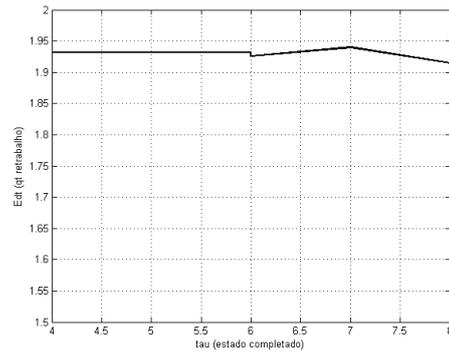


Figura 5.6: Relação entre grau de completamento da atividade e a necessidade de trabalho adicional.

Então conclui-se que o grau de sobreposição diminui se o estado de completamento aumenta e influencia o valor da entropia, que através da quantidade de símbolos emitida em cada estado influencia a necessidade de retrabalho para acomodar as mudanças em função da incerteza do processo.

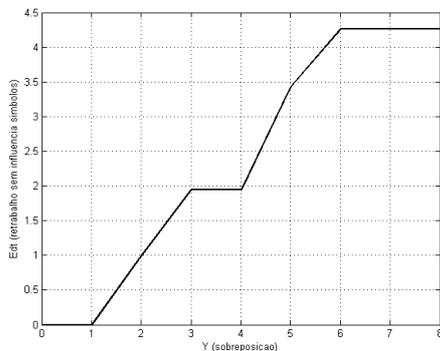


Figura 5.7: Relação entre o grau de sobreposição da atividade e a necessidade de retrabalho sem a influência dos símbolos.

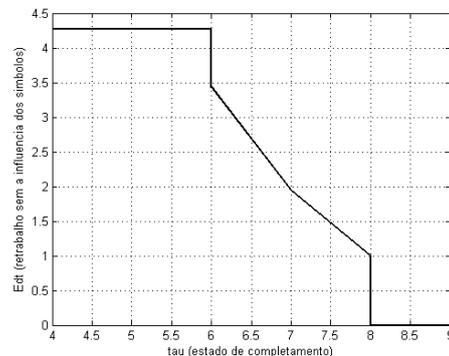


Figura 5.8: Relação entre grau de completamento da atividade e a necessidade de trabalho adicional sem a influência dos símbolos.

Porém isolando-se a influência dos símbolos emitidos reforça-se a noção de que conforme o grau de sobreposição aumenta, aumenta-se a necessidade de retrabalho (conforme a Figura 5.7) e também aumentando o estado de completamento da atividade, diminui a necessidade de retrabalho, conforme a Figura 5.8.

Capítulo 6

Conclusões e Trabalhos Futuros

Neste trabalho duas questões fundamentais foram abordadas: (1) dada uma atividade determinística a qual pode ser decomposta em uma série de sub-atividades estocásticas, deve-se determinar a duração mais provável, a mais pessimista e a otimista para tal atividade; (2) dado um par de atividades determinísticas, as quais são comumente executadas em série, e supondo que estas estão com um certo grau de sobreposição e que cada uma pode ser decomposta em uma série de sub-atividades estocásticas, qual seria o incremento na duração da atividade sucessora devido à necessidade de retrabalho em função da sobreposição?

A relevância destas questões está, primeiro de tudo, em que as atividades de um projeto podem ser modeladas utilizando-se conceitos de modelagem de processos, onde através de sub-atividades pode-se gerenciar de forma mais efetiva o que ocorre no chão-de-fábrica, onde são mapeados os desvios e as decisões que devem ser feitas pelos envolvidos diretamente em tal processo. Para isso, foi demonstrada uma metodologia de construção de fluxogramas de trabalho, através do qual se determina a melhor seqüência do fluxo de trabalho, o que pode ser considerado equivalente aos resultados obtidos por STOLCKE [54] na aplicação do algoritmo de Viterbi, e através da análise destes se chega a uma determinação analítica dos parâmetros das atividades a nível macro, isto é, a duração mais provável, a duração otimista e a duração pessimista, parâmetros que até então eram determinados empiricamente,

através da experiência de especialistas e servem de dados de entrada para modelos do tipo PERT/CPM.

Para se ilustrar a segunda questão, foi feita a modelagem estocástica da influência da troca de informações entre as atividades na sobreposição destas e analisados os parâmetros da atividade, ou seja, a falta de informação devido ao início precoce da atividade posterior ou subsequente, resulta em uma necessidade de retrabalho na atividade sucessora, o que pôde ser observado através dos exemplos ilustrativos do Capítulo 4. Trabalhos prévios recentes relacionados à técnica de sobreposição de atividades em projetos, têm focado na importância organizacional da empresa para as atividades de engenharia simultânea, ou na análise casada entre sobreposição e aceleração através da inserção de novos recursos ou ainda na determinação de uma matriz ótima de recursos compartilhados, porém todos estes assumem como parâmetro de entrada um certo grau de retrabalho devido a sobreposição das atividades. Este trabalho então, complementa os trabalhos existentes pois estabelece uma forma analítica esquemática para se determinar a necessidade de retrabalho.

A determinação da necessidade de retrabalho oriunda da aplicação de um certo grau de sobreposição, passa pela análise de problemas relacionados com a *entropia* da informação contida em cada estado da atividade predecessora que emite mais de um símbolo, ou seja, sub-atividade, também pela determinação através da entropia conjunta da probabilidade de mudanças que estão encerradas em cada estado, e após isto na quantificação do impacto destas mudanças na duração da atividade.

Isto também nos auxilia a entender como um estado que emite uma certa quantidade de símbolos tem em si uma entropia *potencial* a ser determinada, ou seja, é proporcional a quantidade de símbolos emitidos com a quantidade de entropia do estado, como pode ser observado no Capítulo 5.

Outras análises também são suportadas e apresentadas no Capítulo 5 com rela-

ção à sensibilidade da entropia e da quantidade de retrabalho necessária ao grau de sobreposição aplicada, demonstrando assim, a validade do modelo e seu comportamento.

Esse trabalho contribui com alguns pontos originais para a área de gerenciamento de projetos; tais como:

1. A mais importante contribuição deste trabalho está na determinação dos parâmetros das atividades para servirem de input para modelos do tipo PERT/CPM.
2. A proposição da relação existente entre a atividade agregada macro, e as sub-atividades, em um nível micro, existe somente se estas últimas têm o mesmo objetivo da primeira, resultando no mesmo output;
3. A atividade agregada é decomposta em sub-atividades detalhadas, com um nó fonte e um nó final, ambos adicionados às emissões observadas, estabelecendo o começo e o final da atividade agregada;
4. A metodologia de quatro passos para se construir um fluxograma de trabalho;
5. A descrição formal do Algoritmo 1, proposto por STOLCKE de forma descritiva e informal;
6. As expressões para a determinação da entropia dos estados que estão sendo sobrepostos, a probabilidade de mudanças e o impacto destas mudanças sobre os parâmetros da atividade agregada, a partir das sub-atividades;
7. as expressões (3.11), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16) e (3.17) do modelo de determinação dos impactos da sobreposição sobre os parâmetros da atividade;
8. A utilização da tão conhecida *Teoria da Informação* relacionada à probabilidade de mudanças e ao impacto destas;

9. O Algoritmo 2 é estabelecido para se encontrar uma forma de se desenvolver uma seqüência de soldagens sob uma restrição topológica, neste caso a *zona termicamente afetada, HAZ*;

Os exemplos demonstram que para uma ou duas atividades a forma de determinação dos parâmetros desta é a mesma e eficiente. Para se determinar a necessidade de retrabalho decorrente da sobreposição se estabeleceu para estas duas atividades um certo grau de sobreposição, que manteve o comportamento do modelo quando alterado, o que pode ser visto no Capítulo 5. O último exemplo determina a seqüência mais provável para se desenvolver uma série de quatro soldagens, obedecendo-se a restrição geométrica provocada por um processo de soldagem.

Implicações práticas

Como estabelecido por ROEMER et al. [49] reproduzido no Capítulo 2, em que as dificuldades que as empresas experimentam na aplicação de técnicas de sobreposição envolvem "perda de tempo em ajustes extras" e, a dificuldade das empresas em determinarem os parâmetros para o seqüenciamento de seus projetos, conforme [32], para aplicarem técnicas do tipo PERT/CPM, pode-se estabelecer que os modelos desenvolvidos neste trabalho podem auxiliar nestas dificuldades da seguinte forma:

- O modelo de determinação dos parâmetros das atividades através da análise das interações entre as sub-atividades serve ao propósito de se estabelecerem parâmetros de entrada para o seqüenciamento efetivo de atividades em projetos. Onde as equipes de gestão de projetos não têm expertise suficiente ou não dispõem de informações para determinarem esses parâmetros empiricamente. Implica ainda em uma melhor gestão por parte dos gerentes de projetos do que ocorre no chão-de-fábrica, conforme [24];
- A modelagem das trocas de informação entre estados ocultos que contém em

si as sub-atividades, serve ao primeiro ponto estabelecido por ROEMER et al. [49] para que se evitem ou ainda se previnam a perda de tempo com ajustes extras devido ao início precoce das atividades, em um ambiente de sobreposição.

KRISHNAN [36] ainda questiona que: *pode a atividade sucessora começar sem o valor final da informação trocada? Se sim, quanto de trabalho é requerido para incorporar as mudanças? É este valor uma função da troca de informações?* Estas foram questões que permaneceram no escopo das abordagens da literatura de desenvolvimento de produtos, e que de certa forma estavam abertas. Neste trabalho se procurou fechar esta lacuna com um modelo analítico robusto e não através da determinação de respostas obtidas empiricamente.

Trabalhos futuros

Existem várias extensões possíveis para o trabalho apresentado nesta tese.

Como adotado como premissa no Capítulo 3, a inclusão de restrições de recursos, alteraria as características dos fluxos de trabalho e assim modificaria os parâmetros das atividades de projeto.

Pode-se estender o modelo de avaliação do retrabalho para estimar a perda de qualidade da atividade, em função de uma penalidade na qualidade devido às decisões tomadas previamente na atividade predecessora que limitam o grau de liberdade na atividade sucessora, o que poderia alterar a seqüência de sub-atividades.

Podem existir várias situações onde a introdução de uma estrutura que permita o *feedback* entre o input recebido pela atividade sucessora das informações da atividade predecessora, pode ser útil, pois haveria assim uma avaliação na qualidade da informação transmitida entre uma atividade e outra e também poderia se avaliar a freqüência dessa troca de informações.

A extensão da aplicação dos conceitos de entropia da informação, não somente entre um estado e outro, porém aplicá-los entre estados de uma atividade e os estados de uma outra a nível macro, onde o aumento da entropia entre as atividades, poderia levar a uma maior troca de informações entre elas, o que poderia reduzir a necessidade de retrabalho se estas fossem sobrepostas.

Uma outra extensão seria a implantação dos conceitos aqui desenvolvidos em um ambiente de rede de atividades, com muitas interações entre elas, de uma forma mais robusta e computacionalmente eficiente, onde o modelo desenvolvido seria generalizado em um modelo com várias partes, e estas representando cada atividade ou cada interação entre as atividades.

A abordagem de construção de fluxogramas de trabalho exposta neste trabalho, pressupõe um conhecimento *a priori* dos registros de sub-atividades. Uma possível extensão seria a implementação de uma rotina que extraísse de dados em tempo real o melhor fluxograma de trabalho, sem considerar dados previamente adquiridos ou atualizando através de novas realizações e registros.

Referências Bibliográficas

- [1] R. AGRAWAL and D. GUNOPULOS, “Mining process models from workflow logs,” IBM Research Center, Tech. Rep., 1998.
- [2] R. AHLWEDE, N. CAI, S. R. LI, and R. W. YEUNG, “Network information flow,” *IEEE Transactions on Information Theory*, vol. 46, no. 4, pp. 1204–1216, July 2000.
- [3] R. AHMADI, T. ROEMER, and R. H. WANG, “Structuring product development model,” *European Journal of Operational Research*, vol. 130, pp. 539–558, 2001.
- [4] R. AHMADI and T. A. ROEMER, “Concurrent crashing and overlapping in product development,” *Operations Research*, vol. 54, no. 4, pp. 606–622, 2004.
- [5] R. AHMADI and R. WANG, “Managing development risk in product design processes,” *Operations Research*, vol. 47, no. 2, pp. 235–246, 1999.
- [6] Y. BARD, “Estimation of state probabilities using the maximum entropy principle,” *IBM Journal of Research and Development*, vol. 24, no. 5, pp. 563–569, 1980.
- [7] P. O. BOAVENTURA NETO, *Grafos: teoria, modelos, algoritmos*. São Paulo SP: E. Blucher, 1996.

- [8] D. BRAHA and Y. BAR-YAM, “The statistical mechanics of complex product development: Empirical and analytical results,” *Management Science*, vol. 53, no. 7, pp. 1127–1145, July 2007.
- [9] T. BROWNING, E. FRICKE, and H. NEGELE, “Key concepts in modeling product development processes,” *System Engineering*, vol. 9, no. 2, pp. 104–128, 2006.
- [10] H. H. BUI, D. Q. PHUNG, and S. VENKATESH, “Hierarchical hidden markov models with general state hierarchy,” in *9th National Conference on Artificial Intelligence*. AAAI, 2004, pp. 324–329.
- [11] A. K. CHAKRAVARTY, “Overlapping design and build cycles in product development,” *European Journal of Operational Research*, vol. 134, pp. 392–424, 2001.
- [12] S. H. CHO and S. D. EPPINGER, “A simulation-based process model for managing complex design projects,” *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 52, no. 3, pp. 316–327, 2005.
- [13] K. B. CLARK and S. C. WHEELWRIGHT, *Managing New Product and Process Development*. Boston MA: The Free Press, 1993.
- [14] K. CLARK and T. FUJIMOTO, *Product Development Performance: Strategy, Organization, and Management in the World Auto Industry*. Boston MA: Harvard Business School Press, march 1991.
- [15] J. CRAMPTON, “On the satisfiability of authorization constraints in workflow systems,” Department of Mathematics, Royal Holloway, University of London, London, Tech. Rep., 2004.

- [16] P. DOSHI, R. GOODWIN, R. AKKIRAJU, and K. VERMA, “Dynamic workflow composition using markov decision processes,” *International Journal of Web Services Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1–17, 2005.
- [17] T. V. DUONG, H. H. BUI, D. Q. PHUNG, and S. VENKATESH, “Activity recognition and abnormality detection with the switching hidden semi-markov model,” in *2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE, 2005.
- [18] S. FINE, Y. SINGER, and N. TISHBY, “The hierarchical hidden markov model: analysis and applications,” *Machine Learning*, vol. 32, no. 1, pp. 41–62, 1998.
- [19] D. N. FORD and J. D. STERMAN, “The liar’s club: concealing rework in concurrent development,” *Concurrent Engineering: research and applications*, vol. 11, no. 3, pp. 211–219, 2003.
- [20] J. GERK, “*Um modelo de programação não linear mista inteira para aceleração e superposição de atividades em projetos*,” Tese de D.Sc., Engenharia Mecânica, COPPE/UFRJ, Junho 2005.
- [21] J. GERK and R. QASSIM, “Project acceleration via activity crashing, overlapping and substitution,” *IEEE Transaction in Engineering Management*, 2007.
- [22] V. GUNARAJ and N. MURUGAN, “Prediction of heat-affected zone characteristics in submerged arc welding of structural steel pipes,” *Welding Research*, vol. 81, pp. 94–98, January 2002.
- [23] A. Y. HA and E. L. PORTEUS, “Optimal timing of reviews in concurrent design for manufacturability,” *Management Science*, vol. 41, no. 9, pp. 1431–1447, 1995.

- [24] S. HACKMAN and R. LEACHMAN, “An aggregate model of project-oriented production,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 19, no. 2, pp. 220–231, 1989.
- [25] C. HENDRICKSON and T. AU, *Project Management for Construction: fundamental concepts for owners, engineers, architects and builders*. USA: Prentice-Hall, 1998.
- [26] J. HERBST, “A machine learning approach to workflow management,” Daimler Chrysler AG, Research and Technology, Tech. Rep., 2000.
- [27] J. HERBST and D. KARAGIANNIS, “Integrating machine learning and workflow management to support acquisition and adaptation of workflow models,” in *9th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*. IEEE, 1998, pp. 745–752.
- [28] T. HOUT and J. STALK, G., *Competindo contra o tempo*. Rio de Janeiro RJ: Ed. Campus, 1992.
- [29] C. W. IBBS, S. A. LEE, and M. I. LI, “Fast-tracking’s impact on project change,” *Project Management Journal*, vol. 29, no. 4, pp. 35–41, 1998.
- [30] E. JAYNES, “Information theory and statistical mechanics,” *The Physical Review*, vol. 106, no. 4, pp. 620–630, 1957.
- [31] M. H. KADIVAR, K. JAFARPUR, and G. H. BARADAN, “Optimizing welding sequence with genetic algorithm,” *Computational Mechanics*, vol. 26, pp. 514–519, 2000.
- [32] H. KERZNER, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. John Wiley & Sons., 2001.

- [33] H.-J. KIM, Y.-D. KIM, and D.-H. LEE, “Scheduling for an arc-welding robot considering heat-caused distortion,” *Journal of the Operational Research Society*, vol. 56, pp. 39–50, 2005.
- [34] K.-Y. KIM, D.-W. KIM, and B. NNAJI, “Robot arc welding task sequencing using genetic algorithms,” *IIE Transactions*, vol. 34, pp. 865–880, 2002.
- [35] D. KIMBER, “Notes on statistical mechanics, information theory and thermodynamics,” Xerox Palo Alto Research Centre, Tech. Rep., 1994.
- [36] V. KRISHNAN, “Design process improvement: sequencing and overlapping activities in product development,” Ph.D. dissertation, Mechanical Engineering Dept, MIT, Boston MA, September 1993.
- [37] —, “Managing the simultaneous execution of coupled phases in concurrent product development,” *IEEE Transaction on Engineering Management*, vol. 43, no. 2, pp. 210–217, 1996.
- [38] V. KRISHNAN, S. D. EPPINGER, and D. E. WHITNEY, “A model-based framework to overlap product development activities,” *Management Science*, vol. 43, no. 4, pp. 437–451, 1997.
- [39] W. LI and Y. FAN, “Time constraints in workflow models,” in *ICAM 2003 - Advances in Agile Manufacturing*. ICAM, 2003, pp. 261–266.
- [40] S. LUHR, S. VENKATESH, G. WEST, and H. H. BUI, “Duration abnormality detection in sequences of human activity,” Dept. of Computing, Curtin University of Technology, Tech. Rep., 2004.
- [41] D. J. C. MACKAY, *Information Theory, Inference and Learning Algorithms*, 7th ed. Cambridge UK: Cambridge University Press, March 2005.

- [42] J. U. MAHESWARI and K. VARGHESE, “Project scheduling using dependency structure matrix,” *International Journal of Project Management*, vol. 23, pp. 223–230, 2005.
- [43] L. G. MARUJO, “Um modelo estimativo do retrabalho utilizando dinâmica de sistemas para gerenciamento de projetos,” in *1º Congresso Internacional de Dinâmica de Negócios SBDS*. Brasília DF: SBDS, Outubro 2006.
- [44] C. MITCHELL, M. HARPER, and L. JAMIESON, “On the complexity of explicit duration hmms,” *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, vol. 3, no. 3, pp. 213–217, 1995.
- [45] S. MITTER, “Statistical inference, statistical mechanics and the relationship to information theory,” 2004, lecture Notes, MIT.
- [46] K. P. MURPHY, “Hidden semi-markov models (hsmms),” 2002, univ. of California at Berkeley.
- [47] S. NICOLETTI and F. NICOLÒ, “A concurrent engineering decision model: management of the project activities information flows,” *International Journal of Production Economics*, vol. 54, pp. 115–127, 1998.
- [48] L. R. RABINER, “A tutorial on hidden markov models and selected applications in speech recognition,” in *Proceedings of IEEE*, vol. 77. IEEE, 1989, pp. 257–286.
- [49] T. A. ROEMER, R. AHMADI, and R. H. WANG, “Time-cost trade-offs in overlapped product development,” *Operations Research*, vol. 48, no. 6, pp. 858–865, 2000.

- [50] T. L. SAATY and J. M. ALEXANDER, *Thinking with Models: Mathematical Models in the Physical, Biological and Social Sciences*. New York NJ: Pergamon-Press, 1981.
- [51] C. SHANNON, “A mathematical theory of communications,” *The Bell Systems Technical Journal*, vol. 27, pp. 379–423, 623–656, 1948.
- [52] H. SHATKAY and L. P. KAELBLING, “Learning geometrically-constrained hidden markov models for robot navigation: bridging the topological-geometrical gap,” *Journal of Artificial Intelligence Research*, vol. 16, pp. 167–207, 2002.
- [53] J. H. SON and M. H. KIM, “Improving the performance of time-constrained workflow processing,” *The Journal of Systems and Software*, vol. 58, pp. 211–219, 2001.
- [54] A. STOLCKE, “Bayesian learning of probabilistic language models,” Ph.D. dissertation, University of California at Berkeley, 1994.
- [55] K. van HEE, A. SEREBRENİK, N. SIDOROVA, M. VOORHOEVE, and J. van der WAL, “Scheduling-free resource management,” *Data and Knowledge Engineering*, vol. 61, pp. 59–75, 2007.
- [56] A. YASSINE, R. SREENIVAS, and J. ZHU, “Managing the exchange of information in product development,” *European Journal of Operational Research*, vol. 184, no. 1, pp. 311–326, January 2008.
- [57] A. YASSINE, D. WHITNEY, and T. ZAMBITO, “Assessment of rework probabilities for simulating product development processes using the design structure matrix,” in *International Design Engineering Technical Conference*. Pittsburgh, PA: ASME, 2001.

- [58] H. ZHANG, W. QIU, and H. ZHANG, “An approach to measuring coupled tasks strength and sequencing of coupled tasks in new product development,” *Concurrent Engineering: research and applications*, vol. 14, no. 4, pp. 305–311, 2006.
- [59] H. ZHAO and P. DOSHI, “Composing nested web processes using hierarchical semi-markov decision processes,” in *2006 American Association of Artificial Intelligence. AAAI*, 2006.

Apêndice A

Rotina descritiva do Algoritmo 1 para a Atividade 1

Segundo o Algoritmo 1 os cálculos para se determinar o HMM que descreve o fluxoograma, são:

Para a Atividade 1:

For $v[i] \rightarrow a$:

NumPos = 2;

NewProbTrans = $1/2 = 0.50$;

NumNeg ($a|v_i$) = 2;

$a[v_i][a] = 2 * 0.50 = 1.0$;

Estado 1 emite o símbolo da sub-atividade (a) com $p(a) = 1.0$.

For $a \rightarrow b$:

NumPos = 2;

NewProbTrans = $1/2 = 0.50$;

NumNeg ($b|a$) = 2;

$a[a][b] = 2 * 0.50 = 1.0$;

Estado 2 emite o símbolo da sub-atividade (b) com $p(b) = 1.0$.

For b -> c:

NumPos = 4;

NewProbTrans = $1/4 = 0.25$;

NumNeg (c|b) = 3;

$a[b][c] = 3 * 0.25 = 0.75$;

For b -> d:

NumPos = 4;

NewProbTrans = $1/4 = 0.25$;

NumNeg (d|b) = 1;

$a[b][d] = 1 * 0.25 = 0.25$;

Estado 3 emite o símbolo das sub-atividades (c) e

(d) com $p(c) = 0.75$ e $p(d) = 0.25$.

For c -> d:

NumPos = 4;

NewProbTrans = $1/4 = 0.25$;

NumNeg (d|c) = 2;

$a[c][d] = 2 * 0.25 = 0.50$;

For c -> b:

NumPos = 4;

NewProbTrans = $1/4 = 0.25$;

NumNeg (b|c) = 1;

$a[c][b] = 1 * 0.25 = 0.25$;

For c -> g:

NumPos = 4;

NewProbTrans = $1/4 = 0.25$;

NumNeg (g|c) = 1;

$a[c][g] = 1 * 0.25 = 0.25$;

Estado 4 emite os símbolos (d) com $p(d) = 0.50$, (b) com $p(b) = 0.25$,
e (g) com $p(g)=0.25$;

For d -> e:

NumPos = 3;

NewProbTrans = $1/3 = 0.33$;

NumNeg (e|d) = 3;

$a[d][e] = 3 * 0.33 = 1.0$;

Estado 5 emite o símbolo (e) com $p(e) = 1.0$

For e -> c:

NumPos = 3;

NewProbTrans = $1/3 = 0.33$;

NumNeg (c|e) = 1;

$a[e][c] = 1 * 0.33 = 0.33$;

For e -> f:

NumPos = 3;

NewProbTrans = $1/3 = 0.33$;

NumNeg (f|e) = 2;

$$a[e][f] = 2 * 0.33 = 0.67;$$

Estado 6 emite o símbolo (c) com $p(c) = 0.33$, e (f) com $p(f)=0.67$.

For f -> b:

$$\text{NumPos} = 2;$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/2 = 0.50;$$

$$\text{NumNeg} (b|f) = 1;$$

$$a[f][b] = 1 * 0.50 = 0.50;$$

For f -> g:

$$\text{NumPos} = 2;$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/2 = 0.50;$$

$$\text{NumNeg} (g|f) = 1;$$

$$a[f][g] = 1 * 0.50 = 0.50;$$

Estado 7 emite o símbolo (b) com $p(b)=0.50$ e (g) com $p(g)=0.50$.

For g -> h:

$$\text{NumPos} = 2;$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/2 = 0.50;$$

$$\text{NumNeg} (h|g) = 2;$$

$$a[e][c] = 2 * 0.50 = 1.0;$$

Estado 8 emite o símbolo (h) com $p(h) = 1.0$;

For h -> v[f]:

$$\text{NumPos} = 2;$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/2 = 0.50;$$

$\text{NumNeg}(v[f] | h) = 2;$

$a[h][vf] = 2 * 0.50 = 1.0;$

Estado 9 emite o símbolo $(v[f])$ com $p(v[f]) = 1.0;$

Apêndice B

Rotina descritiva do Algoritmo 1 para a Atividade 2

Segundo o Algoritmo 1 os cálculos para se determinar o HMM que descreve o fluxoograma, são:

Para a Atividade 2

For $v[i] \rightarrow a$

$$\text{NumPos} = 4$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/4 = 0.25$$

$$\text{NumNeg} (a|vi) = 4$$

$$a[vi][a] = 4 * 0.25 = 1.0$$

State 1 emits the symbol a with $p(a)=1.0$

For $a \rightarrow b$

$$\text{NumPos} = 8$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/8 = 0.125$$

$$\text{NumNeg} (b|a) = 6$$

$$a[a][b] = 6 * 0.125 = 0.75$$

For $a \rightarrow c$

$$\text{NumPos} = 8$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/8 = 0.125$$

$$\text{NumNeg } (c|a) = 2$$

$$a[a][c] = 2 * 0.125 = 0.25$$

State 2 emits the symbol b with $p(b)=0.75$ and
symbol c with $p(c)=0.25$

For b -> c

$$\text{NumPos} = 6$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/6 = 0.1667$$

$$\text{NumNeg } (c|b) = 6$$

$$a[vi][a] = 6 * 0.1667 = 1.0$$

State 3 emits the symbol c with $p(c)=1.0$

For c -> a

$$\text{NumPos} = 10$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/10 = 0.10$$

$$\text{NumNeg } (a|c) = 4$$

$$a[c][a] = 4 * 0.10 = 0.40$$

For c -> c

$$\text{NumPos} = 10$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/10 = 0.10$$

$$\text{NumNeg } (c|c) = 2$$

$$a[c][c] = 2 * 0.10 = 0.20$$

For c -> vf

$$\text{NumPos} = 10$$

$$\text{NewProbTrans} = 1/10 = 0.10$$

$$\text{NumNeg} (vf|c) = 4$$

$$a[c][vf] = 4 * 0.10 = 0.40$$

State 4 emits the symbol a with $p(a)=0.40$, symbol c with $p(c)=0.20$

and symbol v[f] with $p(v[f])=0.40$

Apêndice C

Rotina descritiva do Algoritmo 2 para determinação do caminho probabilístico geometricamente restrito

Segundo o Algoritmo 2 os cálculos para se determinar o HMM que descreve o fluxograma, são:

Path = {}

HAZ = 56mm

```
Dist=[ 0, 300, 304, 200
       300, 0, 50, 361
       304, 50, 0, 350
       200, 361, 350, 0]
```

```
Prob=[ 0, 0.75, 0.25, 0
        0, 0, 0.50, 0.50
        0.40, 0, 0.20, 0.40
        0, 0, 0, 0]
```

for (1,1) = NOK | p(1,1) = 0; d(1,1) = 0

(1,2) = OK | $p(1,2) = 0.75$; $d(1,2) = 300 > \text{HAZ} [\text{min}]$

(1,3) = OK | $p(1,3) = 0.25$; $d(1,3) = 304 > \text{HAZ}$

(1,4) = NOK | $p(1,4) = 0$

Path(1) = {(1,2)} = 300

for (2,1) = (2,2) = NOK | $p(2,1) = p(2,2) = 0$

(2,3) = NOK | $p(2,3) = 0.50$; $d(2,3) = 50 < \text{HAZ}$

(2,4) = OK | $p(2,4) = 0.50$; $d(2,4) = 361 > \text{HAZ} [\text{min}]$

Path(2) = {(1,2), (2,4)} = 661

for (3,1) = OK | $p(3,1) = 0.40$; $d(3,1) = 304 > \text{HAZ} [\text{min}]$

(3,2) = NOK | $p(3,2) = 0$

(3,3) = NOK | $p(3,3) = 0.20$; $d(3,3) = 0$

(3,4) = OK | $p(3,4) = 0.40$; $d(3,4) = 350 > \text{HAZ}$

Path(3) = {(1,2), (2,4), (3,1)} = 965mm.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)