UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE RECURSOS HUMANOS EM PROJETOS

Guilherme Salazar Cerqueira

Orientador: Luciano Nadler Lins, Dsc

Recife, 2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE RECURSOS HUMANOS EM PROJETOS

Trabalho de Conclusão de Curso

Por

Guilherme Salazar Cerqueira

Orientador: Luciano Nadler Lins, Dsc.

Recife, Dezembro /2010

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DIMENSIONAMENTO ÓTIMO DE RECURSOS HUMANOS EM PROJETOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Departamento de Engenharia de Produção
da Universidade Federal de Pernambuco -
UFPE - como requisito parcial para obtenção
de Grau em Engenharia de Produção.

Recife, Dezembro /2010

C416d **Cerqueira, Guilherme Salazar**.
Dimensionamento ótimo de recursos humanos em projetos / Guilherme Salazar Cerqueira. - Recife: O Autor, 2010.
vii, 34folhas; il., tabs.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Engenharia de Produção, 2010.
Orientador: Prof. Luciano Nadler Lins.
Inclui Referência.

1. Engenharia de Produção. 2. Gestão de Projetos. 3. Controle ótimo em Recursos Humanos. I. Lins, Luciano Nadler. II. Título

658.5 CDD (22. ed.) **UFPE/BCTG/2010-247**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meus pais por toda a minha educação, formação e pelo amor.
Ao professor Luciano Lins que foi um verdadeiro mestre para mim.
À minha namorada Priscila pelo carinho e os bons momentos nas horas de descanso.
Aos poucos amigos de verdade que fiz nesta faculdade.

RESUMO

A utilização eficiente de recursos, em particular os de natureza humana, é um pré-requisito imprescindível para a perfeita gestão de projetos complexos. Métodos que auxiliem o controle de custos associados a estes recursos tornam-se ferramentas críticas para que gestores possam lidar adequadamente com os desafios inerentes aos projetos, e em muitos casos viabilizá-lo financeiramente. O presente trabalho se insere nesse contexto ao propor uma abordagem para a avaliação das despesas em grandes projetos a partir da alocação ótima dos recursos humanos. Considerando um projeto como um sistema dinâmico, é apresentado um modelo de controle ótimo para minimização dos custos com pessoal. Como principal resultado observado destaca-se a confirmação de que a clássica curva de agregação para previsão de custos com recursos de um projeto também é decorrente de um processo de otimização de sua estrutura operacional.

PALAVRAS-CHAVE. Gestão de Projetos. Recursos Humanos. Controle Ótimo. Área de classificação principal (AG)

ABSTRACT

An efficient use of resources, especially those human ones, is an indispensible prerequisite for a perfect management of complex projects. Methods that assist the control of expenses associated with these resources became critical tools for managers to be able to deal adequately with the inherent challenges to the projects, in many cases make it viable financially. This article is inserted in this context, proposing an approach to the expenses evaluation in large-scale projects by the optimal allocation of human resources. Considering a project as a dynamic system, it is presented an optimal control model for the costs minimization with people. As the main result, the work confirms that the classical aggregation curve for forecasting of costs with the project resources is also a consequence from the optimization process of its operational structure.

KEYWORDS. Project Management, Human Resources, Optimal Control, Main Area (AG)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Apresentação do Problema 1
1.2. Justificativa 1
1.3. Objetivos 2
1.3.1. Objetivos Gerais 2
1.3.2. Objetivos Específicos 2
1.4. Metodologia 3
1.5. Organização do Trabalho 4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 5
2.1. Introdução 5
2.1.1. Temporalidade de um Projeto 5
2.1.2. Unicidade 6
2.1.3. Incerteza 6
2.1.4. Complexidade 7
2.2. Sucesso em Gerenciamento de Projetos 8
2.3. Recursos Humanos em Projetos 9
2.4. Rotatividade de Mão de Obra 11
2.5. Fases de um Projeto. 12
2.6. As Curvas de Agregação e Trapezoidal 14
3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO 18
3.1. Problema do Controle Ótimo 18
3.2. Modelo de Dimensionamento Ótimo de Recursos Humanos 19
3.3. Controle Ótimo da Evolução de Projetos 24
3.4. Simulação 27
4. CONCLUSÃO 31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 32

1. INTRODUÇÃO

1.1. Apresentação do Problema

O gerenciamento de projetos envolve metodologias para coordenar e controlar algumas atividades complexas e dinâmicas, diferenciando-se muito da administração tradicional de atividades de rotina. Em especial, o gerenciamento de recursos representa uma das atividades mais críticas ao perfeito andamento de um dado projeto dentro do prazo inicialmente estipulado e conforme as restrições orçamentárias. Considerando a diversidade e a complexidade dos recursos necessários à condução de um projeto, esta é em geral de natureza multidisciplinar, pois requer conhecimentos de diversas áreas de conhecimento, tais como engenharia e ciências humanas.

Administrar corretamente o uso desses recursos é um dos maiores desafios em gestão de projetos, pois devem levar em conta aspectos relacionados a todas as fases de um projeto em que tais recursos serão empregados. Questões comuns estão associadas, por exemplo, ao transporte, armazenamento, utilização ou custos destes recursos.

Até o momento os trabalhos nesta área podem ser classificados em dois tipos. O primeiro envolve uma série de pesquisas com gerentes e administradores ou das suas práticas gerenciais para saber quais as causas declaradas de problemas enfrentados por eles, como mostrado Parker e Skitmore (2005) e Proverbs *et al* (1999). Outro tipo de linha de pesquisa consiste em um tratamento mais quantitativo ao utilizar análises de regressão e parametrizações de séries históricas de dados, como apresentado por Cioffi (2005). É praticamente inexistente a abordagem a esse tema através de métodos quantitativos, exceto pelos regressivos e computacionais.

1.2. Justificativa

A carência de modelos matemáticos ao problema de dimensionamento de recursos humanos pode ser encarada como uma limitação atual ao tratamento dessa questão, visto que

dentro de uma realidade hipercompetitiva que se encontram setores diversos onde gerenciar projetos é a realidade diária, uma forma de tratar o problema onde a precisão não é enfatizada, dentro de um universo que pequenas mudanças ou erros mínimos significam a sobrevivência ou não da empresa.

Dentro da literatura deste tema, verifica-se a evolução em etapas bem definidas da forma como é abordado o problema, apresentando uma nova forma de tratar este problema é uma tentativa de trazer um novo paradigma na área. Assim como acrescentar aos estudos a variabilidade de desempenho dos recursos humanos e identificar como isto influencia nos custos e na política de contratação para minimizar os custos.

O ganho na prática torna-se possível quando se observa que a forma de obter os parâmetros do modelo é completamente diferente do existente, pois atualmente os dados são obtidos através de outros projetos já terminados e semelhantes ao projeto de estudo. Este trabalho busca os parâmetros através de observações do próprio projeto e na forma como a empresa trabalha.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo determinar uma política ótima de contratação e demissão em um projeto de grande ou médio porte, analisando o comportamento do projeto como um sistema dinâmico. Além disto, obter as curvas clássicas inseridas na literatura como a curva de agregação, comprovando, por esta análise, ser a forma mais eficiente de se controlar os custos.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Fazer uma revisão da literatura sobre o gerenciamento de recursos em projetos, buscando identificar características e lacunas onde o tema possa ser explorado;
- Identificar quais variáveis devem ser utilizadas para a modelagem
- Obter as equações dinâmicas para a evolução de um projeto em termos de seus

recursos humanos

- Extrair as condições de otimalidade para o uso eficiente dos recursos humanos de um projeto.
- Realizar uma simulação para comprovar os resultados obtidos por meio da resolução do modelo.

1.4. Metodologia

A metodologia utilizada é uma modelagem do fenômeno através da otimização dinâmica. O problema do controle ótimo é um dos desafios fundamentais da chamada Teoria do Controle. Trata-se de um modelo normativo para o comportamento de sistemas dinâmicos sujeitos a influências externas, ou seja, o controle por parte de agentes de controle, de modo que tal sistema atenda os índices de desempenho previamente determinados. Essa teoria tem por objetivo determinar o caminho, ou trajetória ótima para um dado sistema de acordo com um critério de otimização pré-determinado. Em um sistema autônomo, sistema que não depende, explicitamente, das suas variáveis independentes (no nosso caso o tempo), o objetivo do problema do controle é descrito por um funcional objetivo em termos das variáveis temporais de estado e de controle, e as restrições, que representam como a dinâmica do sistema é afetada pelo grupo das variáveis temporais de estado e de controle (Intriligator, 1971). Para obter a equações, foi utilizado o principio do máximo de Pontryagin, utilizando parâmetros que são encontrados dentro dos próprios projetos.

A escolha dos parâmetros foi feita através de estudo das principais referências na área de gestão de projetos, em especial, o *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK®). A partir daí foram selecionados quais são os fatores que influenciam diretamente no andamento do projeto, e na gestão de recursos humanos, para definirmos as nossas restrições.

As principais características atribuídas aos grandes projetos foram utilizadas para a modelagem das equações, como, por exemplo, definir um tempo inicial e final, pois é uma característica dos projetos que tenham começo e fim determinados. Estes dois marcos temporais podem ser alterados, pois estão sujeitos à imprevistos, um outro fator incorporado na modelagem.

Após a definição dos parâmetros a serem utilizados, foi realizada uma modelagem do problema através do Principio do Máximo, e obtivemos o funcional objetivo e as restrições,

assim como as equações da dinâmica do processo.

1.5. Organização do Trabalho

O presente trabalho está organizado em três capítulos: o primeiro, uma revisão da literatura sobre gestão de projetos, ressaltando algumas características relevantes ao trabalho, como particularidades do gerenciamento de recursos humanos e a temporalidade dos projetos, assim como as conseqüências para o modelo proveniente desses fatores; o segundo capítulo faz uma introdução à modelagem de sistemas dinâmicos, especialmente ao principio do máximo, fazendo uma rápida abordagem às condições de Karush-Kuhn-Tucker; o terceiro é o desenvolvimento do modelo proposto, implicando em sua construção e resolução, explanando as variáveis e as equações obtidas, assim como uma simulação dos resultados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feito uma revisão da literatura sobre gestão de projetos, enfatizando temas mais relevantes à construção do modelo, em especial o gerenciamento de recursos humanos.

2.1. Introdução

Slack *et al.*(2009) definem projeto como um conjunto de atividades que tem um ponto inicial e um estado final definidos, persegue uma meta definida e usa um conjunto definido de recursos. Segundo o PMI® (2004), um projeto seria um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. Outra forma bastante comum de definir projetos: reunião coordenada de esforços para alcançar um objetivo específico com restrições de custo, prazo e escopo (Chapman (1998); Mishra (2007)).

A partir destas definições podemos identificar características que devem ser comuns em todos os projetos. Por se tratar de um esforço temporário, um projeto torna-se próprio de intervalo específico de tempo, mesmo que o marco final venha ser modificado devido ao aumento de complexidade inerente a todos os projetos, com consequente dilatação do prazo final. Por se tratar de um empreendimento com objetivos exclusivos, um projeto acaba por se tornar único, com características particulares que o distinguem dos demais projetos. Mesmo dois projetos teoricamente idênticos, como a construção de dois prédios com estruturas iguais, estarão sujeitos a diferentes variáveis durante o seu tempo de execução, tanto de causas internas como externas. Slack *et al.* (2009) ainda coloca como características dos projetos a incerteza e a complexidade. A seguir, será fornecida uma explanação mais ampla para cada uma das características identificadas.

2.1.1. Temporalidade de um Projeto

Todo projeto tem um começo e um fim definidos. Esses dois marcos não são determinados cronologicamente, mas sim de acordo com os objetivos e com o escopo, durante a etapa de planejamento, determinando que projetos são finitos e não um esforço contínuo. Apesar de o projeto representar um esforço temporário, as saídas deste devem trazer

resultados duradouros, como uma construção, software ou benefícios para a sociedade que podem se estender por alguns meses, anos ou até mesmo por décadas. E dentro desse período de tempo deve se desenvolver todas as etapas do projeto Slack *et al.* (2009).

Ainda sobre o esforço empreendido no projeto, a característica de temporalidade traz ainda uma conseqüência na dinâmica das atividades realizadas: A equipe envolvida nas atividades, durante sua concepção levam esta característica de ser transiente em consideração, um time pode durar todo o projeto ou apenas uma ou mais etapas que seus conhecimentos são necessários, pois a natureza das pessoas envolvidas no projeto muda durante o ciclo de vida. Como uma unidade produtiva, não sobrevive além do projeto, são alocadas ou formadas durante o planejamento e execução e são desfeitas após o termino das atividades, de uma só vez ou de forma progressiva.

2.1.2. Unicidade

O projeto envolve a realização de algo que ainda não foi desenvolvido antes, com características peculiares que os distinguem dos demais projetos desenvolvidos anteriormente. O Produto final de um projeto é único, muitas similaridades podem acontecer. Por exemplo, milhares de prédios são construídos todos os anos. Eles utilizam praticamente os mesmos recursos, mas cada um destes projetos resulta em um produto único com características que os diferenciam dos demais. Cada projeto contém suas particularidades, independente de quanto ele seja semelhante a outro na concepção.

Segundo o PMI®, a presença de elementos repetitivos não muda a singularidade essencial do projeto, por mais que seja uma execução de algum projeto previamente realizado, as pessoas, o local, as circunstâncias econômicas são diferentes, implicando em novas particularidades.

2.1.3. Incerteza

Em um projeto, costuma-se dizer que a única certeza é a presença da incerteza. Todos os projetos são planejados antes de serem executados e estão sujeitos a riscos e incertezas associadas aos ambientes interno e externo (Kaka *et al.*, 1993). A previsão do comportamento

de enchentes, tempestades, terremotos e outros fenômenos ambientais não podem ser feitas com precisão e no tempo adequado.

2.1.4. Complexidade

Todos os projetos têm um elevado grau de complexidade, pois são muitas tarefas ocorrendo simultaneamente e encadeadas. A forma em que esta rede de atividades se relaciona pode ser bastante complexa, dependendo do número de atividades. Slack *et al.* (2009) mostra um gráfico relacionando o grau de incerteza dos projetos com as incertezas envolvidas (Figura 2.1).

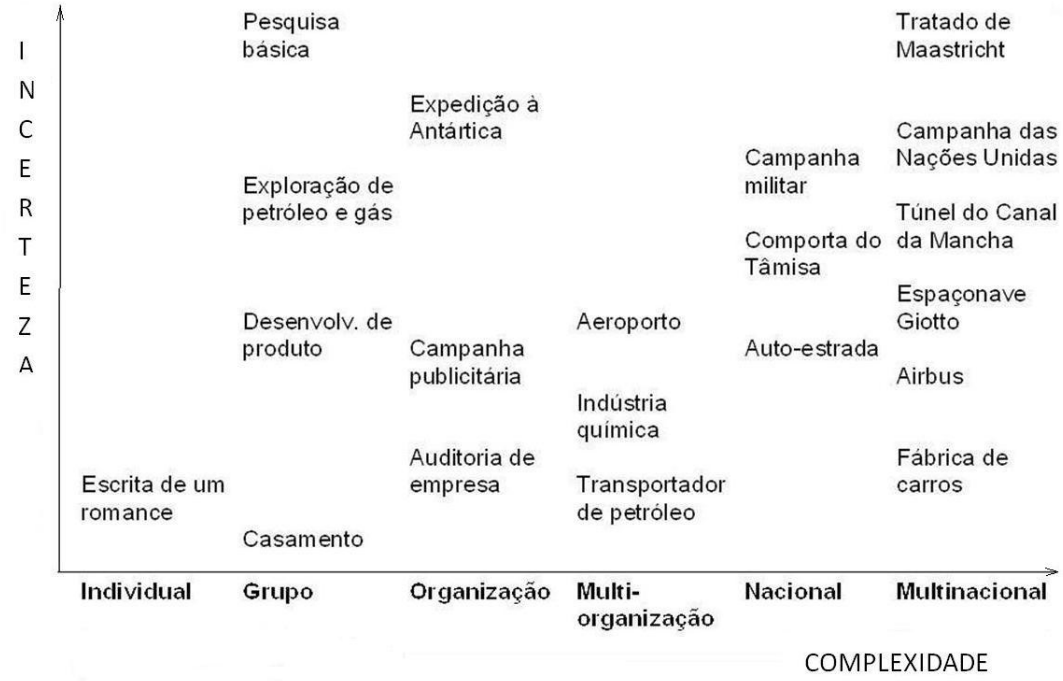

Figura 2.1 - Graus de complexidade e incerteza associado a alguns tipos de projetos.

Adaptado de Slack *et al.* (2009)

2.2. Sucesso em Gerenciamento de Projetos

Slack *et al.* (2009) cita alguns fatores que são importantes para minimizar a chance de falhas durante o gerenciamento de projeto. Abaixo alguns desses fatores:

- Definir claramente as metas: Saber quais são os objetivos do projeto e a missão da empresa pode gerar um maior comprometimento dos membros das equipes de trabalho.
- Gerente de projetos competente: A competência técnica e pessoal necessária do gerente para envolver o pessoal. Identificar, selecionar e treinar as pessoas certas para cada uma das funções a serem exercidas.
- Apoio da alta administração: É importante que a alta administração se envolva no projeto e busque delegar funções e manter o seu pessoal motivado durante a realização do projeto em questão. A falta de ação dos gerentes em horas cruciais pode levar o todo o esforço abaixo.
- Competência dos membros do grupo de projetos: Ter um profissional com as características certas para cada atividade é fundamental, desde o perfil psicológico até o treinamento adequado para este profissional desenvolva suas funções.
- Recursos suficientes: Todos os tipos de recursos são importantes para o andamento do projeto. O PMI® cita três tipos de processos envolvendo custos, e ainda cita que estes processos são integrados entre si e muitas vezes se sobrepõem.
    - Estimativa de custos – Fazer a estimativa de custos totais de todo projeto, fazer uma estimativa do montante necessário para que cada etapa do projeto seja viável.
    - Orçamentação – agregação dos custos estimados de atividades individuais ou pacotes de trabalho para estabelecer uma linha de base dos custos.
    - Controle de custos – Controlar os custos de cada atividade, avaliar em cada etapa quais foram os fatores que levaram a possíveis variações. Aqui também é realizado o controle das modificações feitas durante o projeto.
- Comunicação adequada: Ter canais de informação suficientes e adequados aos envolvidos. Isso envolve duas direções de fluxos de informação: up-down e botton-up. O primeiro canal tem inicio na alta direção e reúne informações gerenciais, de status do projeto e dos objetivos. O segundo canal reúne informações sobre falhas

identificadas, dificuldades que os funcionários encontram, entre outras informações. É uma das fontes mais importantes na identificação de causas de falha no projeto.

    - Respostas aos clientes: os clientes também devem ter informações sobre o status do projeto; muitos ERPs modelados para projetos da construção civil com integração online já incluem a opção de senhas para o cliente, onde ele pode acompanhar todo o andamento do projeto, assim como entrar em contato com os gestores através do sistema.

- Mecanismos de controle: Monitorar os eventos, identificar os desvios e controlar adequadamente os indicadores, ter como rastrear eventuais falhas ocorridas e corrigir falhas latentes.
- Evitar turnover: Conseguir a manter o pessoal envolvido no projeto ao longo do tempo de vida do projeto, o turnover pode causar perdas terríveis ao sistema, numerosos artigos falam sobre este problema sobre diversos aspectos. O turnover é um problema central deste trabalho e abaixo iremos discorrer um pouco a respeito deste problema.

2.3. Recursos Humanos em Projetos

Gerir bem os recursos humanos é de fundamental importância para o sucesso de qualquer empresa. Em um ambiente de desenvolvimento de projetos, essa gerência se torna ainda mais crítica para o sucesso do projeto.

Mishra (2007) define o gerenciamento de recursos humanos como uma atividade que inclui os processos necessários para coordenar as pessoas em um projeto, o PMI define também que o gerenciamento de recursos humanos do projeto inclui os processos que organizam e gerenciam a equipe do projeto. Ambas as fontes definem uma série de funções que fazem parte desses processos, no quadro 2.1, um paralelo entre as funções identificadas de acordo com as tarefas designadas.

Segundo Huemann *et al.* (2007) a boa gerência de recursos humanos atribui às pessoas um diferencial competitivo e contribui para o sucesso da organização, além da política de administração deste recurso afetar diretamente outras questões, como a rotatividade de mão de obra.

Mishra	PMI	ATRIBUIÇÕES
Desenvolvimento de um planejamento de recursos humanos	Planejamento de recursos humanos	Desenvolver um planejamento financeiro, de funções, atividades, hierarquia, cronograma das equipes no projeto (contratação e demissão)
Obtenção dos trabalhadores	Contratar / mobilizar a equipe do projeto	Obter novos trabalhadores, realizar treinamento e determinar as funções a ser exercida por cada um deles.
Orientação		
Designação		
Medição do rendimento desses trabalhadores	Desenvolver a equipe do projeto	Através dos objetivos estabelecidos a cada equipe, determinar indicadores para cada atividade realizada; Controlar o rendimento; Medir o andamento das atividades; Melhorar as competências dos membros das equipes.
Demissão após o ciclo de vida do produto	Gerenciar a equipe do projeto	São as etapas finais da administração de cada equipe, administrar problemas como turnover, encerrar vínculos profissionais, entre outras atividades.

Quadro 2.1 - Paralelo entre as funções da gestão de projetos

Mishra, 2007; PMI, 2004.

A importância da boa administração dos recursos humanos nos projetos é enfatizada por uma série de autores. Adlington *et al.* (2007) citam "…todos os aspectos importantes devem ser incluídos ao analisarmos a configuração to sistema, esta análise não deve ser restrita a apenas aspectos técnicos." Os autores ainda comentam que problemas com as pessoas tem um peso tão grande sobre o planejamento quanto problemas técnicos. A *Central Computer and Telecommunications Agency* (CCTA), do governo britânico, classifica as pessoas como um dos maiores riscos, pois, segundo sua análise, as pessoas são as responsáveis por realizar as tarefas e tentar alcançar o resultado final.

A importância das pessoas é ainda maior em projetos de empresas de tecnologia onde este tipo de recurso tem uma importância vital para o sucesso dos empreendimentos. Aggarwal e Rezaees *apud* Chapman (1998) ainda citam "em muitas situações a rotação dos

trabalhadores envolvidos no projeto forçou ao abandono total do projeto por parte dos administradores."

Huemann (2007) ainda cita que, em empresas que trabalham com projetos, o foco da gestão mudou consideravelmente de aspectos técnicos para aspectos humanos, em especial para gerenciamento de equipes.

A figura 2.2 mostra a diferença entre a o ciclo do vinculo do empregado com a empresa em uma companhia que trabalha por projetos e outra que não trabalha.

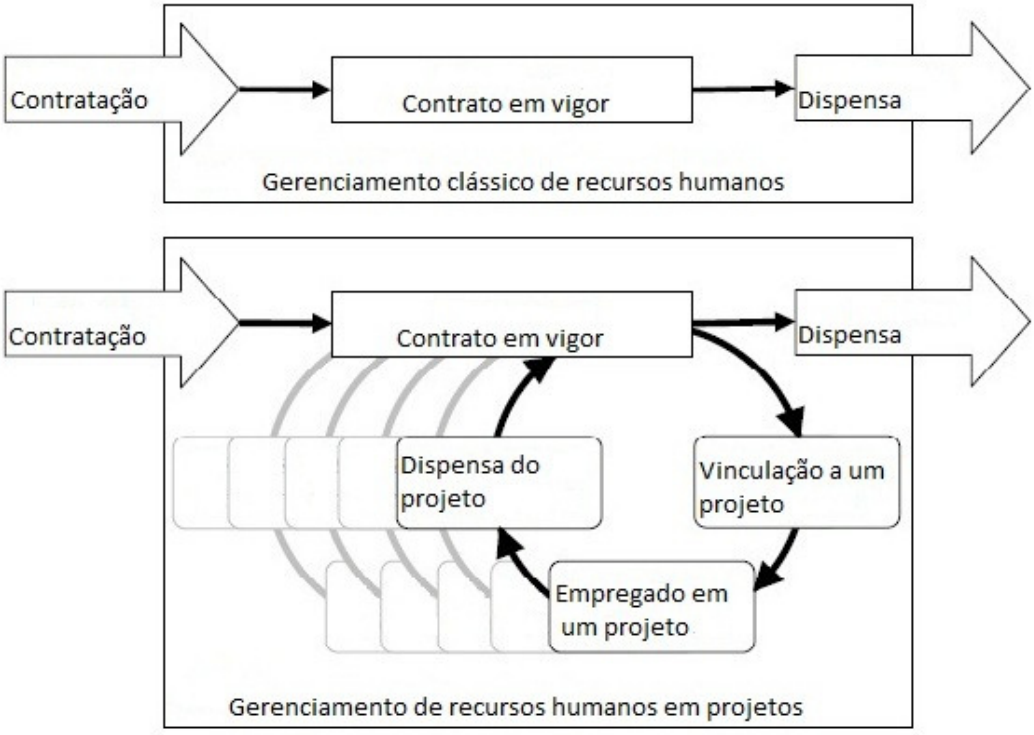

Figura 2.2 - Comparação entre ciclos de contratação/demissão. Adaptado de Huemann, 2007

2.4. Rotatividade de Mão de Obra

Duas causas primárias causam a rotatividade de mão de obra, a primeira é inerente à própria natureza dos projetos. O tipo de competência necessária varia de acordo com as atividades a serem executadas no projeto. Segundo Mishra (2007), o processo de aquisição de mão de obra é feito ao longo do todo o projeto, não apenas no início. Novas fases requerem mais trabalhadores com diferentes habilidades. Essa rotatividade é considerada natural e pode ser planejada antes do inicio das atividades. O segundo tipo de rotatividade não é planejado e pode ter como causa diversos fatores. Esta rotatividade da mão de obra se torna um grande

problema para qualquer gestor de projetos, produzindo como efeitos danosos, tais como a perda do treinamento dos funcionários que deixaram o projeto e o tempo que se gastará com treinamento dos respectivos suplentes, o que afeta diretamente a produtividade do sistema.

Na prática a perda de um funcionário significa perda de conhecimento e domínio dos procedimentos empresariais, além da identificação que foi construída entre a empresa e a pessoa. Skitmore (2005) identificou, através de pesquisas em uma série de artigos, as causas mais comuns associadas à rotatividade da mão de obra no nível operacional. As causas foram associadas a fatores sociais como o estado civil e a idade. Arnold e Feldman *apud* Skitmore (2005) citaram outras causas:

- Baixo rendimento e baixo comprometimento com o trabalho;
- Pagamento e benefícios inadequados e inadequação às responsabilidades atribuídas à cultura da empresa;
- Trocas de trabalho.

Alguns autores, como Dalton et al.(2006) , argumentam que algum nível de rotatividade é benéfico a empresa, prevenindo estagnação e promovendo oportunidades a novos trabalhadores. Em sua própria pesquisa, 49% dos entrevistados disseram que a rotação de trabalhadores prejudica substancialmente o desempenho do projeto.

2.5. Fases de um Projeto.

No caso dos recursos humanos, item indispensável em todo o projeto, existe ainda o fato das pessoas se comportarem de forma subjetiva, não determinística, modificando sua capacidade de trabalho e motivações específicas ao longo do projeto, e que ainda dependem de cada indivíduo. Assim, o perfeito gerenciamento de pessoas é tão ou mais crítico quanto o gerenciamento de outros recursos para os responsáveis pelo projeto.

Tradicionalmente, divide-se o projeto em quatro ou cinco fases:

1) Início ou Concepção:

2) Planejamento ou Desenvolvimento;

3) Execução ou Controle;

4) Finalização ou Encerramento.

Ao longo deste ciclo de vida de um projeto, existem três fases de utilização de recursos: a primeira, de crescimento da utilização dos recursos referente ao início do projeto; a segunda,

referente à utilização plena dos recursos; e a terceira, de finalização do projeto e decréscimo de utilização dos recursos (Casarotto Filho *et al*., 1996).

Durante o ciclo do projeto é importante notar que a capacidade dos stakeholders em influenciar o andamento do projeto vai diminuindo, assim como o custo de realizar uma modificação e corrigir erros aumenta, devido ao acumulo de atividades já realizadas e o efeito em cadeia da correção de um erro nestas atividades (Figura 2.3).

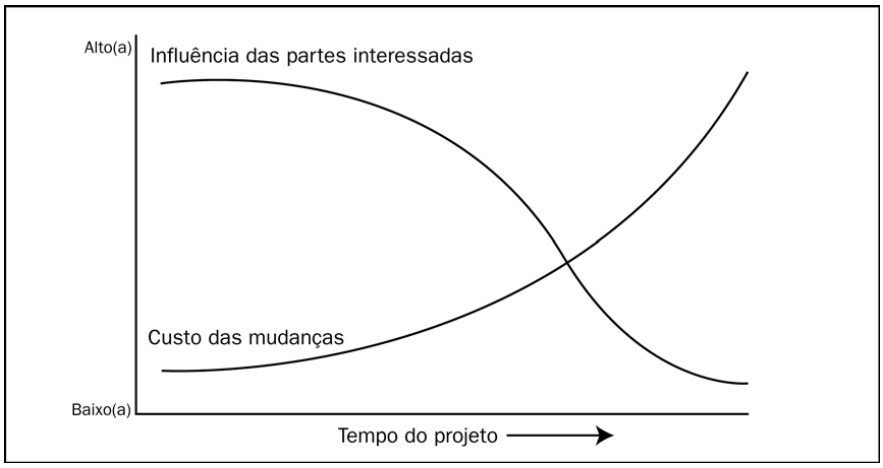

Figura 2.3: Influência das partes interessadas e o custo da mudança.
Fonte: PMI (Project management institute) (2004, pag. 21)

Aponta-se que o nível de recursos é relacionado ao número de atividades (esforço) que são realizadas ao longo do projeto. Verma (1995) indica que para um líder de projeto, o esforço apresenta o padrão indicado pela Figura 2.4. Este maior esforço acompanha não apenas um aumento da complexidade, mas também do número de atividades simultâneas do projeto em execução, cujo gerenciamento seria de responsabilidade destas lideranças.

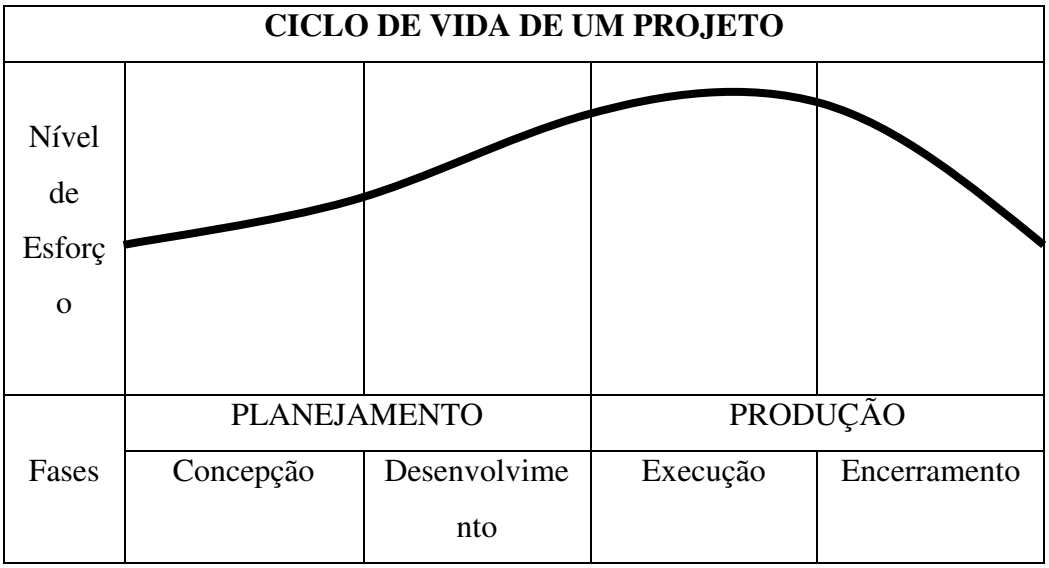

Figura 2.4 - Esforço de liderança durante o ciclo de vida de um projeto.

Fonte: Adaptado de Verma (1995)

Dentre os papéis que o líder deve exercer ao longo de um projeto, Verma (1995) destaca a formação de equipes. Esta equipe deverá ser definida de maneira eficiente, o que envolve tanto a especificação das competências requeridas, o que geralmente muda para cada função, como o número de profissionais com tais competências. Além disso, a quantidade de mão de obra exigida ao longo do projeto associada a todas as funções se altera à medida que o projeto avança, com um notável pico durante a fase de execução.

2.6. As Curvas de Agregação e Trapezoidal

Para realizar um bom gerenciamento das atividades de projetos faz-se necessário utilizar alguma sistemática para gerenciar adequadamente tanto a seqüência de atividades como os respectivos recursos empregados em cada etapa. A metodologia mais comum é através das curvas de agregação (Figura 2.5). As curvas de agregação vêm sendo usadas há décadas como base para o dimensionamento de custos em projetos, e por conseqüência dos recursos, assim como as "curvas trapézio" (Figura 2.6 e 2.7). Pela própria natureza do ciclo de vida de um projeto, são previstos por estes gráficos tanto o volume de atividades a serem executadas quanto o de recursos demandados ao longo do tempo (Kaka *et al.*, 1993).

A grande vantagem destas curvas é poder usá-la de maneira simples durante o dia a dia da gestão do projeto, o que contribui fortemente para o tratamento da complexidade inevitável, permitindo antecipar as variações de custos a cada etapa do planejamento. Além de facilitar a

tomada de decisão para problemas como Necessidade de re-planejamento, alteração dos valores do contrato da mão de obra, avaliação de aplicação de capital ou resgate de dinheiro.

A troca de informações é falha entre os setores, a curva de agregação é uma ferramenta importante na integração de informação entre os setores da empresa, integrando os custos de diferentes setores no planejamento e no desenvolvimento dos custos ao longo do projeto. O tempo de execução e consumo de mão de obra é de fundamental importância para a orçamentação do projeto.

Em compensação, da forma em que se trabalha com a curva S nas obras não supre as necessidades gerenciais. Sua função é de cumprir protocolos e memorandos, o controle em curto prazo é falho, a analise de custos é confusa. O planejamento dos custos é feito somente baseado em dados passados, não havendo uma tentativa de projeção.

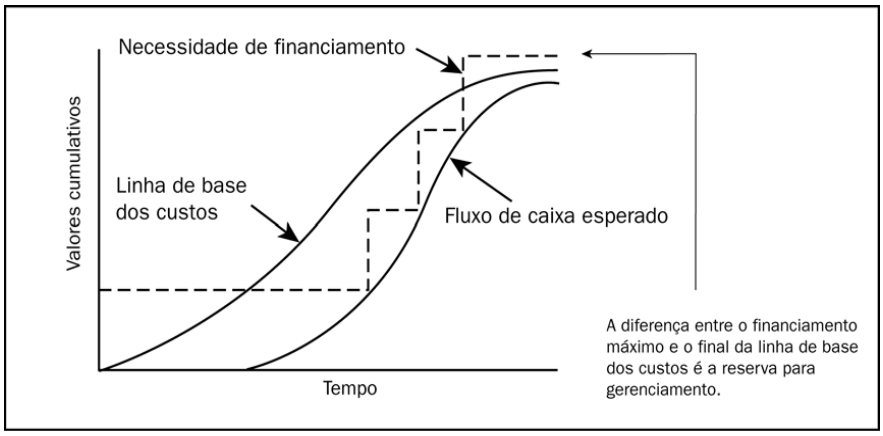

Figura 2.5 - Curva de agregação (Curva S) em projetos

Fonte: PMI (2004. pag. 170)

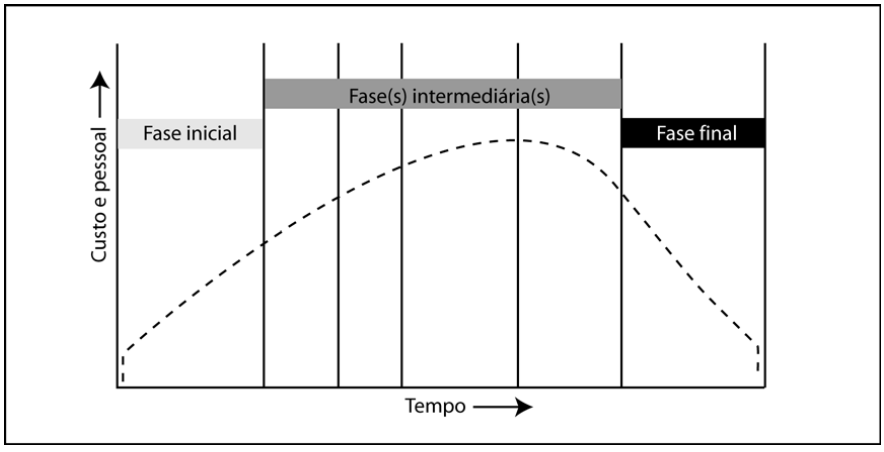

Figura 2.6 - Curva trapezoidal de custos em um projeto

Fonte: PMI (2004, pag. 21)

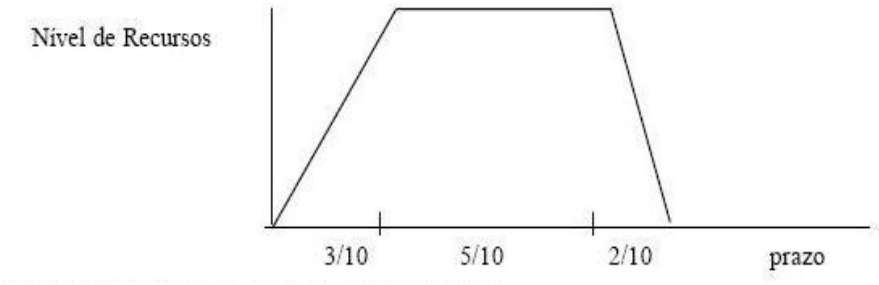

Figura 2.7 - Curva trapezoidal ideal.
Shtub apud Casaroto (1996)

Fica evidente que o acumulo de tarefas dessa forma torna uma curva trapezoidal uma alternativa bastante plausível para modelar o problema, assim como a curva S, ou curva de agregação, cujo formato surge do acumulo de atividades descritas pela curva trapezoidal. Então, as abordagens mais comuns tomam como princípio que essas curvas automaticamente são adequadas ao projeto, bastando apenas calcular poucos parâmetros, afim de melhor ajustar o formato das curvas à realidade do projeto que está sendo trabalhado.

Outro aspecto a ser enfatizado é que essas abordagens são utilizadas somente para dimensionar recursos "comuns". Para o dimensionamento de equipes de projeto não tem se recorrido a esse tipo de planejamento. Para o problema de variação, demissão e troca de mão de obra, o tratamento é feito de forma qualitativa, usando conceitos das teorias de gestão e de liderança, ficando evidente a carência de avaliações quantitativas a esse respeito Proverbs *et al. (1999);* Huemann *et al. (2007).*

Embora tenha sido largamente identificada em projetos de diferentes naturezas, constatadas principalmente através de emprego de métodos estatísticos, a maioria por regressão polinomial, (Kaka *et al.* 2003), ainda são desconhecidas as causas ou fatores que determinam este padrão de comportamento das curvas de agregação. Além disso, os modelos de ajuste da curva S a partir dos dados ainda tem se mostrado imprecisos, o que tem sido atribuído, segundo Kaka *et al.* (1993), à variação de um projeto para o outro, a falhas no agrupamento de projetos, a desbalanceamentos e a erros de estimação.

A falta de modelagens matemáticas que permitam a determinação da efetividade destes modelos da curva S para o dimensionamento confiável de recursos pode ser encarada como uma limitação atual aos métodos usados neste problema. Pode se destacar ainda que, visto dentro da realidade hipercompetitiva em que se encontram diversos setores produtivos,

conseguir gerenciar os recursos de seus projetos de maneira ótima pode significar a sobrevivência ou não da empresa no curto e longo prazo, tornando evidente a urgência da aplicação de métodos quantitativos.

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma abordagem por controle ótimo da gestão de pessoas em grandes projetos, cada projeto com características singulares e um alto grau de complexidade. Neste modelo é derivada a política de controle sobre o projeto, do início ao fim, de modo a minimizar os custos decorrentes de sua operação. Esse modelo será também adequado à fase de execução do projeto, onde o total de atividades a serem feitas é relativamente grande, e a mão de obra é mais homogênea, embora numerosa, tendendo a ser, na maioria dos casos, de menor qualificação. Na resolução do modelo será usado o Princípio do Máximo de Pontryagin, que estabelece as condições necessárias para a solução do problema geral do controle.

3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Este capítulo trata do desenvolvimento do modelo proposto, definindo as variáveis utilizadas as equações encontradas, assim como um texto introdutório sobre controle ótimo, o principio do máximo e sistemas dinâmicos.

3.1. Problema do Controle Ótimo

O problema do controle ótimo é um dos desafios fundamentais da chamada Teoria do Controle. Trata-se de um modelo normativo para o comportamento de sistemas dinâmicos sujeitos a influências externas, ou seja, o controle por parte de agentes de controle, de modo que tal sistema atenda a índices de desempenho previamente determinados. Essa teoria tem por objetivo determinar o caminho, ou trajetória ótima para um dado sistema de acordo com um critério de otimização pré-determinado. Em um sistema autônomo, o objetivo do problema do controle é descrito por um funcional objetivo em termos das variáveis temporais de estado e de controle, e as restrições são equações diferenciais, que representam como a dinâmica do sistema é afetada pelo grupo das variáveis temporais de estado e de controle (Intriligator, 1971).

Em 1962, o matemático russo Lev Pontryagin forneceu inestimável contribuição à Teoria do Controle quando expôs as condições necessárias para a solução do problema do controle ótimo. O famoso Princípio do Máximo é hoje compreendido como a extensão do método de Lagrange para problemas de otimização dinâmica, e tem permitido extrair conclusões valiosas em diferentes áreas de conhecimento, como a Biologia, Física, Economia, entre outras. Como resultado da aplicação do Princípio do Máximo, chega-se a um conjunto de equações que descrevem as trajetórias que variáveis de estado e de controle devem apresentar no espaço de estados e de controle, respectivamente, a fim de otimizar o valor do funcional objetivo.

A forma geral do problema de controle ótimo é da seguinte forma:

$$\text{Max } J = \int_{t_0}^{t_1} I(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)dt + F(\mathbf{x_1}, t_1)$$

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)$$

$$\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x_0}$$

$$\mathbf{x}(t_1) = \mathbf{x_1}$$

$$\{\mathbf{u}(t)\} \in U$$

onde: $\mathbf{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), ...x_m(t))$ é o vetor de variáveis de estado do sistema; $\mathbf{u}(t) = (u_1(t), u_2(t), ...u_n(t))$ é o vetor das variáveis de controle; $F(\cdot,\cdot,\cdot)$, $I(\cdot,\cdot,\cdot)$ e $\mathbf{f}(\cdot,\cdot,\cdot)$ são funções continuamente diferenciáveis no domínio; $\{\mathbf{u}(t)\}$ é a trajetória de controle, que deve pertencer ao conjunto de controle dado U; x_0 e t_0 são parâmetros conhecidos e ainda temos x_1 ou t_1 como parâmetros dados para determinar o fim da trajetória (Intriligator, 1971).

O princípio do máximo consiste na introdução de novas variáveis ao problema do controle ótimo para cada equação diferencial existente no sistema, permitindo incorporar cada uma destas restrições na função objetivo. De forma análoga ao modelo estático, adiciona-se ao problema de otimização dinâmica um novo vetor de variáveis, chamadas de variáveis de co-estado $\mathbf{y}(t) = (y_1(t), y_2(t), y_3(t), ..., y_n(t))$, definidas em todo o intervalo $[t_0; t_1]$. Estas variáveis são correspondentes no caso dinâmico aos multiplicadores de Lagrange. Elas nos dão informação sobre a sensibilidade da solução encontrada do sistema em relação a variações dos parâmetros. Assim, surge um ponto de sela, dada a maximização das variáveis de decisão originais e a minimização das novas variáveis.

A solução do problema do controle ótimo pode então ser encontrada através da aplicação das condições de otimalidade do Princípio do Máximo à função hamiltoniana $H = I(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \mathbf{y}, t) + \mathbf{y}\mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t)$, sendo y_n as n variáveis de co-estado e $g_n(x)$ as n restrições do sistema. As condições para o ótimo podem ser escritas na seguinte forma:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{x}} = -\dot{\mathbf{y}}$$

$$\frac{\partial F}{\partial \mathbf{x}_1} = \mathbf{y}(t_1)$$

3.2. Modelo de Dimensionamento Ótimo de Recursos Humanos

Como mencionado, o propósito do presente trabalho é o de montar um modelo de controle ótimo para o problema do dimensionamento de recursos humanos em projetos, e resolvê-lo pela aplicação do Princípio do Máximo de Pontryagin. A justificativa principal surge de que a

expressão usada na estimação da curva de agregação de custos foi obtida a partir da resolução de um sistema de equações diferenciais (Cioffi, 2005). A situação adotada a princípio era o de gerenciar a mão de obra de uma empresa responsável pela execução de um grande empreendimento. Por se tratar de um projeto que exige mão-de-obra própria, esta será contratada exclusivamente em caráter temporário.

Devido às incertezas associadas à gestão de pessoas, o quadro pessoal sofre de uma constante rotatividade, podendo os trabalhadores pedir demissão, sofrerem acidentes de trabalho ou serem demitidos a qualquer momento. Essa rotatividade da mão de obra deve ser controlada com a contratação e treinamento de novos trabalhadores durante o projeto. Para a elaboração do modelo, assumimos a existência de períodos de contratação e de demissão, dependendo da fase do projeto, além da reposição das baixas citadas acima.

Para a construção do modelo foram utilizadas as variáveis expostas no quadro 3.1.

VARIÁVEIS (Função do Tempo)	TIPO	DESCRIÇÃO
U	Controle	Política de contratação/demissão, expressa em número de trabalhadores
N	Estado	Número de trabalhadores no projeto em um dado instante de tempo
P	Estado	Progresso do andamento do projeto em termos percentuais, representando desde o início da primeira atividade (0% concluído) até o término da última atividade (100% concluído).

Quadro 3.1 - Parâmetros do modelo

Todas as variáveis indicadas assumem valores reais no tempo, e, portanto, contínuas. Entretanto, no caso das variáveis de estado N e P, existem restrições que reduzem a faixa de valores a subconjuntos de $\Re$. Enquanto P está limitado ao intervalo $[0,1]$, N pertence a $\Re^+$, ou seja, $N \geq 0$. Em contrapartida, admite-se que não há quaisquer limitações para a taxa de contratação ou demissão de pessoas na equipe do projeto, sinalizando que o espaço de controle da variável U é o próprio conjunto dos números reais $\Re$. Embora os espaços de estados para as variáveis N e P devessem ser indicadas como parte do problema, não se faz

necessário torná-las explícitas devido à maneira como o modelo é estruturado, de modo a evitar que tais variáveis nunca alcancem regiões de indefinição.

Os custos totais ao longo da vida de um projeto requerem algumas suposições sobre a estrutura de custos, que deriva de dois fatores: o contingente de pessoas em serviço a cada instante participando no desenvolvimento e execução do projeto, além da política de contratação/demissão de pessoal. Estes fatores estão relacionados às variáveis N e U, respectivamente. Tais aspectos puderam ser representados por meio da seguinte função:

$$K(\eta,\xi) = \int_{\eta}^{\xi} [\beta N + \theta U^2] dt \tag{01}$$

onde K representa os custos totais do intervalo de tempo $[\eta,\xi]$. O parâmetro β é taxa do custo com a remuneração e encargos dos trabalhadores. Por remuneração entende-se um pagamento por homem-hora de trabalho, que deve ser feita de acordo com o desempenho da mão-de-obra. Isto implica em uma remuneração também homogênea. O parâmetro θ é taxa de custo com contratações e demissões, ou de transferências e adaptações/treinamentos, se a empresa for orientada a projetos, pois as equipes serão formadas neste caso a partir da designação de funcionários já contratados pela empresa (Huemann *et al.*, 2007). Assume-se que em cada período, o gestor do projeto estará contratando ou demitindo, mas não ambos simultaneamente.

O objetivo então é o de determinar a melhor política de contratação/demissão da mão-de-obra U que minimize o custo total K, um funcional objetivo que agrega o todos os custos assumidos com mão de obra ao longo do projeto. Esta solução ótima ainda deverá necessariamente obedecer à dinâmica das variáveis de estado do modelo, ou seja, N e P. No caso em que o projeto inicia no tempo 0 e termina no tempo τ, o funcional objetivo do problema passa a ser expresso por:

$$K(0,\tau) = \int_{0}^{\tau} [\beta N + \theta U^2] dt \tag{02}$$

Admite-se que a adequação da função intermediária (integrando) proposta ainda deverá ser constatada em cada caso antes da aplicação dos resultados do modelo.

Na dinâmica da mão-de-obra, foram retratados dois processos: o da demissão/contratação por parte do gestor do projeto, e o abandono/afastamento voluntário ou não por parte dos integrantes da equipe de projeto. Ambos os processos foram retratados pela seguinte equação dinâmica, e respectivas condições inicial e final:

$$\dot{N} = U - \mu.N\,, \tag{03}$$

$$N(0) = N_0,\ N(\tau) = N_\tau\,, \tag{04}$$

onde μ é a taxa de abandono/afastamento associada a cada integrante do projeto. Ou seja, a variação da mão de obra em um período qualquer é dado pelo número de contratados ou demitidos e do total de trabalhadores, que abandonaram ou foram afastados do projeto. Para a determinação de μ, deve ser levado em conta as causas de abandono/afastamento de mão de obra com origem não gerencial, entre elas: demissão voluntária dos funcionários; demissão por justa causa; acidentes de trabalho; e doenças. Parker e Skitmore (2005) argumentam que o *turnover* ocorre predominantemente na fase de execução do projeto e está basicamente associado às perspectivas de desenvolvimento e a insatisfação com a organização ou o gerenciamento.

Na dinâmica da evolução do projeto, os processos retratados são referentes ao esforço produtivo realizado pelos integrantes do projeto, ou a capacidade de um grupo de realizar trabalho por unidade de tempo, e às alterações sofridas pelo projeto ao longo do tempo, gerando um aumento de sua complexidade. Assim, a equação que possibilita captar estes dois fenômenos, bem como as respectivas condições inicial e final, são representadas por:

$$\dot{P} = \gamma N - \alpha P\,, \tag{05}$$

$$P(0) = P_0,\ P(\tau) = P_\tau\,, \tag{06}$$

onde γ taxa de produtividade da equipe do projeto e o α é a taxa de alterações no projeto. Ou seja, a variação do percentual de atividades concluídas é função do desempenho dos trabalhadores envolvidos no projeto, o que depende de suas produtividades, e do aumento das complicações inerentes às alterações de um projeto à medida em que ele avança.

Para a avaliação do parâmetro γ, considera-se que a mão de obra apresenta um desempenho homogêneo. Em diversos contextos, essa é uma simplificação bastante plausível, pois em cada etapa de um projeto, é comum um grupo de trabalhadores unir esforços para a realização de uma mesma tarefa. Entretanto, profissionais com desempenho homogêneo não significa necessariamente possuir uma mesma formação, capacitação ou treinamento, mas que a contribuição individual para a conclusão do projeto se dá na mesma intensidade.

A característica do modelo captada pelo parâmetro α é que o projeto sofre alterações constantes, precisando ser submetido a freqüentes reparos e retrabalhos, além de atividades não previstas que surgem durante a execução da obra, aumentando assim a complexidade

geral do projeto. Conseqüentemente a quantidade de recursos e o custo associado para a realização das atividades também tendem a aumentar. A determinação de α deve incluir outros fatores, tais como: retrabalhos que se façam necessários; modificação de tecnologia durante o processo; e fatores exógenos (crises financeiras, forças da natureza, etc.). Observa-se também que, caso o projeto venha a ser abandonado, ele sofrerá uma deterioração natural e contínua de sua evolução, acabando por retroceder em direção ao ponto inicial das atividades.

Em consonância com a descrição exposta, o modelo de controle ótimo para o dimensionamento dos recursos humanos em projetos pode ser dado por:

$$\begin{aligned} &\underset{\{U(t)\}}{\text{Min}} \quad K(0,\tau) = \int_0^{\tau} [\beta N + \theta U^2]dt \\ &\text{s.a}: \quad \dot{N} = U - \mu.N \\ &\qquad \dot{P} = \gamma N - \alpha P \\ &\qquad N(0) = N_0,\ N(\tau) = N_\tau, P(0) = P_0,\ P(\tau) = P_\tau \end{aligned} \tag{07}$$

Todos os parâmetros do modelo que permitem interpretar os termos que compõem cada função encontram-se resumidos no quadro 3.2.

PARÂMETROS	LOCALIZAÇÃO	DESCRIÇÃO
β	Funcional Objetivo	Custo com Remuneração (salário, gratificações etc.) Custo com Encargos Sociais
θ	Funcional Objetivo	Custo de Contratação / Demissão Custo de Transferência / Adaptação / Treinamento
τ	Funcional Objetivo	Tempo final
μ	Restrição	Demissão voluntária Demissão por justa causa Acidentes de trabalho Doenças
γ	Restrição	Produtividade
α	Restrição	Solicitações de mudanças Aumento de complexidade do projeto

Quadro 3.2 - Parâmetros do modelo

3.3. Controle Ótimo da Evolução de Projetos

Para a resolução do modelo de dimensionamento ótimo de recursos humanos, primeiro é derivada a função hamiltoniana, dada por:

$$H(N,P,U,Y,Z) = -[\beta N + \theta U^2] + Y[U - \mu N] + Z[\gamma N - \alpha P] \tag{08}$$

onde, Y e Z são variáveis de co-estado associadas às equações dinâmicas de N e P, respectivamente. A partir da função hamiltoniana, as condições de otimalidade podem ser derivadas em decorrência da aplicação do Princípio do Máximo de Pontryagin, que resultam no seguinte sistema de equações:

$$\frac{\partial H}{\partial U} = 0 = Y - 2\theta U \ , \tag{09}$$

$$\frac{\partial H}{\partial N} = -\dot{Y} = -\beta - \mu Y + \gamma Z \ , \tag{10}$$

$$\frac{\partial H}{\partial P} = -\dot{Z} = -\alpha Z \ , \tag{11}$$

$$\frac{\partial H}{\partial Y} = \dot{N} = U - \mu N \ , \tag{12}$$

$$\frac{\partial H}{\partial Z} = \dot{P} = \gamma N - \alpha P \ . \tag{13}$$

A resolução das equações (11) e (10), nesta ordem, permite encontrar as variáveis de co-estado Z e Y, respectivamente, na forma:

$$Z = Ae^{\alpha t} \ , \tag{14}$$

$$Y = -\frac{\beta}{\mu} - \frac{\gamma A e^{\alpha t}}{(\alpha - \mu)} + Be^{\mu t} \ , \tag{15}$$

onde A e B são constantes de integração. A variável de controle U e as variáveis de estado N e P, por sua vez, são calculadas a partir das equações I, IV e V do sistema (01), respectivamente, obedecendo esta ordem. Com isso:

$$\begin{cases} U = -\dfrac{\beta}{2\theta\mu} - \dfrac{\gamma A e^{\alpha t}}{2\theta(\alpha - \mu)} + \dfrac{Be^{\mu t}}{2\theta} \\ N = -\dfrac{\beta}{2\theta\mu^2} - \dfrac{\gamma A e^{\alpha t}}{2\theta(\alpha^2 - \mu^2)} + \dfrac{Be^{\mu t}}{4\theta\mu} + Ce^{-\mu t} \\ P = -\dfrac{\gamma\beta}{2\theta\alpha\mu^2} - \dfrac{\gamma^2 A e^{\alpha t}}{4\theta\alpha(\alpha^2 - \mu^2)} + \dfrac{\gamma B e^{\mu t}}{4\theta\mu(\alpha + \mu)} + \dfrac{\gamma C e^{-\mu t}}{(\alpha - \mu)} + De^{-\alpha t} \end{cases} \tag{16}$$

Antes de determinar os valores das constantes de integração A, B, C e D, faz-se necessário incluir a condição para que a evolução do projeto ocorra sem retrocessos, ou seja:

$$\dot{P}(t) \geq 0 \Rightarrow \gamma N(t) - \alpha P(t) \geq 0 . \tag{17}$$

Esta equação significa que a evolução do projeto é não negativa, dando seqüência à conclusão das atividades. A partir desta constatação, será possível definir valores para as condições iniciais e finais necessárias que asseguram o fechamento do projeto. Rearrumando a inequação (17) chega-se que, ao longo do desenvolvimento do projeto:

$$N(t) \geq \frac{\alpha}{\gamma} P(t) . \tag{18}$$

Com isso, no início do projeto:

$$P(t) = 0 \Rightarrow N(t) \geq 0 \ , \tag{19}$$

e no fim do projeto:

$$P(t) = 1 \Rightarrow N(t) \geq \frac{\alpha}{\gamma} . \tag{20}$$

Com base nas relações encontradas, será então admitido que a empresa começa o projeto sem trabalhadores disponíveis, tendo que realizar admissões logo após o seu início. Por outro lado, será assumido que a equipe de projetos terá no tempo final um total de integrantes dado pelo ínfimo indicado na condição (20). Com isso, tem-se, respectivamente, as seguintes condições inicial e final para as variáveis de estado do modelo de controle ótimo:

$$N_0 = 0 \, ; N_\tau = \frac{\alpha}{\gamma} ; \tag{21}$$

$$P_0 = 0 \, ; P_\tau = 1 . \tag{22}$$

A aplicação do resultado obtido no sistema de equações (16) nas condições iniciais e finais destas mesmas variáveis permitem o cálculo das constantes de integração em função dos parâmetros do modelo a partir do seguinte sistema linear com 4 incógnitas e 4 equações:

$$\begin{cases} N(0) = -\dfrac{\beta}{2\theta\mu^2} - \dfrac{\gamma A}{2\theta(\alpha^2 - \mu^2)} + \dfrac{B}{4\theta\mu} + C = 0 \\ P(0) = -\dfrac{\gamma\beta}{2\theta\alpha\mu^2} - \dfrac{\gamma^2 A}{4\theta\alpha(\alpha^2 - \mu^2)} + \dfrac{\gamma B}{4\theta\mu(\alpha + \mu)} + \dfrac{\gamma C}{(\alpha - \mu)} + D = 0 \\ N(\tau) = -\dfrac{\beta}{2\theta\mu^2} - \dfrac{\gamma A e^{\alpha\tau}}{2\theta(\alpha^2 - \mu^2)} + \dfrac{B e^{\mu\tau}}{4\theta\mu} + C e^{-\mu\tau} = \dfrac{\alpha}{\gamma} \\ P(\tau) = -\dfrac{\gamma\beta}{2\theta\alpha\mu^2} - \dfrac{\gamma^2 A e^{\alpha\tau}}{4\theta\alpha(\alpha^2 - \mu^2)} + \dfrac{\gamma B e^{\mu\tau}}{4\theta\mu(\alpha + \mu)} + \dfrac{\gamma C e^{-\mu\tau}}{(\alpha - \mu)} + D e^{-\alpha\tau} = 1 \end{cases} \tag{23}$$

Após rearranjar as equações de (23), este sistema se torna, em notação matricial:

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{4\theta\mu} & 1 & 0 & -\frac{\gamma}{2\theta(\alpha^2-\mu^2)} \\ \frac{\gamma}{4\theta\mu(\alpha+\mu)} & \frac{\gamma}{(\alpha-\mu)} & 1 & -\frac{\gamma^2}{4\theta\alpha(\alpha^2-\mu^2)} \\ \frac{e^{\mu\tau}}{4\theta\mu} & e^{-\mu\tau} & 0 & -\frac{\gamma e^{\alpha\tau}}{2\theta(\alpha^2-\mu^2)} \\ \frac{\gamma e^{\mu\tau}}{4\theta\mu(\alpha+\mu)} & \frac{\gamma e^{-\mu\tau}}{(\alpha-\mu)} & e^{-\alpha\tau} & -\frac{\gamma^2 e^{\alpha\tau}}{4\theta\alpha(\alpha^2-\mu^2)} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \\ C \\ D \\ A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\beta}{2\theta\mu^2} \\ \frac{\gamma\beta}{2\theta\alpha\mu^2} \\ \frac{\alpha}{\gamma}+\frac{\beta}{2\theta\mu^2} \\ 1+\frac{\gamma\beta}{2\theta\alpha\mu^2} \end{pmatrix}. \tag{24}$$

Renomeando cada elemento da matriz e do vetor no sistema (24), tem-se que:

$$\begin{pmatrix} a & 1 & 0 & b \\ c & d & 1 & f \\ g & h & 0 & i \\ j & l & m & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B \\ C \\ D \\ A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u \\ v \\ x \\ z \end{pmatrix}. \tag{25}$$

A existência de solução única do sistema (25) pode ser verificada pelo cálculo do determinante da matriz dos coeficientes das variáveis A, B, C e D. Recorrendo ao teorema de Cauchy, chega-se que:

$$\det\begin{pmatrix} a & 1 & 0 & b \\ c & d & 1 & f \\ g & h & 0 & i \\ j & l & m & n \end{pmatrix} = 2gm = \frac{e^{(\mu-\alpha)\tau}}{2\theta\mu} \neq 0. \tag{26}$$

Foi, portanto, demonstrado que as equações que formam o sistema (25) são linearmente independentes, pois o determinante da matriz dos coeficientes é não nulo. Com isso, torna-se possível resolver o sistema para as variáveis A, B, C e D, cuja solução é dada por:

$$\begin{cases} A = \dfrac{(mv-z)(ah-g)+(ug-xa)(dm-l)+(uh-x)(j-cm)}{(mf-n)(ah-g)+(bg-ia)(dm-l)+(bh-i)(j-cm)} \\ B = \dfrac{(i-bh)}{(ah-g)}A - \dfrac{(x-uh)}{(ah-g)} \\ C = u - bA - aB \\ D = (v-ud)-(f-bd)A-(c-ad)B \end{cases} \tag{27}$$

Estes valores, quando substituídos nas equações do sistema (16), descrevem a trajetória ótima das variáveis de estado e de controle em função dos parâmetros do modelo.

O custo ótimo do projeto pode ser igualmente obtido ao substituir o resultado encontrado nos sistemas de equações em (16) e (27) na expressão (01). Com isso, chega-se que:

$$K(\eta,\xi) = -\frac{\beta^2(\xi-\eta)}{4\theta\mu^2} - \frac{\gamma\beta A(e^{\alpha\xi}-e^{\alpha\eta})}{2\theta\alpha(\alpha^2-\mu^2)} - \frac{\beta B(e^{\mu\xi}-e^{\mu\eta})}{4\theta\mu^2} - \frac{\beta C(e^{-\mu\xi}-e^{-\mu\eta})}{\mu}$$
$$+ \frac{\gamma^2 A^2(e^{2\alpha\xi}-e^{2\alpha\eta})}{8\theta\alpha(\alpha-\mu)^2} + \frac{B^2(e^{2\mu\xi}-e^{2\mu\eta})}{8\mu\theta} \qquad (28)$$
$$+ \frac{\gamma\beta A(e^{\alpha\xi}-e^{\alpha\eta})}{2\theta\mu\alpha(\alpha-\mu)} - \frac{\gamma AB(e^{(\alpha+\mu)\xi}-e^{(\alpha+\mu)\eta})}{2\theta(\alpha^2-\mu^2)},$$

onde $K(\eta,\xi)$ é o custo ótimo do projeto para o período compreendido no intervalo (η,ξ). Para se calcular o custo total do projeto, deve se determinar o valor de $K(0,\tau)$, que seria usada como previsão de todas as despesas atribuídas aos recursos humanos.

3.4. Simulação

Com a finalidade proporcionar uma visualização do comportamento das variáveis do modelo, foi realizada uma simulação caracterizada pelo seguinte conjunto de parâmetros:

$$\alpha = 0{,}01;\ \mu = 0{,}5;\ \gamma = 0{,}001;\ \beta = 500;\ \theta = 10;\ \tau = 25. \qquad (29)$$

A intenção principal foi a de prover uma comparação, por meio da atribuição de valores razoáveis para os parâmetros do modelo aplicado a um projeto genérico, com as formas descritas em outros trabalhos sobre a utilização de recursos em projetos. Como resultado, chegou-se às seguintes equações dinâmicas das variáveis de controle e de estado do modelo, obtidas da substituição dos parâmetros simulados nas equações do sistema (16):

$$U(t) = -50 + 68{,}4053e^{0{,}01t} - 0{,}0002e^{0{,}5t}, \qquad (30)$$

$$N(t) = -100 + 134{,}075e^{0{,}01t} + 25e^{0{,}5t} - 34{,}1279e^{-0{,}5t}, \qquad (31)$$

$$P(t) = -10 + 6{,}7064e^{0{,}01t} - 4{,}5.10^{-7}e^{0{,}5t} + 0{,}06964e^{-0{,}5t} + 3{,}224e^{-0{,}01t}. \qquad (32)$$

Em seguida, foram estabelecidas representações gráficas para estas variáveis, que servirão mais para uma análise do padrão geral de comportamento destas variáveis do que propriamente dos valores numéricos observados.

Pelo gráfico da figura 3.1 observa-se que que no início do projeto faz-se necessária a contratação de um número relativamente alto de trabalhadores, cuja intensidade cresce lentamente durante boa parte do projeto. A contratação de trabalhadores então aumenta progressivamente, até que atinje um pico, que no caso simulado ocorre por volta do mês 18. Após esse pico o ritmo de contratação vai diminindo rapidamente até próximo à fase final do projeto, quando são iniciadas as demissões, o que ocorre em torno do mês 24.

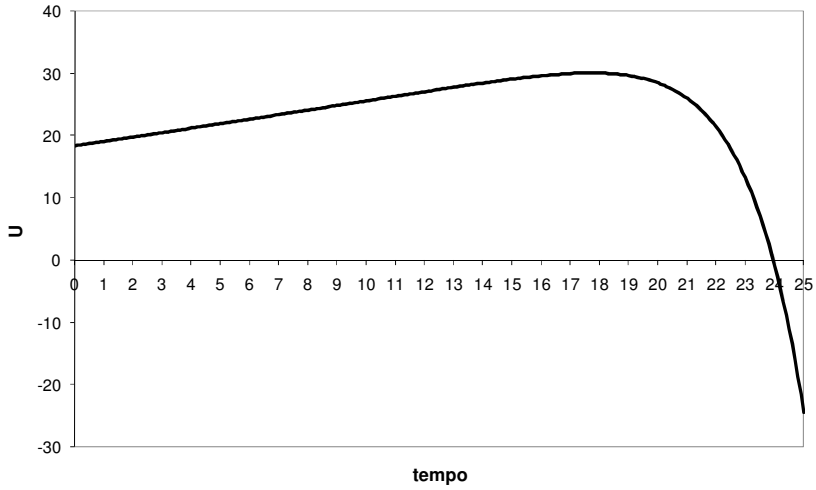

Figura 3.1 - Política de contratação/demissão de trabalhadores no projeto

A figura 3.2 indica o gráfico do número total de trabalhadores no projeto em cada instante, observa-se o aumento do contingente de trabalhadores partindo do inicio das atividades até o mês 20, aproximadamente onde o contingente total de trabalhadores começa a decair, seguindo a influencia da política de contratação e demissão estabelecida. Outro ponto importante de ressaltar é que para terminarmos o projeto, necessitamos de um número mínimo de pessoal de forma a evitar que o projeto em algum momento apresentasse uma evolução decrescente.

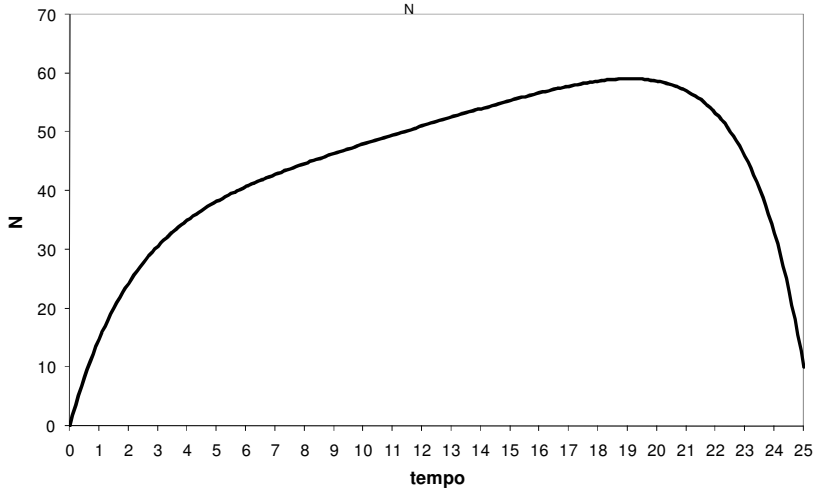

Figura 3.2 - Evolução do número total de trabalhadores no projeto

Na figura 3.3, é apresentado o gráfico para P, onde se torna possível identificar a clássica forma da curva S, amplamente utilizada em gestão de projetos, mostrando o total percentual acumulado de atividades, do 0% até o termino das atividades em 100% ou 1 no gráfico.

Embora a forma identificada na figura 3.1 não tenha sido relatada com tanta freqüência, ambas formas das figuras 3.2 e 3.3 já são bastante conhecidas e relatadas em decorrência do gerenciamento de recursos de projetos, mesmo que nem todas as suposições do presente modelo sejam adequadas. Também deve ser notado que todos os gráficos identificados para as variáveis temporais têm por base a função exponencial, em decorrência do modelo de controle ótimo ser do tipo linear-quadrático.

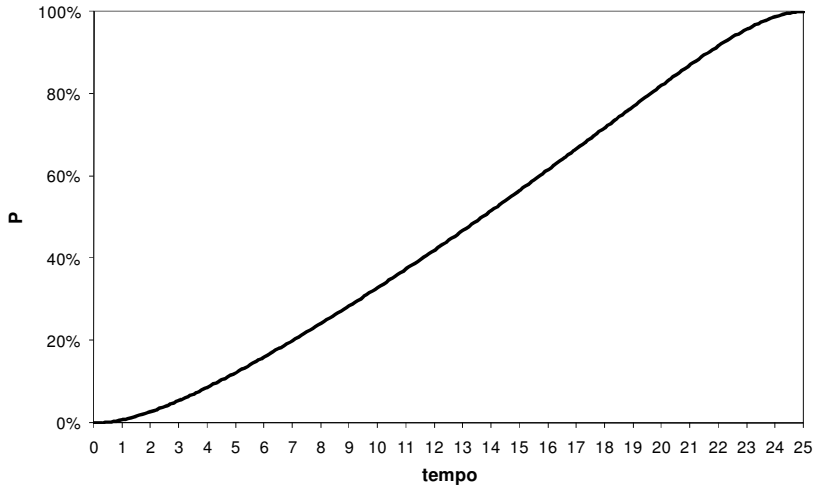

Figura 3.3 - Evolução do percentual de atividades concluídas do projeto

A Figura 3.4 mostra qual seria o custo total do projeto por unidade de tempo, obtida pela aplicação da equação (01) aos intervalos $(x-1, x), x = 1,2,..., \tau$. O custo total calculado do projeto com recursos humanos a partir da soma dos custos em cada um dos 25 períodos foi, portanto, de $K(0,25) = 707168$.

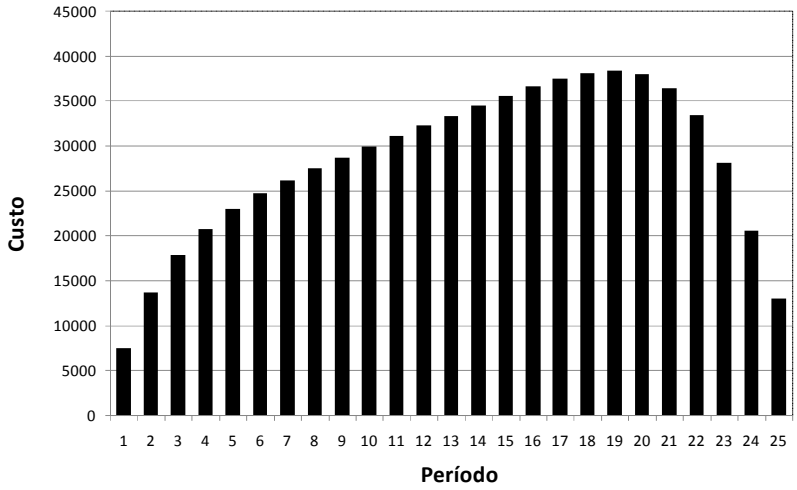

Figura 3.4 - Evolução do custo do projeto por período

A simulação realizada confirma os resultados previstos, resultando nas formas clássicas das curvas de gestão de projetos. A curva encontrada para a equação U não foi verificada em nenhum outro trabalho nesta área. Mostrando qua a formas previamente trabalhadas não permitiam que certas informações fossem observadas.

Para uma análise imediata sobre esta equação, se sugere que fosse feito o caminho inverso do apresentado neste trabalho; analisar dados de projetos, bem e mal sucedidos e analisar se os gestores envolvidos seguiram uma política de contratação e demissão semelhante com a encontrada.

4. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados neste trabalho mostram uma nova perspectiva em modelagem de recursos humanos para projetos. Utilizando parâmetros relativos aos fatores de competência, motivação, desempenho e custo do trabalho humano em projetos, foi possível derivar padrões clássicos de comportamento estimados para a evolução dos recursos em projetos, que vinham sendo obtidas a partir do ajuste de dados de projetos em contexto semelhantes. Isto demonstra que a gestão de recursos humanos em projetos apresenta propriedades que tornam viável a sua representação por meio de expressões algébricas.

No entanto, deverá ser feita uma ressalva quanto à extensão dos resultados constatados ao gerenciamento de recursos não humanos de projetos. A adequação para um modelo que previsse o gerenciamento de recursos não humanos deveria partir do entendimento de quais mecanismos seriam subjacentes ao do modelo para recursos humanos. Espera-se, contudo, que tais mecanismos possam de fato oferecer equivalência entre os descritos no presente modelo, validando desta maneira o uso destes resultados a quaisquer recursos. Deve se mencionar que os trabalhos que têm relatado o aparecimento da curva S no gerenciamento de custos não distinguem o tipo de recursos empregados no projeto.

Não foram feitas considerações maiores sobre como se processa o efeito de cada elemento do modelo, em especial quanto ao valor dos parâmetros, sobre a dinâmica ótima das variáveis temporais, pois as expressões resultantes da resolução do sistema de equações dinâmicas não puderam ser simplificadas a tal ponto que possibilitasse uma fácil compreensão da contribuição individual de cada elemento.

Recomenda-se que o uso da presente ferramenta para a previsão de custos em projetos sirva primordialmente como base para a formação eficiente de equipes de projeto, ao determinar características de desempenho e comportamento de seus integrantes sem permitir que restrições de orçamento e de prazo sejam rompidas.

Para futuros trabalhos tendo este como fonte poderia ser feito uma análise maior com uma grande base de dados, assim como investigar algumas outras relações que possam ser obtidas pela metodologia implementada neste trabalho, como, por exemplo, investigar a relação de aumento do esforço crescente necessário para realizar modificações em um projeto ao longo da sua evolução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CERQUEIRA, GUILHERME; LINS, LUCIANO. Dimensionamento ótimo de recursos humanos em projetos. In: XL SBPO, 2009, Porto Seguro. Anais do XLI SBPO

CASAROTTO FILHO, N., CASAROTTO, R. M., HEINECK, L. F. CASTRO, J. E. E. Um método para programação de obras baseado em curvas de agregação. In: *XVI ENEGEP*, ABEPRO, 1996, Piracicaba. *Anais do XVI Enegep, 2009*.

CHAPMAN. R, J. (1998), The role of system dynamics in understanding the impact of changes to key project personnel on design production within construction projects, *International Journal of Project Management* Vol. 16, No. 4, pp. 235 247,

CIOFFI, D. F. (2005), A tool for managing projects: an analytic parametrization of the S-curve, *International Journal of Project Management*, 23, 215-222.

HUEMANN, M., KEEGAN, A. & TURNER, J. R. (2007) Human resource management in the project-oriented company: a review, *International Journal of Project Management*, 25, 315-323

INTRILIGATOR, M. D., *Mathematical Optimization and Economic Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs/NJ, 1971.

KAKA, A. P. , LEWIS, F. & PETROS, H. (2003), The effects of the variability of project planning on cost commitment curves: a case study, *Engineering, Construction and Architectural Management* 10 (1), 15-26.

KAKA, A. P. e PRICE, A. D. F. (1993), Modelling standard cost commitment curves for contractors' cash flow forecasting, *Construction Management and Economics*, 11, 271-283.

PARKER, S. K. & SKITMORE, M. (2005), Project management turnover: causes and effects on project performance, *International Journal of Project Management*, 23, 205-214.

PROVERBS, HOLT & OLOMOLAIYE. (1999), The management of labour on high rise construction projects: an international investigation, *International Journal of Project Management* Vol. 17, No. 3, pp. 195-204,

PMI, *Um guia do conjunto de conhecimentos em gerenciamento de projetos*, 3ed., Project Management Institute: Pennsylvania/EUA, 2004.

SLACK, NIGEL; CHAMBERS, STUART; JOHNSTON, ROBERT. *Administração da Produção.* 2ed. São Paulo, Atlas, 2002.

VERMA, V. K., *The Human Aspects of Project Management: Organizing Projects for Success*, vol. 1, Project Management Institute, Palo Alto/EUA, 1995.