

CLÁUDIO MARTIN ROCHA

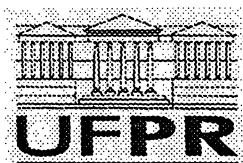
**EXPLORANDO O RELACIONAMENTO ENTRE MÉTRICAS
BASEADAS EM CASO DE USO E O NÚMERO DE CASOS DE TESTE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Informática, Programa de Pós-graduação em Informática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Silvia Regina Vergilio

CURITIBA

2005



Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Programa de Pós-Graduação em Informática

PARECER

Nós, abaixo assinados, membros da Banca Examinadora da defesa de Dissertação de Mestrado em Informática, do aluno *Cláudio Martin Rocha*, avaliamos o trabalho intitulado, "*EXPLORANDO O RELACIONAMENTO ENTRE METRICAS BASEADAS EM CASO DE USO E O NÚMERO DE CASOS DE TESTE*", cuja defesa foi realizada no dia 27 de setembro de 2005, às treze e trinta horas, no Auditório do Departamento de Informática do Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná. Após a avaliação, decidimos pela aprovação do candidato.

Curitiba, 27 de setembro de 2005.

Prof.ª Dra. Sílvia Regina Vergílio
DINF/UFPR – Orientadora

Prof.ª Dra. Simone Rocio Senger Souza
ICMC/USP – Membro Externo

Prof.ª Dra. Aurora Ramirez Trinidad Pozo
DINF/UFPR - Membro Interno



AGRADECIMENTOS

Ao Mestre Jesus, que sem seu consentimento não poderíamos ter realizado este trabalho.

A Professora Doutora Silvia Regina Vergilio, quem muito bem orientou e coordenou este projeto e deu-me crédito para chegar até o fim.

A minha família, principalmente Débora, esposa querida; Fernanda e Felipe que acompanharam a jornada; Neuza, que incentivou; Osvaldo, que contribuiu; e Danielle, com seu exemplo e recomendações.

Aos amigos: Juliano, Davi, Custódio, Rubens, Fidélis, João Paulo, Cássio, André, Pedro e Sérgio de Castro, que também contribuíram.

Aos colegas da pós-graduação: Alexandre, Augusto, Beatriz, Diego, Leslie, Nádia e Paulo.

Ao departamento de informática, principalmente Jucélia Miecznikowski que tão bem nos atendeu.

Aos professores da pós-graduação: Silvia, Direne, Sunyé e Aurora.

Aos colegas de trabalho, Edison e Baggio que suportaram dias difíceis, mas compreenderam o desafio.

**Você pode dizer que sou um sonhador,
mas não estou sozinho nisso.
Espero que um dia você se junte a nós,
e o mundo será como se fosse um só.**

Jonh Lennon

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONTEXTO	1
1.2 OBJETIVOS	4
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	5
2 CASOS DE USO	6
2.1 ATORES	7
2.2 RELACIONAMENTOS	7
2.3 CENÁRIOS	8
2.4 TESTE A PARTIR DE CASOS DE USO	9
2.4.1 Abordagem de Heumann	9
2.4.2 Critérios Estruturais Baseados em Casos de Uso.....	15
3 MÉTRICAS BASEADAS EM CASO DE USO	16
3.1 PONTOS POR CASO DE USO.....	16
3.2 PONTOS POR TAMANHO DE CASO DE USO	20
3.3 PONTOS POR TAMANHO DE CASO DE USO FUZZY	27
3.4 TRABALHOS RELACIONADOS	35
4 TRABALHO REALIZADO	38
4.1 DESCRIÇÃO DOS PROJETOS	38
4.2 EXPLORAÇÃO DE MODELOS ESTATÍSTICOS.....	41
4.2.1 Para o Modelo de Regressão Linear Simples	41
4.2.2 Para o Modelo de Regressão Curvilinear	48
4.2.3 Análise dos Resultados Estatísticos	53
4.3 EXPLORAÇÃO DE MODELOS UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO GENÉTICA	54
4.3.1 Passos realizados	54
4.3.2 Análise dos Resultados da PG	58
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	59
REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE A	64
A.1 TEORIA ESTATÍSTICA.....	64
A.2 PROGRAMAÇÃO GENÉTICA	68

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO EXEMPLO	6
FIGURA 2.2	DIAGRAMA DE CASOS DE USO	8
FIGURA 2.3	FLUXO BÁSICO E ALTERNATIVO DE EVENTOS	11
FIGURA 3.1	NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE ATORES.....	29
FIGURA 3.2	NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE PRÉ-CONDIÇÕES	30
FIGURA 3.3	NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE CENÁRIOS	31
FIGURA 3.4	NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE EXCEÇÕES.....	32
FIGURA 3.5	NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE PÓS-CONDIÇÕES	33
FIGURA 4.1	DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO SISTEMA DE CONTROLE DO CELULAR BABY DA TELESP	39
FIGURA 4.2	TESTANDO A SIGNIFICÂNCIA DE CORRELAÇÃO, EM UM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 0,05, COM 36 GRAUS DE LIBERDADE.....	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	ESPECIFICAÇÃO TEXTUAL DE UM CASO DE USO.....	10
TABELA 2.2	TABELA DE CENÁRIOS	11
TABELA 2.3	TABELA DE CASOS DE TESTE PARA O CASO DE USO CONSULTAR FLUXO DE TRANSPORTE.....	12
TABELA 2.4	TABELA DE CASOS DE TESTE COM VALORES PARA O CASO DE USO CONSULTAR FLUXO DE TRANSPORTE	13
TABELA 2.5	ESPECIFICAÇÃO TEXTUAL DO CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO	14
TABELA 2.6	TABELA DE CENÁRIOS DERIVADOS A PARTIR DO CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO.....	14
TABELA 2.7	TABELA DE CASOS DE TESTE PARA O CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO.....	14
TABELA 2.8	TABELA DE CASOS DE TESTE COM VALORES PARA O CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO	15
TABELA 3.1	PESOS DOS ATORES POR COMPLEXIDADE	17
TABELA 3.2	EXEMPLO DE CÁLCULO DO UCP UTILIZANDO O PESO DOS ATORES	18
TABELA 3.3	PESOS DOS UCS POR NÚMERO DE ENTIDADES.....	19
TABELA 3.4	EXEMPLO DE CÁLCULO DO UCP UTILIZANDO NÚMERO DE ENTIDADES.....	19
TABELA 3.5	EXEMPLO DO CÁLCULO DO SOMATÓRIO GERAL DO UCP NÃO AJUSTADO	20
TABELA 3.6	COMPLEXIDADE DOS ATORES.....	21
TABELA 3.7	COMPLEXIDADE DAS PRÉ-CONDIÇÕES.....	22
TABELA 3.8	COMPLEXIDADE DOS CENÁRIOS.....	22
TABELA 3.9	COMPLEXIDADE DAS EXCEÇÕES	23
TABELA 3.10	COMPLEXIDADE DAS PÓS-CONDIÇÕES.....	23
TABELA 3.11	ESPECIFICAÇÃO TEXTUAL DO CASO DE USO CONSULTAR SERVIÇO 5000	25
TABELA 3.12	TABELA DE CENÁRIOS DERIVADOS A PARTIR DO CASO DE USO CONSULTAR SERVIÇO *5000.....	25
TABELA 3.13	CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DOS ATORES	25
TABELA 3.14	CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DAS PRÉ-CONDIÇÕES	25
TABELA 3.15	CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DO CENÁRIO PRINCIPAL.....	26
TABELA 3.16	CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DAS PÓS-CONDIÇÕES	26
TABELA 3.17	CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS POR TAMANHO NÃO AJUSTADO	27
TABELA 3.18	CLASSIFICAÇÃO DOS ATORES.....	28
TABELA 3.19	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS ATORES	29
TABELA 3.20	CLASSIFICAÇÃO DAS PRÉ-CONDIÇÕES.....	29
TABELA 3.21	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PRÉ-CONDIÇÕES	30
TABELA 3.22	CLASSIFICAÇÃO DO CENÁRIO PRINCIPAL.....	30
TABELA 3.23	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	31
TABELA 3.24	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS EXCEÇÕES	32
TABELA 3.25	CLASSIFICAÇÃO DAS PÓS-CONDIÇÕES.....	33
TABELA 3.26	TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PÓS-CONDIÇÕES	33
TABELA 3.27	DETERMINANDO O VALOR NÃO AJUSTADO (UUSPF).....	34
TABELA 4.1	DADOS TABULADOS PARA O SISTEMA BABY.....	40
TABELA 4.2	DADOS TABULADOS PARA O SISTEMA DTR.....	41
TABELA 4.3	DADOS TABULADOS PARA O SISTEMA BABY E DTR.....	42
TABELA 4.4	EQUAÇÃO LINEAR DO EXPERIMENTO	43
TABELA 4.5	MODELO LINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO	43
TABELA 4.6	MODELO LINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO.....	44
TABELA 4.7	MODELO LINEAR: RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA INFERÊNCIA.....	45

TABELA 4.8	MODELO LINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA A MÉTRICA UUSP.....	46
TABELA 4.9	MODELO LINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA A MÉTRICA UUSPF	47
TABELA 4.10	EQUAÇÃO CURVILINEAR PARA O EXPERIMENTO	48
TABELA 4.11	MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO.....	48
TABELA 4.12	MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO	49
TABELA 4.13	MODELO CURVILINEAR: RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA INFERÊNCIA	49
TABELA 4.14	MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA A MÉTRICA UUSP.....	51
TABELA 4.15	MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA A MÉTRICA UUSPF	52
TABELA 4.16	RESUMO DOS VALORES CALCULADOS.....	53
TABELA 4.17	CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA OS MELHORES RESULTADOS	56
TABELA 4.18	MELHOR CONFIGURAÇÃO PARA AS MÉTRICAS	57
TABELA 4.19	CORRELAÇÃO DAS EQUAÇÕES GERADAS PELO LILGP.....	57
TABELA 4.20	MELHORES RESULTADOS DO EXPERIMENTO	57

RESUMO

Atualmente a tecnologia de orientação a objetos encontra-se bastante difundida e utilizada nas diversas organizações. O mesmo pode-se dizer dos principais modelos UML (Unified Modeling Language). Dentre esses modelos, destaca-se o modelo de casos de uso. Os casos de uso são, geralmente, criados nas fases iniciais do projeto e isso tornou possível a proposição de algumas métricas baseadas em casos de uso que possuem objetivos de se estimar o tamanho de um software. Essas métricas podem então ser utilizadas nas fases de planejamento para se estimar custo e cronograma. Por outro lado, os casos de uso têm sido explorados na atividade de teste, e algumas abordagens para derivar casos de teste a partir dos casos de uso foram propostas. A atividade de teste é uma etapa que geralmente custa caro e que impacta outras atividades do desenvolvimento, tais como manutenção. Estimar o esforço das atividades de teste, contribui para que sejam estabelecidos planos de teste. O presente trabalho tem como objetivo contribuir nessa direção, apresentando resultados de um experimento que relaciona métricas baseadas em casos de uso, dado pelo número de casos de teste gerados.

ABSTRACT

Nowadays, the object oriented technology is very known and used in most organizations. The same happens when we consider UML (Unified Modeling Language) models. Among those models it stands out the model of use cases. Use cases are usually created in the initial phases of the project and that fact turned possible the proposition of some metrics based on use cases. Those metrics have the goal of estimating the size of the software and can be used in the planning phases to estimate cost and schedule. On the other hand, the use cases have been explored in the testing activity and, some approaches to derive test cases from use cases were proposed. The test activity is usually very expensive and impacts other activities of the development, such as maintenance. To estimate the effort of the testing activity makes possible the establishment of test plans. The present work contributes in this direction, by presenting results of an experiment that evaluates the relationship between metrics based on use cases, given by the number of test cases generated.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO

Alguns autores destacam a UML (*Unified Modeling Language*) como sendo a sucessora da onda de métodos de análise e projeto orientado a objetos que surgiram no final dos anos oitenta e no início dos anos noventa. A UML unificou os métodos de Booch, Rumbaugh e Jacobson e passou por um processo de padronização pela OMG (*Object Management Group*), tornando-se um padrão [Fow00].

Dentre os diversos modelos UML, destaca-se o modelo de casos de uso (*Use Case* ou UC) que se tornou bastante difundido e fácil de utilizar [Jac92].

Podemos dizer que um UC é uma narrativa que descreve a seqüência de eventos de um ator (agente externo) usando o sistema para completar um processo. São histórias de usos de um sistema.

Na modelagem utilizando casos de uso, o sistema é visto como uma caixa preta que fornece situações de aplicação. O objetivo principal de um caso de uso consiste em definir o comportamento de um sistema ou parte dele sem revelar a sua estrutura interna. Outros objetivos consistem em descrever os requisitos funcionais do sistema de maneira consensual entre usuários e desenvolvedores, fornecer uma descrição consistente e clara das responsabilidades que estes últimos devem cumprir, servir de base para a fase de projeto e oferecer as possíveis situações do mundo real para o teste do sistema [UML 1.4].

A utilização dos UCs não se limita aos softwares desenvolvidos sob o paradigma orientado a objetos. Os UCs são utilizados na fase de extração e especificação de requisitos, e nesta fase a forma de construção do software e suas tecnologias subjacentes não é, e nem deve ser conhecida. Portanto, também é possível aplicar os modelos de UC em qualquer projeto não orientado a objetos [Jac92].

Entretanto, o modelo de casos de uso tem sido amplamente utilizado para a especificação de requisitos de sistemas orientados a objeto. Os UCs representam aspectos funcionais dos sistemas e são muito úteis nas fases iniciais do software, onde estimativas de esforço e custo devem ser realizadas.

Considerando esses aspectos, métricas baseadas em caso de uso foram introduzidas. Dentre essas, destacam-se as métricas: Pontos por Caso de Uso (*Use Case Points* - UCP) que foi criada por Gustav Karner [Kar93], Pontos por Tamanho de Caso de Uso (*Use Case Size Points* - USP) [Bra04a] e, Pontos por Tamanho de Caso de Uso Fuzzy (*Fuzzy Use Case Size Points* - USPF) [Bra04a, Bra04b].

A métrica UCP apresenta algumas limitações que podem reduzir a precisão das estimativas geradas, por exemplo, o UCP não considera as estruturas internas do UC na definição de seu tamanho, tornando a avaliação superficial e altamente subjetiva. Um UC independentemente da quantidade de seções e/ou de seu conteúdo só pode ser classificado em três categorias (simples, médio ou complexo), limitando as possibilidades de quantificação da funcionalidade presente no mesmo, ela oferece uma medida para o sistema todo e não para cada UC individualmente.

As métricas USP e USPF [Bra04a] foram introduzidas com o objetivo de reduzir as principais limitações da métrica UCP. A métrica USP considera outros aspectos de um UC, descritos em uma notação expandida, tais como: número de cenários, pré e pós-condições, etc. Esses aspectos capturam melhor a funcionalidade dos UCs. A métrica USPF considera conceitos da teoria dos conjuntos *Fuzzy* para reduzir a influência humana na classificação dos elementos de um UC, trabalhando dessa maneira a incerteza na estimação. Em [Bra04a] são relatados resultados de um experimento de comparação das métricas UCP, USP e USPF para um sistema de logística.

Os modelos de UCs também têm sido utilizados para derivar casos de teste, possibilitando a validação do software já na fase de especificação. Para isso, algumas abordagens têm sido propostas baseadas nos fluxos de execução (cenários) do caso de uso [Car03, Heu01a, Heu01b].

Em [Heu01a], Heumann discute como usar casos de uso para gerar casos de teste e alavancar o processo de teste o mais cedo possível no ciclo de vida de desenvolvimento do software e, também, ajudar na metodologia de testes. O autor propõe que sejam associados um ou mais casos de teste a cada cenário de utilização de um caso de uso. A derivação de mais de um caso de teste para cada cenário deve-se à possibilidade de se testar condições limites e à existência de casos de teste negativos, ou seja, de casos de teste que não permitem que o cenário considerado seja executado.

Em [Car03] são apresentados resultados da aplicação da abordagem de Heumann e da aplicação de diferentes critérios de teste estrutural para um sistema de telefonia celular pré-paga.

Embora casos de teste possam ser gerados em fases iniciais do desenvolvimento utilizando os casos de uso, Pressmann [Pre02] aponta que no processo de desenvolvimento de software, a atividade de teste tem sido uma das mais custosas. A grande quantidade de esforço gasto nessa fase é devido à falta de tempo e de recursos capacitados e, a indisponibilidade de ferramentas adequadas, decorrentes da falta de planejamento e conseqüente elaboração de um plano de teste.

Modelos que possam estimar o esforço das atividades de teste contribuem para uma prática mais sistematizada que pode ser incorporada em planos de teste e auxiliar nas atividades de garantia da qualidade de software [Mal92].

Existem na literatura muitos modelos para estimar o custo e esforço de desenvolvimento de software. São geralmente baseados em métricas relacionadas ao código fonte tais como: LOC (*Lines of Code*), número de operadores, etc.; ou em funcionalidade tais como o FP (*Function Point*). Alguns desses trabalhos utilizam-se de técnicas baseadas em Programação Genética (PG) [Koz92] para se obter modelos de estimativa [Bur01, Dol01]. A técnica de PG tem se mostrado uma boa alternativa à teoria estatística devido à sua capacidade de aprender a partir de dados históricos, descobrir soluções envolvendo diferentes variáveis do problema e ser robusta com respeito a ruído nos dados. Os modelos mencionados acima têm sido adaptados a

software orientados a objeto [Tho97], entretanto, o uso de métricas baseadas em casos de uso tem se mostrado bastante promissor, principalmente por que eles estão disponíveis nos primeiros estágios do desenvolvimento.

Muitas vezes, estimativas de esforço de teste estão associadas com estimativas de desenvolvimento de software. Nageswaran [Nag01] descreve três métodos convencionais usados para se estimar esforço de teste, como: utilizar um método ad-hoc, calcular uma porcentagem do tempo total estimado para o desenvolvimento e, realizar estimativas a partir de FP. Como alternativa a esses métodos, descreve, então, um método baseado em UCP oferecendo uma abordagem prática e algumas vantagens sobre as outras técnicas. Esse trabalho foi um dos primeiros a explorar a utilização de uma métrica baseada em casos de uso, no caso UCP, para estimar esforço de teste em termos do número de horas.

1.2 OBJETIVOS

Dado o contexto acima, o trabalho tem como objetivo estudar empiricamente o relacionamento existente entre as métricas baseadas em caso de uso e a atividade de teste. Para isso um estudo foi realizado com o objetivo de indicar o relacionamento das métricas USP e USPF, com o número de casos de teste, e não com o número de horas.

Foram utilizados nesse estudo os casos de uso de dois sistemas: um denominado DTR, que é o sistema de logística produzido por uma empresa privada de desenvolvimento de software e utilizado por Braz [Bra04a]; e outro, adaptado, que descreve o sistema *Baby* de controle de telefonia celular pré-paga [Car03].

Para o primeiro sistema, as métricas USP e USPF já estavam disponíveis e os dados de teste segundo a abordagem de Heumann foram gerados. Para o segundo, ao contrário, os casos de teste estavam disponíveis e as métricas USP e USPF precisavam ser coletadas.

Ao final, foram explorados modelos estatísticos que têm formato pré-definido para suas equações, para avaliar o relacionamento entre os dados coletados e,

modelos usando a técnica de PG que constrói sua própria equação, sendo a melhor possível, e sem formato específico, sendo esta a grande vantagem em utilizar PG.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Neste capítulo foram apresentados o contexto do trabalho e seu objetivo. Os demais capítulos encontram-se estruturados da seguinte forma: no Capítulo 2 apresenta-se o modelo de casos de uso e mostra-se como ele tem sido explorado para derivar casos de teste. No Capítulo 3 as métricas baseadas em caso de uso utilizadas no trabalho são descritas; bem como alguns trabalhos relacionados que procuram estimar esforço de teste para software orientado a objeto; no Capítulo 4 é apresentada a descrição do experimento realizado; no Capítulo 5 apresentam-se as conclusões e possíveis trabalhos futuros relacionados a esse tema. No Apêndice A, estão resumidas as principais técnicas utilizadas para analisar os resultados do estudo realizado, descreve-se a teoria estatística utilizada e são apresentados os principais conceitos de Programação Genética.

2 CASOS DE USO

Pode-se dizer que um Caso de Uso é uma narrativa que descreve a seqüência de eventos de um ator (agente externo) usando o sistema para completar um processo. Os casos de uso são representados por elipses que contêm o nome (título) do caso de uso; esse título pode ser posicionado no interior ou, opcionalmente, abaixo de cada elipse [Jac92].

Na Figura 2.1, tem-se um exemplo de diagrama de casos de uso. Por exemplo, nesse diagrama, no caso de uso chamado "Efetuar Pedido" um cliente (ator) solicita um pedido de mercadoria. Este caso de uso verifica se o cliente está cadastrado e, caso esteja, o pedido é efetuado. Os diagramas de casos de uso ilustram um conjunto de casos de uso e atores de um sistema e os relacionamentos entre eles.

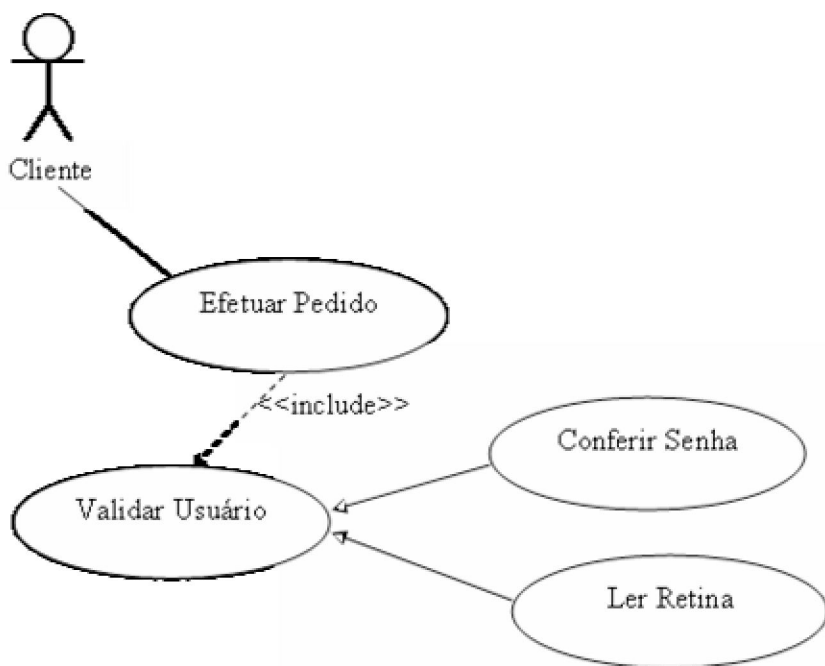


FIGURA 2.1 - DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO EXEMPLO

2.1 ATORES

Um ator representa um papel desempenhado por um usuário ou sistema externo em relação ao sistema modelado. Assim, um ator é um agente que interage com o sistema modelado e pode ser um ser humano, um dispositivo ou um outro sistema.

O ícone padrão para a representação de atores nos diagramas de casos de uso consiste em um *stick man* com o nome do ator na parte de baixo [Car03]. Essa representação pode ser visualizada da Figura 2.2 (atores Cliente e Empresa).

2.2 RELACIONAMENTOS

Além das ligações entre atores e casos de uso, pode-se mostrar vários tipos de associações entre os casos de uso.

A associação de inclusão "<<include>>" ocorre quando há uma parte do comportamento que é semelhante em mais de um caso de uso e não se deseja copiar a descrição deste comportamento [Fow00].

O relacionamento representado por uma seta de dependência rotulada com o estereótipo "<<extend>>", trata-se de um relacionamento de um caso de uso para outro que define que um caso de uso, chamado de caso de uso base, pode ser estendido com algum comportamento adicional definido em um outro caso de uso, chamado de caso de uso extensor [UML 1.4].

Relacionamento de Generalização é a interação representada por uma linha cheia direcionada com uma seta aberta. Trata-se de um relacionamento de um caso de uso para outro semelhante ao relacionamento de generalização existente entre classes. Um relacionamento de generalização de um caso de uso A para um caso de uso B indica que o caso de uso A, chamado de caso de uso filho, herda o comportamento e o significado do caso de uso B, chamado de caso de uso pai. O caso de uso filho deve acrescentar ou sobrescrever o comportamento do caso de uso pai e ambos podem ter instâncias concretas.

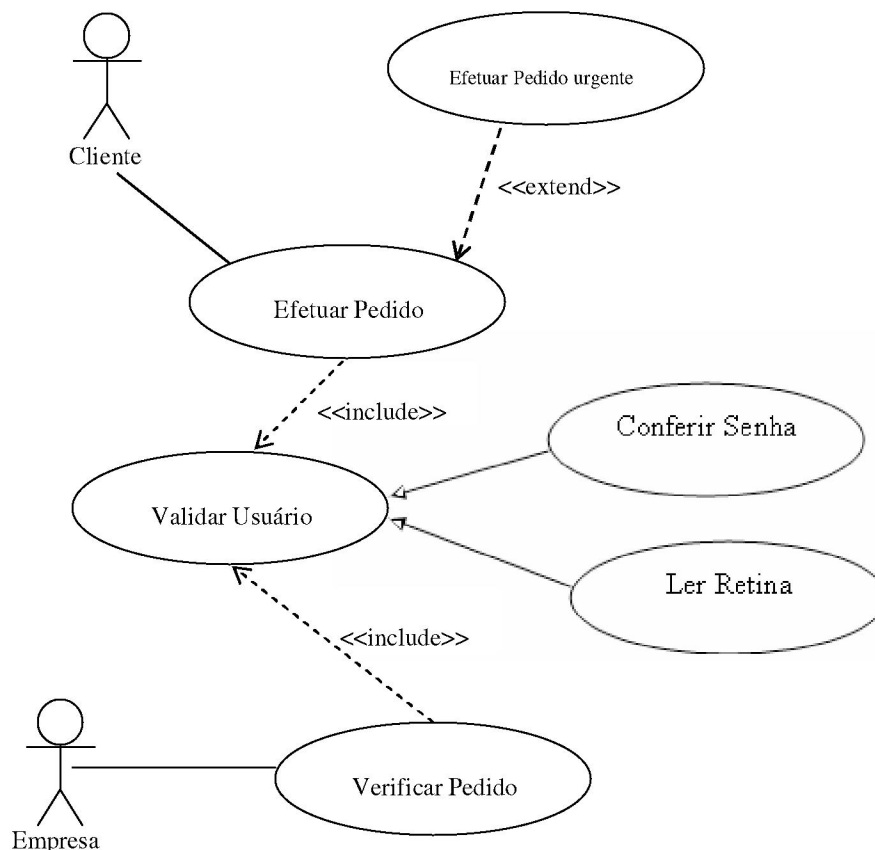


FIGURA 2.2 - DIAGRAMA DE CASOS DE USO

2.3 CENÁRIOS

Como cada caso de uso consiste em um conjunto de funcionalidades inter-relacionadas de um sistema, é possível extrair um conjunto de cenários que mostra todas as possíveis formas de realização do caso de uso. Os cenários oferecem as seqüências típicas de utilização, determinando as ações, entradas e saídas do caso de uso. Assim, uma vez determinado o conjunto de cenários de um caso de uso, está se determinando todos os possíveis caminhos dentro do seu fluxo de ações [Car03].

O fluxo de ações de um caso de uso é sempre constituído por um fluxo básico e pode apresentar um ou mais fluxos alternativos [Coc01]. O fluxo básico de

um caso de uso consiste em um cenário, chamado de *happy-day scenario*, que representa uma seqüência típica completa de utilização do caso de uso, ou seja, uma seqüência de passos, do começo ao fim do caso de uso, que ocorre naturalmente com maior freqüência. Cada passo dessa seqüência corresponde a uma ação do ator e uma resposta do sistema a esta ação. Já os fluxos alternativos consideram variações de comportamento e os casos excepcionais de falha, indicando cenários diferentes do usual.

Uma especificação textual de um caso de uso é apresentada na Tabela 2.1. Esta especificação é o caso de uso expandido, onde extraímos os cenários.

2.4 TESTE A PARTIR DE CASOS DE USO

O modelo de casos de uso pode ser utilizado para geração de dados de teste. Isto permite que testes sejam executados nas fases iniciais do desenvolvimento. Destacam-se dois trabalhos com esse objetivo, a abordagem de Heumann e a de Carniello. Ambas abordagens são descritas nessa seção.

2.4.1 Abordagem de Heumann

Em um projeto de desenvolvimento de software, casos de uso definem requisitos do sistema de software.

Heumann [Heu01a] propõe uma técnica para derivar casos de teste a partir dos cenários de um caso de uso. No contexto dessa técnica, um caso de teste consiste em um conjunto de dados e os resultados esperados da simulação do comportamento do caso de uso para esses dados.

Segundo Heumann, o conjunto de dados pertencente a um caso de teste pode ser constituído por dados de entrada e/ou por dados armazenados em bancos de dados. Um outro tipo de dado identificado nesse conjunto consiste nos dados gerados por outros casos de uso como respostas/resultados de suas funcionalidades. Em um relacionamento de inclusão, por exemplo, o resultado da execução do caso de uso

incluído é utilizado pelo caso de uso base. Conseqüentemente, esse dado resultado deve pertencer ao conjunto de dados e um caso de teste para o caso de uso base.

TABELA 2.1 - ESPECIFICAÇÃO TEXTUAL DE UM CASO DE USO

Seção do caso de uso	Descrição	
Nome	ConsultarFluxoTransporte	
Número de Identificação	A2-UC02	
Descrição abreviada	Este caso de uso permite ao usuário consultar a relação de fluxos de transporte, conhecer seus clientes, a mercadoria, origem, destino e visualizar detalhes de um fluxo específico.	
Pré-condições	Cadastro de fluxos atualizados.	
Pós-condições	Consulta de fluxos de transporte realizados.	
Fluxo de Eventos		
Fluxo Básico		
<p>1. O caso de uso começa quando o usuário seleciona a opção Consultar fluxos de transporte;</p> <p>2. O sistema exibe tela onde o usuário pode informar o número de um fluxo ou selecionar uma ou mais das seguintes informações: [INF01]</p> <p>Mercadoria selecionada de uma lista com as descrições das mercadorias;</p> <p>Cliente Correntista selecionado de uma lista com os nomes abreviados de clientes;</p> <p>Cliente Remetente selecionado de uma lista com os nomes abreviados de clientes;</p> <p>Cliente Destinatário selecionado de uma lista com os nomes abreviados de clientes;</p> <p>Pátio de origem selecionado de uma lista com as siglas de pátios cadastrados;</p> <p>Pátio de destino selecionado de uma lista com as siglas de pátios cadastrados;</p> <p>3. O usuário confirma as condições de filtro escolhidas;</p> <p>4. O sistema exibe uma lista de fluxos de transporte que atendem as condições de filtro contendo as informações [INF01];</p> <p>5. O usuário pode selecionar um fluxo da lista e solicitar visualizar detalhes do fluxo (A-01);</p> <p>6. O usuário pode realizar novos filtros ou encerrar o caso de uso.</p>		
Fluxo Alternativo		
Fluxo Alternativo 1	(A-01) Visualizar detalhes do fluxo de transporte: Chamar caso de uso Consultar Detalhes de Fluxo passando como parâmetro o fluxo selecionado.	
CENÁRIOS		
Nome do Cenário	Fluxo Inicial	Alternativo
Cenário 1 – Consultar Fluxos de Transporte	Básico	-
Cenário 2 – Visualizar detalhes do fluxo de transporte	Básico	A-01

O resultado esperado é formulado para satisfazer um determinado objetivo, como o de exercitar um determinado caminho do fluxo de ações de um caso de uso, ou seja, exercitar um determinado cenário do caso de uso. Considerando esse objetivo, o conjunto de dados de um caso de teste deve incluir algum valor responsável por selecionar um fluxo específico de execução dentro do caso de uso.

O primeiro passo para a derivação de casos de teste consiste em identificar o conjunto de cenários de um caso de uso. Para todo caso de uso existe um cenário principal (*happy-day scenario*) definido pelo fluxo de ações básico e podem existir outros cenários derivados a partir dos fluxos alternativos existentes, conforme visto na Figura 2.3. Esses últimos cenários, chamados de cenários alternativos, são identificados percorrendo-se caminhos dentro do fluxo de ações do caso de uso de modo a atravessar o fluxo básico e um ou mais fluxos alternativos, do começo ao fim do caso de uso.

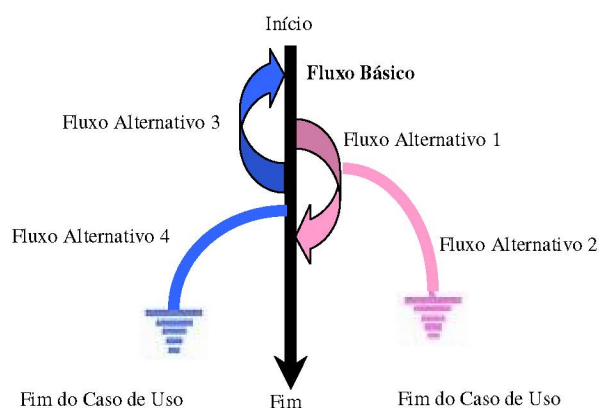


FIGURA 2.3 - FLUXO BÁSICO E ALTERNATIVO DE EVENTOS [HEU01A]

O conjunto de cenários derivados para um caso de uso a partir de seu fluxo de ações deve ser listado em uma tabela, chamada de Tabela de Cenários. A Tabela 2.2 é uma tabela de cenários definida para o caso de uso da Tabela 2.1.

TABELA 2.2 - TABELA DE CENÁRIOS

Nome do Cenário	Fluxo Inicial	Alternativo
Cenário 1 – Consultar Fluxos de Transporte	Básico	-
Cenário 2 – Visualizar detalhes do fluxo de transporte	Básico	A-01

Uma vez identificado o conjunto de cenários para um caso de uso, deve-se identificar a condição específica que faz com que cada cenário seja executado. Uma condição é constituída por um conjunto de dados que permite a execução de um

respectivo cenário. Esses dados encontram-se especificados no fluxo de ações do caso de uso. Assim, para o cenário 1, da Tabela 2.2, por exemplo, a condição específica que faz com que esse cenário seja executado é a indicação do "número do fluxo de transporte". Para o cenário 2, a condição específica é constituída pelo conjunto de dados: indicar o "número do fluxo" e selecionar "consultar detalhes".

Deve-se procurar gerar pelo menos um caso de teste positivo para cada cenário, ou seja, identificar uma condição específica (conjunto de dados) para cada cenário que faça com que este seja executado.

É importante ressaltar que se pode obter mais de um caso de teste para um mesmo cenário, uma vez que os casos de teste gerados para exercitar outros cenários do caso de uso são considerados casos de teste negativos para o cenário considerado. Além disso, entre o conjunto de dados que faz com que um cenário seja executado podem existir dados que apresentem valores limites, como por exemplo: saldo não negativo, que pode ser decomposto em: saldo = 0 e saldo > 0.

O conjunto de casos de teste desenvolvido para um determinado caso de uso deve ser listado em uma tabela, chamada de Tabela de Casos de Teste. A Tabela 2.3 apresenta a tabela de casos de teste para o caso de uso Consultar Fluxo de Transporte. Nessa tabela, cada linha representa um caso de teste, ao qual estão associados um número identificador, o cenário a ser executado, o conjunto de dados que participa do caso de teste e o resultado esperado.

TABELA 2.3 - TABELA DE CASOS DE TESTE PARA O CASO DE USO CONSULTAR FLUXO DE TRANSPORTE

ID Caso de Teste	Cenário / Condição	Número do Fluxo	Seleção de campos	Consultar Detalhes	Realizar novos filtros	Encerrar caso de uso	Resultado esperado
CT1	Cenário 1 – Consultar Fluxos de Transporte	V	N/A	N/A	V	V	Mostra a consulta selecionada
CT2	Cenário 1 – Consultar Fluxos de Transporte	I	N/A	N/A	N/A	N/A	Número do fluxo incorreto
CT3	Cenário 2 – Visualizar detalhes do fluxo de transporte	V	N/A	V	I	V	Detalhe visualizado

Na primeira coluna da Tabela 2.3, o número que identifica um caso de teste é apresentado no formato CTx, sendo que CT consiste em uma abreviação usada para caso de teste, x indica o número do caso de teste desenvolvido. Nas colunas que apresentam o conjunto de dados que participa de um caso de teste, um V indica que o dado da condição deve ser válido, enquanto um I indica que o dado da condição deve ser inválido. Um N/A indica que o dado não é aplicável ao caso de teste.

Uma vez projetados os casos de teste, valores de dados reais podem ser adicionados a eles. Na Tabela 2.4 são apresentados os casos de teste com valores para o caso de uso Consultar Fluxo de Transporte.

TABELA 2.4 - TABELA DE CASOS DE TESTE COM VALORES PARA O CASO DE USO CONSULTAR FLUXO DE TRANSPORTE

ID Caso de Teste	Cenário / Condição	Número do Fluxo	Seleção de campos	Consultar Detalhes	Realizar novos filtros	Encerrar caso de uso	Resultado esperado
CT1	Cenário 1 – Consultar Fluxos de Transporte	6	N/A	N/A	Sim	Sim	Mostra a consulta selecionada
CT2	Cenário 1 – Consultar Fluxos de Transporte	0	N/A	N/A	N/A	N/A	Número do fluxo incorreto
CT3	Cenário 2 – Visualizar detalhes do fluxo de transporte	5	N/A	Sim	Não	Sim	Detalhe visualizado

O exemplo a seguir, mostra a aplicação da abordagem de Heumann no caso de uso Receber Ligação, do sistema de controle de telefonia celular pré-pago *Baby* [Car03].

A Tabela 2.5 mostra o caso de uso estendido com os dados que farão parte dos cálculos das métricas.

TABELA 2.5 - ESPECIFICAÇÃO TEXTUAL DO CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO

Nome do caso de uso	Receber Ligação
Número de Identificação	2
Atores	Central Telefônica, Cliente
Descrição abreviada	Quando a central telefônica recebe uma ligação para o cliente, antes de o cliente recebê-la, o sistema verifica se o período em que se encontra o crédito do cliente é válido para receber ligações. Se o crédito do cliente estiver em período válido, a Central transfere a ligação recebida para o cliente, independente do valor do seu crédito. Ao término da ligação, o sistema cadastra a ligação recebida.
Pré-condições	Cliente cadastrado no serviço de telefonia <i>Baby Pré-pago</i> .
Pós-condições	Ligação recebida pelo cliente.
Fluxo básico	
Inclusão; Período do crédito do cliente é válido; Central transfere ligação recebida para o Cliente. O Cliente recebe a ligação; Após o término da ligação, inclusão.	
Fluxo alternativo	
Fluxo alternativo 1	No item 2, do fluxo básico, o período do crédito do cliente é inválido; Central solicita ao sistema que mostre ao Cliente uma mensagem de ligação não recebida devido ao período atual do seu crédito ser inválido para receber ligações; Sistema não cadastra ligação

TABELA 2.6 - TABELA DE CENÁRIOS DERIVADOS A PARTIR DO CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO

Cenário 1 - Ligação recebida	Fluxo básico	
Cenário 2 - Ligação não recebida	Fluxo básico	Fluxo alternativo 1

TABELA 2.7 - TABELA DE CASOS DE TESTE PARA O CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO

Caso de teste	Cenário	Período válido para receber ligações	Período inválido para receber ligações	Resultado Esperado
CT1	Cenário 1 - Ligação recebida	V	I	Ligação recebida e cadastrada com sucesso
CT2	Cenário 2 - Ligação não recebida	I	V	Ligação não recebida

A Tabela 2.6 contém os cenários derivados para o caso de uso em teste.

Na Tabela 2.7, V indica que o dado da condição deve ser válido, enquanto um I indica que o dado da condição deve ser inválido.

TABELA 2.8 - TABELA DE CASOS DE TESTE COM VALORES PARA O CASO DE USO RECEBER LIGAÇÃO

Caso de teste	Cenário	Período válido para receber ligações	Período inválido para receber ligações	Resultado Esperado
CT1	Cenário 1 - Ligação recebida	Sim	Não	Ligação recebida e cadastrada com sucesso
CT2	Cenário 2 - Ligação não recebida	Não	Sim	Ligação não recebida

As Tabelas 2.7 e 2.8 apresentam o número de casos de teste necessários para se utilizar a abordagem de Heumann.

2.4.2 Critérios Estruturais Baseados em Casos de Uso

Carniello [Car03] propõe um conjunto de critérios de teste baseado no diagrama de casos de uso que, apesar de usar como fonte de informação uma especificação de software, requer que elementos estruturais do diagrama sejam exercitados durante a atividade de teste. A característica estrutural adicionada ao teste baseado em especificação beneficia a atividade de teste, permitindo que esta seja quantificada por meio da análise de cobertura do diagrama.

Os critérios propostos nesse trabalho podem ser usados em conjunto com as abordagens puramente funcionais existentes para derivação de casos de teste a partir de casos de uso. Podem ser utilizados para avaliar a qualidade dos conjuntos de teste gerados por meio dessas abordagens ou como uma diretriz para a derivação de dados de teste.

Carniello [Car03] realizou experimentos de avaliação de seus critérios estruturais utilizando o Sistema Telesp Celular *Baby* (Telefônica) [Car03]. Para realizar essas comparações, dados de teste foram gerados pela abordagem de Heumann.

3 MÉTRICAS BASEADAS EM CASO DE USO

A primeira e mais conhecida métrica de software desenvolvida é a métrica de Linhas de Código (Lines of Code - LOC) que é uma medida do tamanho físico de um software e, possui em sua simplicidade, sua maior virtude e também o seu maior defeito. A simplicidade torna a LOC fácil de coletar e verificar, também esta simplicidade torna a LOC tecnologicamente dependente, ou seja, não é trivial efetuar comparações de LOC quando são utilizadas linguagens de programação diferentes [Bra04a].

Como alternativa às medidas físicas de tamanho, foram desenvolvidas as medidas funcionais. As métricas orientadas por função medem a funcionalidade presente na aplicação. As métricas funcionais foram introduzidas por Albrecht [Alb79] com a Análise de Pontos por Função (FPA - Function Point Analysis).

No entanto, tanto LOC como FP não medem adequadamente software orientado a objeto. Para que estimativas sejam realizadas nas fases iniciais do projeto e que possam capturar aspectos funcionais, alguns autores propuseram a extensão da técnica FP para Orientação a Objeto - OO [Tho97]. Mas com o uso e disseminação do uso de casos de uso, as métricas baseadas nesse modelo tem se tornado bastante popular. As principais dessas métricas são descritas a seguir.

3.1 PONTOS POR CASO DE USO

A especificação dos requisitos através da escrita de UCs é uma realidade nos projetos de desenvolvimento de software. Sendo assim, é desejável a utilização de uma métrica de software que leve em conta essa realidade. Foi provavelmente esse desejo e essa necessidade que levaram Gustav Karner da empresa Objectory [Rational03] a criar em 1993 a técnica de Pontos por Caso de Uso (*Use Case Points* - UCP) [Ban01, Kar93].

A métrica UCP é uma adaptação da FPA [Alb79] e da técnica MKII FPA [UKSMA] para a utilização com UCs, a maioria das características da FPA está presente no UCP, como a contagem de pontos não ajustados e a aplicação de fatores de ajuste.

Assim que os primeiros UCs do sistema ficam prontos, a análise já pode ser iniciada. O formato e a granularidade dos UCs pode influenciar muito na sua contagem, o UC não pode ser demasiadamente abstrato ou de alto nível, nem tampouco pode ser de nível demasiadamente baixo. Mais informações sobre como decompor os UCs e como encontrar o nível mais adequado podem ser encontradas em [Lar02].

O cálculo do UCP é feito mediante a avaliação e classificação de cada caso de uso encontrado no sistema. Todos os atores encontrados nos UCs também devem ser classificados. Com base em uma avaliação do peso de todos os atores, peso de todos os UCs e, nos fatores de ajuste, é que o número do UCP é calculado.

O roteiro a seguir deve ser utilizado [Fre03]:

- a) classificação dos atores do sistema: todos os atores encontrados nos UCs do sistema devem ser classificados segundo a sua complexidade. A pontuação dos pesos dos atores é realizada utilizando-se a Tabela 3.1. Apresenta-se um exemplo na Tabela 3.2.
- b) contagem dos pesos dos atores: o peso dos atores não ajustados (unadjusted actor weight - UAW) é calculado somando-se os produtos do número de atores de cada tipo pelo seu respectivo peso.

TABELA 3.1 - PESOS DOS ATORES POR COMPLEXIDADE [FRE03]

Tipo de ator	Peso	Descrição-exemplo
Ator simples	1	Outro sistema acessado através de uma API de programação
Ator médio	2	Outro sistema interagindo através de um protocolo de comunicação, como TCP/IP ou FTP
Ator complexo	3	Um usuário interagindo através de uma interface gráfica (stand-alone ou web)

TABELA 3.2 - EXEMPLO DE CÁLCULO DO UCP UTILIZANDO O PESO DOS ATORES

Caso de Uso	Atores	Tipo	Peso
Receber Ligação	Central Telefônica	médio	2
Cadastrar Ligação Recebida	Central Telefônica	simples	1
Recarregar Telefone	Cliente	médio	2
Consultar Serviço Atendimento	Cliente	médio	2
Verificar Saldo	Cliente	médio	2
Verificar Número	Cliente	médio	2
Avisar Baixo Saldo	Cliente	médio	2
Cadastrar Ligação Realizada	Cliente	médio	2
Atualizar Saldo	Cliente	médio	2
Verificar Período	Central Telefônica	simples	1
Verificar Período a Receber	Central Telefônica	simples	1
Verificar Período a Realizar	Central Telefônica	simples	1
Avisar Período de Expiração	Central Telefônica	simples	1
Consultar Serviço *5005	Cliente	médio	2
Consultar Serviço *5000	Cliente	médio	2
Somatório do Peso dos Atores (UAW)			
Atores	Quantidade	Peso	Total
Simple	5	1	5
Médio	10	2	20
Complexo	0	3	0
		Total	25

c) classificando os UCs: após o cálculo do UAW, todos os UCs serão avaliados. De maneira similar aos atores, os UCs são divididos segundo sua complexidade. A classificação usa, primordialmente, o número de transações do UC. Uma transação é uma série de processos que devem ocorrer conjuntamente, ou então, serem cancelados em sua totalidade caso um dos processos falhar.

A classificação dos UCs também pode ser realizada de outra maneira, através da identificação do número de entidades participantes do caso, conforme pode ser observado na Tabela 3.3. Após obter o número de entidades, utiliza-se a Tabela 3.4. Entende-se por entidade cada conceito de negócio (objeto do mundo real) encontrado no UC, um conceito pode ser uma idéia, uma coisa, ou um objeto. Ex.: dinheiro, saque, banco, saldo.

TABELA 3.3 - PESOS DOS UCS POR NÚMERO DE ENTIDADES [FRE03]

Tipo de UC	Número de entidades	Peso
Simples	5 ou menos	1
Médio	5 a 10	2
Complexo	Mais de 10	3

TABELA 3.4 - EXEMPLO DE CÁLCULO DO UCP UTILIZANDO NÚMERO DE ENTIDADES

Caso de Uso	Número Entidades	Tipo	Peso
Receber Ligação	9	médio	2
Cadastrar Ligação Recebida	9	médio	2
Recarregar Telefone	11	complexo	3
Consultar Serviço de Atendimento	8	médio	2
Verificar Saldo	12	complexo	3
Verificar Número	18	complexo	3
Avisar Baixo Saldo	7	médio	2
Cadastrar Ligação Realizada	8	médio	2
Atualizar Saldo	15	complexo	3
Verificar Período	9	médio	2
Verificar Período a Receber	10	médio	2
Verificar Período a Realizar	14	complexo	3
Avisar Período de Expiração	10	médio	2
Consultar Serviço *5005	9	médio	2
Consultar Serviço *5000	12	complexo	3
Somatório do Peso dos Casos de USO (UUCW)			
UCs	Número	Peso	Total
Simples	0	1	0
Médio	9	2	18
Complexo	6	3	18
		Total	36

d) contagem do peso dos UCs: o peso dos casos de uso não ajustado (*unadjusted use case weight* - UUCW) é realizado da mesma forma que o cálculo do UAW, soma-se o produto do número de UCs de cada tipo pelo respectivo peso.

O valor do UUCP (UCP não ajustado) é dado pela soma do peso dos atores (UAW) com o peso dos casos de uso (UUCW).

Um exemplo é apresentado na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 - EXEMPLO DO CÁLCULO DO SOMATÓRIO GERAL DO UCP NÃO AJUSTADO

Somatório Geral dos Pesos não Ajustados	
UAW	27
UUCW	36
Total UUCP	63

Para comparações intra-entidade (dentro de uma empresa) é necessário que o valor de UCP seja ajustado por um multiplicador de fatores técnicos que envolvam o sistema. Uma nova técnica apresentada é a existência de um segundo multiplicador, o fator de ajuste ambiental. Por não ser a essência deste trabalho, esses fatores não serão abordados.

3.2 PONTOS POR TAMANHO DE CASO DE USO

No caso da métrica UCP, só se obtém um valor para o sistema por completo, pois como os UCs só são avaliados segundo um peso, não é possível a obtenção de medidas para cada um separadamente [Bra04a].

A obtenção do tamanho dos UCs isoladamente pode permitir avaliações de prioridade e de viabilidade por parte da equipe e dos gerentes de projetos. Por exemplo, a partir do tamanho de alguns UCs poderia ser desejável estimar o tempo necessário para o desenvolvimento dos mesmos, com a estimativa em mãos, o gerente poderia decidir pela implementação dos UCs menores ou do conjunto daqueles que poderiam ser entregues em um determinado prazo imposto pela diretoria [Bra04a].

Não se tendo uma medida do tamanho de cada UC em separado, não é possível se obter as estimativas para cada UC, nem tampouco se tomar decisões fundamentadas na métrica.

A métrica proposta para reduzir as limitações citadas é denominada Pontos por Tamanho de Caso de Uso (USP - *Use Case Size Points*) [Bra04a].

Como a métrica pode ser aplicada para cada caso de uso separadamente, após obter-se o USP de um UC, é possível a obtenção de estimativas do tempo e custo para o desenvolvimento desse em particular e não apenas do sistema por completo.

O USP determina o tamanho da funcionalidade através da estrutura e das seções encontradas em um UC, contabilizando-se o número e peso dos cenários, pré e pós-condições, atores e etc.

A principal informação considerada pelo analista na classificação de uma seção do UC é o número de entidades encontradas naquela seção.

O cálculo do USP [Bra04a] é feito para o sistema todo ou para apenas um UC. É necessário determinar quais UCs deseja-se avaliar. Pode-se optar por medir o tamanho do sistema por completo (avaliando-se todos os UCs) ou de apenas um subgrupo.

Para determinar o USP de cada UC, devem ser verificados o número e o tamanho de cada seção contida no mesmo. Sendo assim, será necessário avaliar cada seção isoladamente, para enfim chegar a um número final para o UC.

- a) classificação dos atores: cada ator tem sua complexidade (CA) determinada segundo a quantidade de informações que transmite ou que recebe do UC, sendo classificado segundo a Tabela 3.6:

TABELA 3.6 - COMPLEXIDADE DOS ATORES

Complexidade	Número de informações	Qtde. USP
Simples	<=5	2
Médio	6 a 10	4
Complexo	>10	6

O total de pontos da seção Atores, o TPA, é dado pela fórmula:

$$TPA = \sum_{i=1}^{i=n} CA_i \quad (3.1)$$

onde n é o número de atores do caso de uso;

- b) classificação das pré-condições: cada pré-condição do UC deve ter sua complexidade (CPrC) classificada de acordo com o número de expressões

lógicas testadas, conforme a Tabela 3.7, pois a necessidade de se testar as pré-condições pode adicionar significativa complexidade ao UC.

TABELA 3.7 - COMPLEXIDADE DAS PRÉ-CONDIÇÕES

Complexidade	Número de Expressões Lógicas	Qtde. USP
Simples	1	1
Médio	2 ou 3	2
Complexo	>3	3

Logo após, devem ser somadas as complexidades de todas as pré-condições do UC, formando o TPPrC (Total de Pontos das Pré-Condições), dado pela fórmula:

$$TPPrC = \sum_{i=1}^{i=n} C Pr Ci \quad (3.2)$$

onde n é o número de pré-condições do UC.

c) classificação do cenário principal: a complexidade do cenário principal do UC deve ser classificada segundo a quantidade de entidades que o mesmo apresenta e o número de passos elementares necessários para a conclusão do cenário, as duas quantidades devem ser somadas (número de entidades + número de passos), o valor deve classificar o cenário segundo a Tabela 3.8. O número de pontos do cenário principal é referenciado pela sigla PCP.

TABELA 3.8 - COMPLEXIDADE DOS CENÁRIOS

Complexidade	Número de Entidades	Qtde. USP
Muito simples	<=5	4
Simples	6 a 10	6
Médio	11 a 15	8
Complexo	16 a 20	12
Muito complexo	>20	16

d) classificação dos cenários alternativos: de forma similar à classificação executada para o cenário principal, devem ser classificados cada um dos cenários alternativos (quanto à complexidade inerente àquele cenário) presentes no UC, cada cenário alternativo recebe um número de pontos

(PCA). A complexidade dos cenários alternativos varia da mesma forma que a complexidade do cenário principal, conforme a Tabela 3.8. O total de pontos dos cenários alternativos é dado pela fórmula:

$$TPCA = \sum_{i=1}^{i=n} PCA_i \quad (3.3)$$

onde n é o número de cenários alternativos do UC.

e) cada exceção presente no UC também deve ser classificada segundo a sua complexidade (CE), determinada a partir do número de expressões lógicas testadas para detectar a ocorrência da exceção. O total de pontos adicionados pelas exceções é dado pela fórmula:

$$TPE = \sum_{i=1}^{i=n} CE_i \quad (3.4)$$

onde n é o número de exceções do UC. Esta classificação permitirá avaliar a complexidade de identificação (por parte do sistema) daquela exceção. A complexidade das exceções varia de acordo com a Tabela 3.9:

TABELA 3.9 - COMPLEXIDADE DAS EXCEÇÕES

Complexidade	Número de Expressões Testadas	Qtde. USP
Simple	1	1
Média	2 ou 3	2
Complexa	>3	3

f) classificação das pós-condições: a necessidade de se deixar o sistema no estado indicado pelas pós-condições pode adicionar complexidade ao UC. A complexidade das pós-condições varia conforme a Tabela 3.10.

TABELA 3.10 - COMPLEXIDADE DAS PÓS-CONDIÇÕES

Complexidade	Número de Entidades	Qtde. USP
Simple	<=3	1
Média	4 a 6	2
Complexa	>6	3

A seguir, devem ser somadas as complexidades de todas as pós-condições do UC, formando o TPPoC (Total de Pontos das Pós-Condições), dado pela fórmula:

$$TPPoC = \sum_{i=1}^{i=n} CPoCi \quad (3.5)$$

onde n é o número de Pós-Condições do Caso de Uso.

g) após determinar o número de pontos de cada seção, deve-se obter o número de pontos por tamanho não ajustado (UUSP - Unadjusted Use-Case Size Points).

O total de pontos é obtido através do simples somatório do número de pontos encontrado em cada uma das seções avaliadas. Esse total é representado pela fórmula:

$$UUSP = TPA + TPPrC + PCP + TPCA + TPE + TPPoC \quad (3.6)$$

Após obter-se o número de pontos não ajustado já se pode ter uma idéia do tamanho geral do sistema. O número de pontos não ajustado representa o tamanho da funcionalidade, desconsiderando as dificuldades e facilidades encontradas no desenvolvimento, que podem advir dos fatores técnicos e ambientais presentes no software e na organização.

Exemplo de cálculo do USP para o caso de uso Consultar Serviço 5000 do sistema *Baby* da Telesp Celular [Car03].

De acordo com a especificação textual do caso de uso Consultar Serviço 5000 [Car03], Tabela 3.11 e 3.12, tem-se os dados para o cálculo da métrica USP.

O total de pontos dos atores (TPA) (Tabela 3.13) é calculado definindo-se a complexidade de cada ator segundo a quantidade de informações que transmite ou recebe do UC, sendo classificado conforme a Tabela 3.6.

TABELA 3.11 - ESPECIFICAÇÃO TEXTUAL DO CASO DE USO CONSULTAR SERVIÇO 5000

Nome do Caso de Uso	Consultar Serviço 5000
Nro. de Identificação	16
Atores	Cliente (ator iniciante), Central Telefônica, Atendente
Evento Iniciante	Cliente tecla no seu celular *5000, solicitando ao sistema acessar o Serviço de Atendimento Personalizado ao Cliente
Pré-condições	Cliente cadastrado no serviço de telefonia <i>Baby Pré-Pago</i>
Pós-condições	Serviço de Atendimento Personalizado ao Cliente acessado (serviço *5000)
Inclusões	
Extensões	
Regras de Negócio	O sistema acessará o serviço de Atendimento Personalizado ao Cliente (*5000) sempre que o cliente solicitar
Descrição	Quando o cliente solicita uma consulta ao Serviço de Atendimento Personalizado ao Cliente (teclando * e logo em seguida, 5000), o sistema pede à Central Telefônica que complete uma ligação entre o Cliente e um Atendente da Telesp Celular
Fluxo Básico	
Passo 1	Sistema solicita que a Central Telefônica complete uma ligação entre o Cliente e um Atendente da Telesp
Passo 2	Sistema mostra ao Cliente mensagem de que o Serviço de Atendimento Personalizado ao Cliente foi acessado com sucesso

TABELA 3.12 - TABELA DE CENÁRIOS DERIVADOS A PARTIR DO CASO DE USO CONSULTAR SERVIÇO *5000

Cenário 16A - Número teclado pelo cliente *5000 (Serviço de Atendimento Personalizado ao Cliente)	Fluxo Básico
---------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------

TABELA 3.13 - CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DOS ATORES

Ator	Número de Informações	Qtde. USP
Cliente	1	2
Central Telefônica	1	2
Atendente	1	2
TPA =		6

O total de pontos das pré-condições (TPPrC), Tabela 3.14, é calculado classificando-se a complexidade de acordo com o número de expressões lógicas testadas, conforme a Tabela 3.7.

TABELA 3.14 - CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DAS PRÉ-CONDIÇÕES

Pré-Condições	Expressões Testadas	Qtde. USP
Cliente cadastrado	1	1
TPPrC =		1

O total de pontos do cenário principal (PCP), Tabela 3.15, é calculado

segundo a classificação da quantidade de entidades que o mesmo apresenta e o número de passos elementares necessários para a conclusão do cenário. As duas quantidades devem ser somadas (número de entidades + número de passos). O valor deve classificar o cenário segundo a Tabela 3.8.

TABELA 3.15 - CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DO CENÁRIO PRINCIPAL

Entidades	Nº Entidades + Nº Passos	Qtde. USP
sistema, solicita, Central Telefônica, complete, ligação, cliente, atendente, mostra, mensagem, Serviço Atendimento Personalizado, acessado, sucesso + 2	14	8
PCP =		8

O total de pontos dos cenários alternativos (TPCA) é calculado de forma similar à classificação executada para o cenário principal. O valor deve classificar o cenário segundo a Tabela 3.8. Neste exemplo, não se tem cenários alternativos.

O total de pontos das exceções (TPE) é calculado conforme a classificação de sua complexidade determinada a partir do número de expressões lógicas testadas para detectar a ocorrência da exceção. A complexidade das exceções varia de acordo com a Tabela 3.9. Neste trabalho, convencionou-se que as exceções seriam tratadas como cenários alternativos.

O total de pontos das pós-condições (TPPoC), Tabela 3.16, é calculado com a condição de se deixar o sistema no estado indicado pelas pós-condições. Esta complexidade varia de acordo com a Tabela 3.10.

TABELA 3.16 - CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS DAS PÓS-CONDIÇÕES

Pós-Condições	Número de Entidades	Qtde. USP
Serviço Atendimento Personalizado, Cliente, acessado	3	1
TPPoC =		1

Após determinar o número de pontos de cada seção, deve-se obter o número

de pontos por tamanho não ajustado (UUSP - Unadjusted Use-Case Size Points).

O total de pontos é obtido através do simples somatório do número de pontos encontrados em cada uma das seções avaliadas, conforme mostra a Tabela 3.17.

TABELA 3.17 - CÁLCULO DO TOTAL DE PONTOS POR TAMANHO NÃO AJUSTADO

$$\text{UUSP} = \text{TPA} + \text{TPPrC} + \text{PCP} + \text{TPCA} + \text{TPE} + \text{TPPoC}$$

Métrica	Pontos
TPA	6
TPPrC	1
PCP	8
TPCA	0
TPE	0
TPPoC	1
UUSP	16

3.3 PONTOS POR TAMANHO DE CASO DE USO *FUZZY*

Embora o USP seja proveniente da técnica de UCP e apresente algumas inovações, ele da mesma maneira que seu antecessor e que a FPA, também utiliza uma classificação discreta de complexidade das funcionalidades. Sendo assim, as vantagens decorrentes da aplicação da teoria *Fuzzy* sobre a técnica FPA podem ser obtidas com a extensão do modelo original do USP. Esse modelo estendido do USP é denominado Pontos por Tamanho de Caso de Uso *Fuzzy* (*Fuzzy Use Case Size Points* - USPF) [Bra04a].

Calcular o USPF seguindo o conjunto de passos abaixo [Bra04a]:

1. Fuzificação dos termos lingüísticos;
2. Desfuzificação dos valores dos termos lingüísticos.

A fuzificação dos termos lingüísticos transforma as tabelas de classificação de complexidade em uma classificação contínua. Isso é realizado através da geração de um número Fuzzy trapezoidal para cada faixa de complexidade encontrada nas diversas tabelas de classificação de complexidade. Assim, cada tipo de seção de caso de uso (atores, pós-condições, etc.) será classificado através de um gráfico contendo

um número Fuzzy trapezoidal para cada faixa de complexidade pré-existente.

Os números trapezoidais a partir das variáveis lingüísticas foram gerados da seguinte maneira [Bel03]:

"O valor de m_i assume o limite inferior do termo lingüístico i da matriz de complexidade considerada. O valor de n_i é calculado a partir da média aritmética entre os valores de m_i e m_{i+1} , sendo que este resultado deve ser inteiro e arredondado. O valor de n_{i+1} e o valor m_{i+1} foram atribuídos a a_i e b_i , respectivamente. Alguns ajustes são realizados quando se tratam do primeiro ou último termo lingüístico".

No caso do USPF, o arredondamento não foi realizado visando preservar integralmente a característica de continuidade dos intervalos gerados.

1) Fuzificação:

Se o número a ser classificado estiver entre os valores m_i e n_i do número Fuzzy correspondente, nesse caso o valor em pontos será o mesmo que o valor USP convencional forneceria;

Se o número a ser classificado estiver entre os valores n_i e b_i do número Fuzzy correspondente, nesse caso será necessário calcular o grau de pertinência do número para cada um dos números Fuzzy correspondentes.

Exemplo de cálculo do USPF para o caso de uso Consultar Serviço 5000 do sistema *Baby* da Telesp Celular [Car03], Tabelas 3.11 e 3.12.

O caso de uso Consultar Serviço 5000 tem os atores: Cliente, Central Telefônica e Atendente com **uma** informação cada. A soma das informações é **três**.

TABELA 3.18 - CLASSIFICAÇÃO DOS ATORES

Ator	Número de Informações
Cliente	1
Central Telefônica	1
Atendente	1

O valor **três** está na Tabela 3.19 e na Figura 3.1 entre m_1 e n_1 , assim o total de pontos dos atores (TPA) fica igual ao USP, ou seja, igual a **seis**.

TABELA 3.19 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS ATORES

m1	1
n1	3,5
a1	não existe
b1	6
m2	6
n2	8,5
a2	3,5
b2	11
m3	11
n3	não existe
a3	8,5
b3	não existe

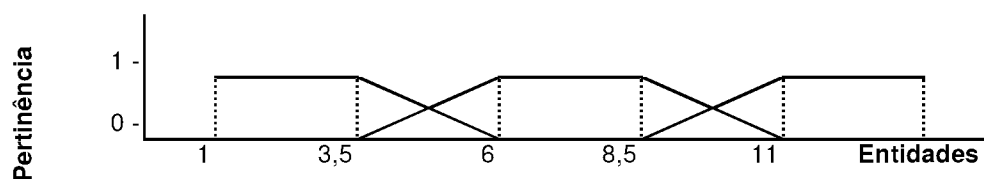


FIGURA 3.1 - NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE ATORES

Para o cálculo do total das Pré-condições (TPPrC), Tabela 3.20, analisa-se quantas expressões lógicas existem. Neste caso de uso, tem-se **uma** expressão lógica.

TABELA 3.20 - CLASSIFICAÇÃO DAS PRÉ-CONDIÇÕES

Pré-Condições	Expressões Testadas
Cliente cadastrado	1
Conf. gráfico TPPrC =	1

O valor **um** está na Tabela 3.21 e na Figura 3.2 entre m_1 e n_1 , assim o total de pontos das pré-condições (TPPrC) fica igual ao USP, ou seja, igual a **um**.

O total de pontos do Cenário Principal (PCP), Tabela 3.22, é composto do número de entidades que o mesmo apresenta e o número de passos elementares necessários para a conclusão do cenário. As duas quantidades devem ser somadas (número de entidades + número de passos). Entende-se por entidade cada conceito de negócio (objeto do mundo real) encontrado no UC. Um conceito pode ser uma idéia, coisa ou objeto.

TABELA 3.21 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PRÉ-CONDIÇÕES

m1	1
n1	1,5
a1	não existe
b1	2
m2	2
n2	3,0
a2	1,5
b2	4
m3	4
n3	não existe
a3	3,0
b3	não existe

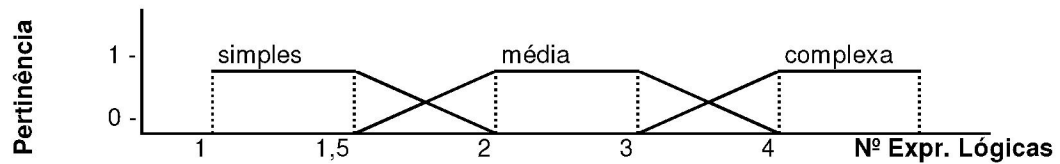


FIGURA 3.2 - NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE PRÉ-CONDIÇÕES

TABELA 3.22 - CLASSIFICAÇÃO DO CENÁRIO PRINCIPAL

Entidades	Nº Entidades + Nº Passos
sistema, solicita, Central Telefônica, complete, ligação, cliente, atendente, mostra, mensagem, Serviço Atendimento Personalizado, acessado, sucesso + 2	14

$$\bar{z}(x) = (16-14)/(16-13,5) = 0,8$$

$$\bar{u}(x) = 1-0,8 = 0,2$$

$$pd = 0,8*8+0,2*12 = 8,8$$

(3.6)

O valor **catorze** está na Tabela 3.23 e na Figura 3.3 entre n_3 e b_3 , assim o total de pontos do Cenário Principal (PCP) sofre a desfuzificação, conforme o cálculo apresentado abaixo da Tabela 3.22, resultando em 8,80 (Equação 3.7).

TABELA 3.23 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DOS CENÁRIOS

m1	1
n1	3,5
a1	não existe
b1	6
m2	6
n2	8,5
a2	3,5
b2	11
m3	11
n3	13,5
a3	8,5
b3	16
m4	16
n4	18,5
a4	13,5
b4	21
m5	21
n5	não existe
a5	18,5
b5	não existe

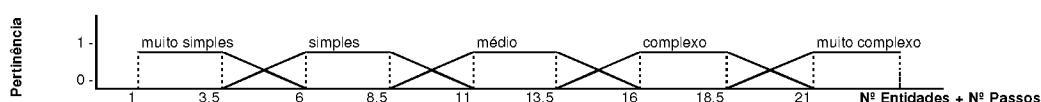


FIGURA 3.3 - NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE CENÁRIOS

Calcula-se o total dos pontos dos Cenários Alternativos (TPCA) similarmente à classificação executada para o cenário principal. Devem ser classificados cada um dos cenários alternativos (quanto à complexidade inerente àquele cenário) presentes no UC. Neste UC analisado não se tem cenários alternativos.

Cada exceção presente no UC também deve ser classificada segundo a sua complexidade determinada a partir do número de expressões lógicas testadas para detectar a ocorrência da exceção. Neste UC analisado não se têm exceções. Caso

exista, pode-se utilizar a Tabela 3.24 ou a Figura 3.4 para a sua classificação.

TABELA 3.24- TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS EXCEÇÕES

m1	1
n1	1,5
a1	não existe
b1	2
m2	2
n2	3,0
a2	1,5
b2	4
m3	4
n3	não existe
a3	3,0
b3	não existe

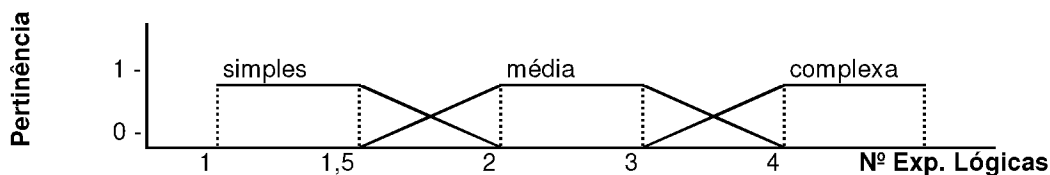


FIGURA 3.4 - NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE EXCEÇÕES

A necessidade de se deixar o sistema no estado indicado pelas pós-condições pode adicionar complexidade ao UC. A Tabela 3.25 exhibe o cálculo do total de pontos das pós-condições baseado na Tabela 3.26 e Figura 3.5.

O valor de **três** entidades fica disposto na Tabela 3.26 e na Figura 3.5 entre n_1 e b_1 , assim o total de pontos das Pós-condições (TPPoC) sofre a desfuzificação, conforme o cálculo apresentado abaixo da Tabela 3.25, resultando em 1,33 (Equação 3.8).

TABELA 3.25 - CLASSIFICAÇÃO DAS PÓS-CONDIÇÕES

Pós-Condições	Número de Entidades
Serviço Atendimento Personalizado, Cliente, acessado	3

$$\begin{aligned} \bar{u}(x) &= (4-3)/(4-2,5) = 0,67 \\ \hat{u}(x) &= 1-0,67 = 0,33 \\ pd &= 0,67*1 + 0,33*2 = 1,33 \end{aligned} \quad (3.8)$$

TABELA 3.26 - TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DAS PÓS-CONDIÇÕES

m1	1
n1	2,5
a1	não existe
b1	4
m2	4
n2	5,5
a2	2,5
b2	7
m3	7
n3	não existe
a3	5,5
b3	não existe

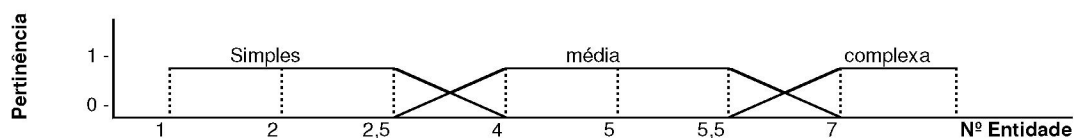


FIGURA 3.5 - NÚMEROS FUZZY CORRESPONDENTES À TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DE PÓS-CONDIÇÕES

Para finalizar o cálculo da fuzificação, somam-se os pontos obtidos, do caso de uso, da seguinte forma:

$$UUSPF = TPA + TPPrC + PCP + TPCA + TPE + TPPoC \quad (3.9)$$

obtendo-se o USPF não ajustado, conforme mostra a Tabela 3.27.

TABELA 3.27 - DETERMINANDO O VALOR NÃO AJUSTADO (UUSPF)

Métrica	Pontos
TPA	6
TPPrC	1
PCP	8,8
TPCA	0
TPE	0
TPPoC	1,33
UUSPF	17,13

2) Desfuzificação:

O processo de desfuzificação do termo lingüístico visa a transformar os termos lingüísticos do USPF em um valor em UUSPF, não sujeito às mudanças abruptas de classe existentes no USP simples.

A desfuzificação é realizada através da aplicação de duas regras simples. Depois disto, o UUSPF (USPF não ajustado) pode ser calculado. O processo envolve o cálculo da função de pertinência $\mu(x)$, que representa o quanto o elemento "x" (um número real) pertence ao conjunto em questão (neste caso, o grau de pertinência do número a uma faixa de complexidade).

Cada uma das regras é aplicada a um tipo de situação, a primeira situação acontece quando o número obtido pertence a um único número Fuzzy e a segunda é quando o valor está entre dois números Fuzzy (em uma região de transição) [Bra04a, Bel03].

1. se o número a ser classificado (expressões lógicas, entidades, entidades + passos, etc.) estiver entre os valores m_i e n_i do número Fuzzy correspondente, nesse caso o valor em pontos será o valor em pontos da faixa a que pertence este número. Isto ocorre porque ele pertence à base superior do número trapezoidal. Neste caso, o valor da função de pertinência $\mu(x)$ é igual a um (1 ou 100% de pertinência), ou seja, o mesmo valor que o USP convencional forneceria.
2. se o número x a ser classificado (expressões lógicas, entidades, entidades

+ passos, etc.) estiver entre os valores de n_i e b_i do número Fuzzy correspondente, ou seja, está entre a faixa de valores comum a dois números Fuzzy (pois também está entre a_{i+1} e m_{i+1}), será necessário calcular o grau de pertinência do número para cada um dos números Fuzzy correspondentes (ou o grau de pertinência à faixa de complexidade que cada um representa).

Para fazer isso, aplica-se a fórmula:

$$dUUSPF(x) = \bar{u}(x).UUSP_i + \bar{u}(x).UUSP_{i+1} \quad (3.10)$$

onde: $dUUSPF(x)$ = é o valor obtido após a desfuzificação do número "x"; $UUSP_i$ = é o valor de UUSP para a faixa "i"; e $UUSP_{(i+1)}$ = é o valor de UUSP para a faixa subsequente.

3.4 TRABALHOS RELACIONADOS

Os principais trabalhos relacionados dizem respeito aos modelos de estimativa de custo e de esforço de teste, bem como os que visam relacionar métricas orientadas a objeto ao número de testes necessários ou realizam algum tipo de projeção do número de defeitos.

Existem na literatura muitos modelos para estimar o custo e esforço de desenvolvimento de software. Podemos citar a *Function Point Analysis* [Alb79], *Halstead's Software Science* [Hal77], *Walston e Felix model* [Wal77] e o modelo COCOMO projetado por Boehm [Boe84]. Esses modelos são geralmente baseados em métricas relacionadas ao código fonte tais como: LOC (*Lines of Code*), número de operadores, etc.; ou em funcionalidade tais como o FP (*Function Points*).

Esses modelos têm sido adaptados a software orientados a objeto [Tho97]. Alguns trabalhos visam relacionar métricas orientadas a objeto com o número de defeitos e geralmente o fazem com diferentes métricas, mais relacionadas à fase de projeto ou código [Bas95, Bri98, Che95 e Per99] e não a partir de casos de uso. Entretanto, o uso de métricas baseadas em casos de uso tem se mostrado bastante

promissor, principalmente por que eles estão disponíveis nos primeiros estágios do desenvolvimento.

A maioria desses modelos de estimativa visa também à estimativa do esforço de teste dado a importância dessa atividade. Geralmente os métodos utilizados são [Nag01]:

1. Método Ad-hoc: o esforço de teste não está baseado em algum prazo definitivo. O esforço continua até algum tempo pré-decidido ditado pela gerência;
2. Porcentagem do tempo para o desenvolvimento: a premissa fundamental aqui é que os esforços de engenharia de teste são dependentes do tempo/esforço de desenvolvimento. Primeiramente, o esforço de desenvolvimento é estimado usando alguma técnica como LOC ou FP. O próximo passo é usar alguma heurística para descobrir um valor próximo ao encontrado. Isto varia amplamente e é geralmente baseado em experiências prévias;
3. Das estimativas de FP: Capers Jones [Cap96] estima que o número de casos de teste pode ser determinado pela estimativa de pontos de função. A fórmula é: número de casos de teste = $(FP)^{1,2}$;
4. Baseado em UCP: multiplicando o UCP ajustado com um fator de conversão [Nag01]. Este fator de conversão denota o número de homens-hora que representa esforço de teste requerido para uma combinação de linguagem e tecnologia. A organização terá que determinar os fatores de conversão para as dadas combinações.

Similarmente, aos Métodos 2 e 3, um fator de conversão para a organização pode ser aplicado ao número de USP ou USPF para calcular o esforço de teste.

O Método 4 é o que mais está relacionado ao trabalho sendo aqui proposto. Há uma pequena diferença, pois nosso estudo vai indicar o relacionamento do USP e USPF com o número de casos de teste, e não com o número de horas (esforço). Outra diferença é que Nageswaran [Nag01], não apresenta resultados de experimentos. O presente trabalho pode servir como complemento e, auxiliar na determinação do fator de conversão.

4 TRABALHO REALIZADO

Este capítulo descreve o experimento realizado com o objetivo de estudar os relacionamentos entre as métricas baseadas em casos de uso USP e USPF, e o número de casos de teste (CT) gerados para os casos de uso.

Primeiramente, foi realizada uma busca por projetos para servir de estudo desta pesquisa. Foram encontrados dois sistemas: o sistema de logística DTR [Bra04a] e o sistema de controle de telefone celular pré-paga *Baby* da Telesp [Car03].

Para o cálculo das métricas, necessitou-se formatar os dados garantindo o mesmo padrão. Para fazer isso, utilizou-se a abordagem de Heumann [Heu01] para calcular o número de casos de teste e, além disso, para gerar os casos de uso estendidos. Esta abordagem nos dá os argumentos principais para os cálculos das métricas que são os atores, pré e pós-condições, etc.

Com os dados padronizados, foram utilizadas as técnicas de PG e adicionalmente foram exploradas técnicas estatísticas, descritas no anexo, para se verificar a relação existente entre as variáveis em questão.

4.1 DESCRIÇÃO DOS PROJETOS

Os projetos utilizados deveriam ter disponíveis casos de uso expandidos. Foram utilizados dois projetos com um total de 38 casos de uso.

1) Telesp Celular *Baby* [Car03]:

O *Baby* é um celular que funciona com créditos. O crédito é um valor em reais que fica vinculado ao celular, permitindo que se faça e receba ligações. À medida que se usa o *Baby*, o custo das ligações vai sendo automaticamente deduzido do saldo. Pode-se recarregar o *Baby* com novos créditos sempre que se quiser.

O sistema controla todo serviço de telefonia celular pré-pago *Baby* da Telesp, o que envolve o controle dos créditos disponíveis e das chamadas

recebidas e realizadas. Esse sistema contém 15 casos de uso, apresentados na Figura 4.1. Esses casos de uso já estavam descritos detalhadamente em Carniello [Car03]. Para esse sistema, casos de teste gerados segundo a abordagem de Heumann estavam disponíveis. Foi necessário calcular as métricas UUSP e UUSPF¹. A Tabela 4.1 mostra os dados tabulados.

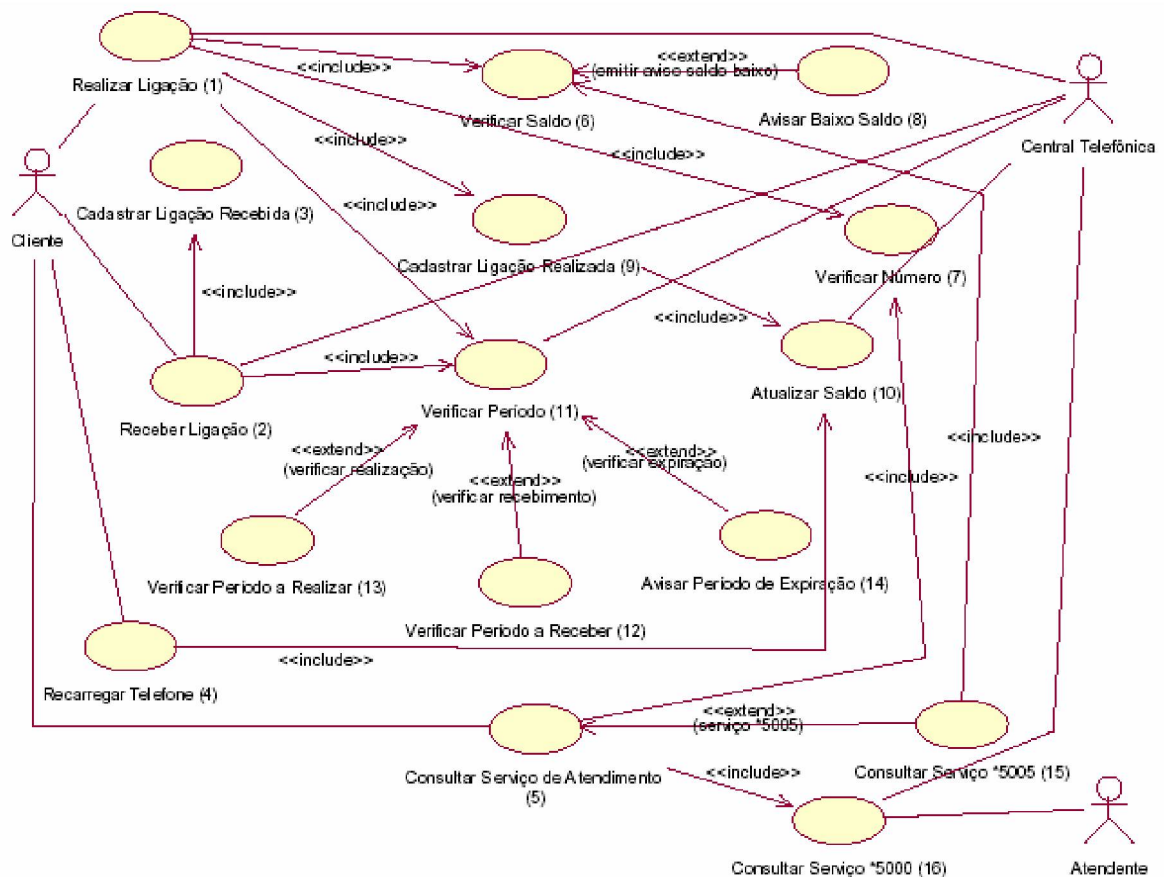


FIGURA 4.1 - DIAGRAMA DE CASOS DE USO DO SISTEMA DE CONTROLE DO CELULAR *BABY* DA TELESP

¹ Utilizou-se o valor não ajustado para as métricas, pois, esse independe dos fatores ambientais e técnicos.

TABELA 4.1 - DADOS TABULADOS PARA O SISTEMA *BABY*

Casos de uso	UUSP	UUSPF	CT
Cadastrar Ligação Recebida	10	11,53	1
Cadastrar Ligação Realizada	11	12,20	1
Avisar Baixo Saldo	12	12,00	1
Consultar Serviço Atendimento	16	16,76	3
Consultar Serviço 5000	16	17,13	0
Consultar Serviço 5005	18	20,40	2
Verificar Período	19	19,00	4
Avisar Período Expiração	20	20,40	2
Receber Ligação	20	20,73	2
Verificar Saldo	20	21,13	4
Recarregar Telefone	20	21,13	9
Verificar Período a Receber	20	21,20	3
Verificar Período a Realizar	22	24,40	12
Atualizar Saldo	27	27,33	2
Verificar Número	33	33,00	14

2) DTR

O projeto DTR [Bra04a] é de um sistema de logística produzido por uma empresa privada de desenvolvimento de software, o sistema foi construído para atender às necessidades operacionais e de planejamento de uma empresa fornecedora de soluções em logística.

Foram selecionados, para o experimento, 23 casos de uso. Esses mesmos casos de uso foram utilizados por Braz [Bra04a] para avaliar as métricas UCP, USP e USPF. Portanto, o valor de cada uma das métricas já estava disponível, foi necessário então gerar os casos de teste segundo Heumann. Os valores encontrados por Braz, bem como o número de casos de teste gerados, estão na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 - DADOS TABULADOS PARA O SISTEMA DTR

Caso de Uso (UC)	UUSP	UUSPF	CT
A2-UC01	42	42,0	11
A2-UC02	17	17,0	6
A2-UC03	20	20,4	5
A2-UC04	20	22,0	8
A2-UC05	30	32,0	8
A2-UC06	20	22,4	9
A3-UC07	15	15,0	1
A3-UC08	26	26,0	5
A3-UC09	79	83,0	12
A3-UC10	28	29,2	4
A3-UC11	55	61,8	14
A3-UC12	87	91,8	10
A4-UC13	61	64,6	12
A4-UC14	66	70,0	13
A4-UC15	85	87,8	16
A4-UC16	44	44,8	10
A4-UC17	47	50,2	12
A4-UC18	37	39,0	8
A5-UC19	48	48,4	15
A5-UC20	85	85,0	25
A5-UC21	81	82,2	20
A5-UC22	53	57,0	15
A5-UC23	65	68,6	15

4.2 EXPLORAÇÃO DE MODELOS ESTATÍSTICOS

Foram explorados os modelos linear e curvilíneo para os dois sistemas juntos: *Baby* e DTR. Como os dados dos sistemas *Baby* e DTR são poucos, 15 para o *Baby* e 23 para o DTR, fazer uma análise em conjunto desses dois sistemas pode representar melhor a situação de uma reta ou curva pela maior quantidade de dados. Procurou-se, então, juntar os dois sistemas, totalizando 38 casos de uso.

4.2.1 Para o modelo de regressão linear simples:

Para a obtenção de modelos estatísticos, utilizam-se resultados estimados para se obter modelos que explorem o relacionamento entre as métricas calculadas e o número de casos de teste gerados. Nessa fase, utiliza-se regressão linear, determinação, correlação e inferência estatística [Hoe81, Lev98] para uma variável

prever outra e medir a força de associação entre elas. Para testar os modelos (equações) lineares, calculou-se o valor estimado, denominado de Y_{est} , e o desvio padrão de estimativa.

TABELA 4.3 - DADOS TABULADOS PARA O SISTEMA BABY E DTR

	UUSP	UUSPF	CT
Casos de uso	X	X1	Y
Cadastrar Ligação Recebida	10	11,53	1
Cadastrar Ligação Realizada	11	12,2	1
Avisar Baixo Saldo	12	12	1
Consultar Serviço Atendimento	16	16,76	3
Consultar Serviço 5000	16	17,13	0
Consultar Serviço 5005	18	20,4	2
Verificar Período	19	19	4
Avisar Período Expiração	20	20,4	2
Receber Ligação	20	20,73	2
Verificar Saldo	20	21,13	4
Recarregar Telefone	20	21,13	9
Verificar Período a Receber	20	21,2	3
Verificar Período a Realizar	22	24,4	12
Atualizar Saldo	27	27,33	2
Verificar Número	33	33	14
A3-UC07	15	15,0	1
A3-UC10	28	29,2	4
A2-UC03	20	20,4	5
A3-UC08	26	26,0	5
A2-UC02	17	17,0	6
A2-UC04	20	22,0	8
A2-UC05	30	32,0	8
A4-UC18	37	39,0	8
A2-UC06	20	22,4	9
A4-UC16	44	44,8	10
A3-UC12	87	91,8	10
A2-UC01	42	42,0	11
A4-UC17	47	50,2	12
A4-UC13	61	64,6	12
A3-UC09	79	83,0	12
A4-UC14	66	70,0	13
A3-UC11	55	61,8	14
A4-UC19	48	48,4	15
A4-UC22	53	57,0	15
A4-UC23	65	68,6	15
A4-UC15	85	87,8	16
A4-UC21	81	82,2	20
A4-UC20	85	85,0	25

O estudo seguiu os seguintes passos:

- 1) Coleta dos dados: tabularam-se os valores das métricas UUSP, UUSPF e CT (casos de teste) do sistema *Baby* e DTR, conforme a Tabela 4.3.
- 2) Determinação da equação da regressão linear simples: como ainda não se sabe qual a equação que melhor representa as variáveis em questão, primeiramente utilizou-se a regressão linear simples. Os valores calculados do experimento aparecem na Tabela 4.4:

TABELA 4.4 - EQUAÇÃO LINEAR DO EXPERIMENTO

UUSP			UUSPF		
Reta	Y = b1X + bo		Reta	Y = b1X + bo	
beta	b1 =	0,208	beta	b1 =	0,199
alfa	bo =	0,633	alfa	bo =	0,630
modelo	Y = 0,208X + 0,633		modelo	Y = 0,199X + 0,630	

- 3) Cálculo do Coeficiente de Determinação: este coeficiente mede a proporção da variação que é explicada pela variável independente no modelo de regressão. Em outras palavras utilizando o experimento, quais as porcentagens de CT podem ser explicadas pelas métricas UUSP ou UUSPF. O coeficiente de determinação r^2 pode, como apresentado no Anexo, ser definido como [Lev98]: é a soma dos quadrados devida à regressão, dividida pela soma total dos quadrados, ou seja, $r^2 = \text{SQReg}/\text{STQ}$, onde: r^2 é o coeficiente de determinação; SQReg é a soma dos quadrados devida à regressão; e STQ é a soma total dos quadrados.

A Tabela 4.5 mostra os resultados de r^2 :

TABELA 4.5 - MODELO LINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO

UUSP				UUSPF			
soma total	STQ =	1345,368		soma total	STQ =	1345,368	
soma quad.	SQReg =	918,632		soma quad.	SQReg =	905,429	
determinação	$r^2 =$	0,683	68%	determinação	$r^2 =$	0,673	67%

Observe que 68% dos valores de CT podem ser explicados pelo UUSP e 67% dos valores de CT podem ser explicados pelo UUSPF.

Portanto, os índices de casos de teste (CT) podem ser explicados pela variabilidade nos números das métricas. No UUSP 32% da variabilidade da amostra podem ser explicados por fatores diferentes daqueles que são levados em conta no modelo de regressão linear e, no UUSPF 33%.

4) Cálculo do Coeficiente de Correlação: é a força de uma relação entre duas variáveis em uma população.

A Tabela 4.6 mostra os resultados de r:

TABELA 4.6 - MODELO LINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

UUSP			UUSPF		
correlação	r =	0,826 83%	correlação	r =	0,820 82%

Nota-se que, tanto a correlação para UUSP, quanto a correlação para o UUSPF não se aproximam muito do +1 (100% positiva), entretanto, existe correlação e, ela não é fraca.

A interpretação do coeficiente de correlação como medida da intensidade da relação linear entre duas variáveis é uma interpretação puramente matemática e está completamente isenta de qualquer implicação de causa e efeito. O fato de que as duas variáveis tendam a aumentar ou diminuir juntas não implica que uma delas tenha algum efeito direto ou indireto sobre a outra [Hoe81]. Conclui-se, então, que o coeficiente de correlação apenas mostra que existe uma força de relação entre duas variáveis, ou seja, quanto maior esta força, mais elas estão associadas e, quanto menor, menos, mas não mostra que uma tenha efeito sobre a outra.

5) Cálculo das Inferências na Regressão e na Correlação: os resultados da inferência estão na Tabela 4.7:

TABELA 4.7 - MODELO LINEAR: RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA INFERÊNCIA

UUSP				UUSPF			
nível de	significância	0,050		nível de	significância	0,050	
valor de t_{36}	$t_{36} =$	2,028	-2,028	valor de t_{36}	$t_{36} =$	2,028	-2,028
valor de t	t =	8,803	$t > t_{36}$	valor de t	t =	8,608	$t > t_{36}$

Onde:

t_{36} : valor t da distribuição t-Student como uma função da probabilidade e dos graus de liberdade. Neste caso temos $n=38-2$ graus de liberdade;

t: estatística de teste;

Como $t=8,803$, para UUSP, e $t=8,608$, para UUSPF, sendo $t > t_{36}$, rejeitamos H_0 , conforme mostra a Figura 4.2. Uma vez que a hipótese nula foi rejeitada, conclui-se que há evidências de uma associação entre as métricas (UUSP ou UUSPF) e os casos de teste (CT).

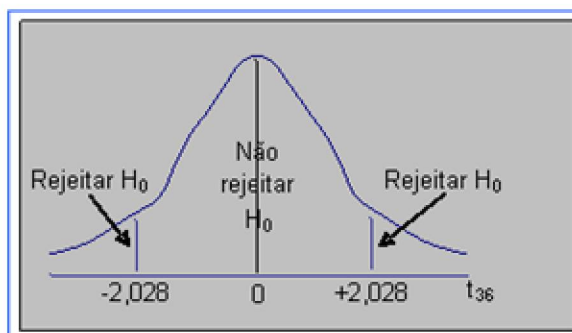


FIGURA 4.2 - MODELO LINEAR: TESTANDO A SIGNIFICÂNCIA DE CORRELAÇÃO, EM UM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 0,05, COM 36 GRAUS DE LIBERDADE

- 6) Cálculo do valor estimado: para a métrica UUSP, o modelo $Y=0,208X+0,633$ gera os valores estimados (Y_{est}) (Tabela 4.8).

TABELA 4.8 - MODELO LINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (Yest) PARA A MÉTRICA UUSP

Casos de uso	(UUSP) X	(CT) Y	Yest = 0,208x + 0,633	Y - Yest
Cadastrar Ligação Recebida	10	1	2,7130	-1,7130
Cadastrar Ligação Realizada	11	1	2,9210	-1,9210
Avisar Baixo Saldo	12	1	3,1290	-2,1290
Consultar Serviço Atendimento	16	3	3,9610	-0,9610
Consultar Serviço 5000	16	0	3,9610	-3,9610
Consultar Serviço 5005	18	2	4,3770	-2,3770
Verificar Período	19	4	4,5850	-0,5850
Avisar Período Expiração	20	2	4,7930	-2,7930
Receber Ligação	20	2	4,7930	-2,7930
Verificar Saldo	20	4	4,7930	-0,7930
Recarregar Telefone	20	9	4,7930	4,2070
Verificar Período a Receber	20	3	4,7930	-1,7930
Verificar Período a Realizar	22	12	5,2090	6,7910
Atualizar Saldo	27	2	6,2490	-4,2490
Verificar Número	33	14	7,4970	6,5030
A3-UC07	15	1	3,7530	-2,7530
A3-UC10	28	4	6,4570	-2,4570
A2-UC03	20	5	4,7930	0,2070
A3-UC08	26	5	6,0410	-1,0410
A2-UC02	17	6	4,1690	1,8310
A2-UC04	20	8	4,7930	3,2070
A2-UC05	30	8	6,8730	1,1270
A4-UC18	37	8	8,3290	-0,3290
A2-UC06	20	9	4,7930	4,2070
A4-UC16	44	10	9,7850	0,2150
A3-UC12	87	10	18,7290	-8,7290
A2-UC01	42	11	9,3690	1,6310
A4-UC17	47	12	10,4090	1,5910
A4-UC13	61	12	13,3210	-1,3210
A3-UC09	79	12	17,0650	-5,0650
A4-UC14	66	13	14,3610	-1,3610
A3-UC11	55	14	12,0730	1,9270
A4-UC19	48	15	10,6170	4,3830
A4-UC22	53	15	11,6570	3,3430
A4-UC23	65	15	14,1530	0,8470
A4-UC15	85	16	18,3130	-2,3130
A4-UC21	81	20	17,4810	2,5190
A4-UC20	85	25	18,3130	6,6870

Com base nos valores estimados, calcula-se a diferença entre o valor real e o estimado e em seguida o erro-padrão da estimativa obtendo-se: $Sy.x = 3,443$. Da Tabela 4.8, dos 38 valores estimados, 28 deles estão dentro do erro-padrão (coluna Y - Yest), variando de -3,443 a +3,443, ou seja, 74% desses valores encontram-se dentro desse erro, admitindo-se com este índice a hipótese de que o modelo é válido nesses dados apresentados.

Para a métrica UUSPF, o modelo $Y = 0,199X_1 + 0,630$ gera os valores estimados (Yest) (Tabela 4.9).

TABELA 4.9 - MODELO LINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA A MÉTRICA UUSPF

Casos de uso	(UUSPF) X_1	(CT) Y	Yest = $0,199X_1 + 0,630$	Y - Yest
Cadastrar Ligação Recebida	11,53	1	2,9245	-1,9245
Cadastrar Ligação Realizada	12,20	1	3,0578	-2,0578
Avisar Baixo Saldo	12,00	1	3,0180	-2,0180
Consultar Serviço Atendimento	16,76	3	3,9652	-0,9652
Consultar Serviço 5000	17,13	0	4,0389	-4,0389
Consultar Serviço 5005	20,40	2	4,6896	-2,6896
Verificar Período	19,00	4	4,4110	-0,4110
Avisar Período Expiração	20,40	2	4,6896	-2,6896
Receber Ligação	20,73	2	4,7553	-2,7553
Verificar Saldo	21,13	4	4,8349	-0,8349
Recarregar Telefone	21,13	9	4,8349	4,1651
Verificar Período a Receber	21,20	3	4,8488	-1,8488
Verificar Período a Realizar	24,40	12	5,4856	6,5144
Atualizar Saldo	27,33	2	6,0687	-4,0687
Verificar Número	33,00	14	7,1970	6,8030
A3-UC07	15,00	1	3,6150	-2,6150
A3-UC10	29,20	4	6,4408	-2,4408
A2-UC03	20,40	5	4,6896	0,3104
A3-UC08	26,00	5	5,8040	-0,8040
A2-UC02	17,00	6	4,0130	1,9870
A2-UC04	22,00	8	5,0080	2,9920
A2-UC05	32,00	8	6,9980	1,0020
A4-UC18	39,00	8	8,3910	-0,3910
A2-UC06	22,40	9	5,0876	3,9124
A4-UC16	44,80	10	9,5452	0,4548
A3-UC12	91,80	10	18,8982	-8,8982
A2-UC01	42,00	11	8,9880	2,0120
A4-UC17	50,20	12	10,6198	1,3802
A4-UC13	64,60	12	13,4854	-1,4854
A3-UC09	83,00	12	17,1470	-5,1470
A4-UC14	70,00	13	14,5600	-1,5600
A3-UC11	61,80	14	12,9282	1,0718
A4-UC19	48,40	15	10,2616	4,7384
A4-UC22	57,00	15	11,9730	3,0270
A4-UC23	68,60	15	14,2814	0,7186
A4-UC15	87,80	16	18,1022	-2,1022
A4-UC21	82,20	20	16,9878	3,0122
A4-UC20	85,00	25	17,5450	7,4550

Com base nos valores estimados, calcula-se a diferença entre o valor real e o estimado e em seguida o erro-padrão da estimativa obtendo-se: $S_{y.x} = 3,496$. Da

Tabela 4.9, dos 38 valores estimados, 28 deles estão dentro do erro-padrão (coluna \hat{Y} - Y_{est}), variando de -3,496 a +3,496, ou seja, 74% desses valores encontram-se dentro desse erro, admitindo-se com este índice a hipótese de que o modelo é válido nesses dados apresentados.

4.2.2 Para o modelo de regressão curvilinear:

Os passos seguidos para obtenção do modelo de regressão curvilinear são similares aos seguidos para se obter o modelo linear.

- 1) Coleta dos dados: tabularam-se os valores das métricas UUSP, UUSPF e CT (casos de teste) do sistema DTR, conforme a Tabela 4.3.
- 2) Determinação da equação da regressão curvilinear: Os valores calculados aparecem na Tabela 4.10:

TABELA 4.10 - EQUAÇÃO CURVILINEAR PARA O EXPERIMENTO

UUSP		UUSPF	
Equação	$Y = b_0 + b_1X + b_{11}X^2$	Equação	$Y = b_0 + b_1X + b_{11}X^2$
	$b_0 = -3,385$		$b_0 = -4,317$
	$b_1 = 0,451$		$b_1 = 0,486$
	$b_{11} = -0,003$		$b_{11} = -0,003$
modelo	$Y = -0,003X^2 + 0,451X - 3,385$	modelo	$Y = -0,003X^2 + 0,486X - 4,317$

- 3) Cálculo do Coeficiente de Determinação:

A Tabela 4.11 mostra os resultados de r^2 :

TABELA 4.11 - MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO

UUSP		UUSPF	
soma total	STQ = 1345,368	soma total	STQ = 1345,368
soma quad.	SQReg = 970,975	soma quad.	SQReg = 932,346
determinação	$r^2 = 0,722$ 72%	determinação	$r^2 = 0,727$ 73%

Observa-se que 72% dos valores de CT podem ser explicados pelo UUSP e 73% dos valores de CT podem ser explicados pelo UUSPF.

Portanto, os índices de casos de teste (CT) podem ser explicados pela

variabilidade nos números das métricas. No UUSP 28% da variabilidade da amostra podem ser explicados por fatores diferentes daqueles que são levados em conta no modelo de regressão curvilínea e, no UUSPF 27%.

4) Cálculo do Coeficiente de Correlação

A Tabela 4.12 mostra os resultados do coeficiente de correlação:

TABELA 4.12 - MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO

UUSP				UUSPF			
correlação	r =	0,826	83%	correlação	r =	0,820	82%

Nota-se que, as correlações tanto para o UUSP quanto para o UUSPF não se aproximam muito do +1 (100% positiva), entretanto, observa-se que existe correlação e que ela não é fraca.

5) Cálculo das Inferências na Regressão e na Correlação: para o experimento, os resultados da inferência estão na Tabela 4.13:

TABELA 4.13 - MODELO CURVILINEAR: RESULTADOS DOS CÁLCULOS DA INFERÊNCIA

UUSP				UUSPF			
nível de	significância	0,050		nível de	significância	0,050	
valor de t_{36}	$t_{36} =$	2,028	-2,028	valor de t_{36}	$t_{36} =$	2,028	-2,028
valor de t	t =	9,398	$t > t_{36}$	valor de t	t =	9,424	$t > t_{36}$

Onde:

t_{36} : valor t da distribuição t de Student como uma função da probabilidade e dos graus de liberdade. Neste caso temos $n=38-2$ graus de liberdade;

t: estatística de teste;

Como $t=9,398$, para UUSP, e $t=9,424$, para UUSPF, sendo $t > t_{36}$, rejeitamos H_0 , conforme mostra a Figura 4.2.

Uma vez que a hipótese nula foi rejeitada, conclui-se que há evidências de uma associação entre as métricas (UUSP ou UUSPF) e os casos de teste (CT).

6) Cálculo do valor estimado: para a métrica UUSP, o modelo $y = -0,003X^2 + 0,451X - 3,385$ gera os valores estimados (Yest) (Tabela 4.14).

Com base nos valores estimados, calcula-se a diferença entre o valor real e o estimado e em seguida o erro-padrão da estimativa obtendo-se: $S_{y.x} = 1,405$. Da Tabela 4.14, dos 38 valores estimados, 15 deles estão dentro do erro-padrão (coluna Y-Yest), variando de -1,405 a +1,405, ou seja, 39% desses valores encontram-se dentro desse erro, admitindo-se com este índice a hipótese de que o modelo não é válido para os dados apresentados.

TABELA 4.14 - MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA A MÉTRICA UUSP

Casos de uso	(UUSP) X	(CT) Y	Yest = $-0,003x^2 + 0,451x - 3,385$	Y - Yest
Cadastrar Ligação Recebida	10	1	0,8250	0,1750
Cadastrar Ligação Realizada	11	1	1,2130	-0,2130
Avisar Baixo Saldo	12	1	1,5950	-0,5950
Consultar Serviço Atendimento	16	3	3,0630	-0,0630
Consultar Serviço 5000	16	0	3,0630	-3,0630
Consultar Serviço 5005	18	2	3,7610	-1,7610
Verificar Período	19	4	4,1010	-0,1010
Avisar Período Expiração	20	2	4,4350	-2,4350
Receber Ligação	20	2	4,4350	-2,4350
Verificar Saldo	20	4	4,4350	-0,4350
Recarregar Telefone	20	9	4,4350	4,5650
Verificar Período a Receber	20	3	4,4350	-1,4350
Verificar Período a Realizar	22	12	5,0850	6,9150
Atualizar Saldo	27	2	6,6050	-4,6050
Verificar Número	33	14	8,2310	5,7690
A3-UC07	15	1	2,7050	-1,7050
A3-UC10	28	4	6,8910	-2,8910
A2-UC03	20	5	4,4350	0,5650
A3-UC08	26	5	6,3130	-1,3130
A2-UC02	17	6	3,4150	2,5850
A2-UC04	20	8	4,4350	3,5650
A2-UC05	30	8	7,4450	0,5550
A4-UC18	37	8	9,1950	-1,1950
A2-UC06	20	9	4,4350	4,5650
A4-UC16	44	10	10,6510	-0,6510
A3-UC12	87	10	13,1450	-3,1450
A2-UC01	42	11	10,2650	0,7350
A4-UC17	47	12	11,1850	0,8150
A4-UC13	61	12	12,9630	-0,9630
A3-UC09	79	12	13,5210	-1,5210
A4-UC14	66	13	13,3130	-0,3130
A3-UC11	55	14	12,3450	1,6550
A4-UC19	48	15	11,3510	3,6490
A4-UC22	53	15	12,0910	2,9090
A4-UC23	65	15	13,2550	1,7450
A4-UC15	85	16	13,2750	2,7250
A4-UC21	81	20	13,4630	6,5370
A4-UC20	85	25	13,2750	11,7250

Para a métrica UUSPF, o modelo $Y = -0,003X_1^2 + 0,486X_1 - 4,317$ gera os valores estimados (Yest) (Tabela 4.15).

TABELA 4.15 - MODELO CURVILINEAR: CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA A MÉTRICA UUSPF

Casos de uso	(UUSPF) X₁	(CT) Y	Yest = -0,003X₁² + 0,486X₁ - 4,317	Y - Yest
Cadastrar Ligação Recebida	11,53	1	0,8878	0,1122
Cadastrar Ligação Realizada	12,20	1	1,1657	-0,1657
Avisar Baixo Saldo	12,00	1	1,0830	-0,0830
Consultar Serviço Atendimento	16,76	3	2,9857	0,0143
Consultar Serviço 5000	17,13	0	3,1279	-3,1279
Consultar Serviço 5005	20,40	2	4,3489	-2,3489
Verificar Período	19,00	4	3,8340	0,1660
Avisar Período Expiração	20,40	2	4,3489	-2,3489
Receber Ligação	20,73	2	4,4686	-2,4686
Verificar Saldo	21,13	4	4,6127	-0,6127
Recarregar Telefone	21,13	9	4,6127	4,3873
Verificar Período a Receber	21,20	3	4,6379	-1,6379
Verificar Período a Realizar	24,40	12	5,7553	6,2447
Atualizar Saldo	27,33	2	6,7246	-4,7246
Verificar Número	33,00	14	8,4540	5,5460
A3-UC07	15,00	1	2,2980	-1,2980
A3-UC10	29,20	4	7,3163	-3,3163
A2-UC03	20,40	5	4,3489	0,6511
A3-UC08	26,00	5	6,2910	-1,2910
A2-UC02	17,00	6	3,0780	2,9220
A2-UC04	22,00	8	4,9230	3,0770
A2-UC05	32,00	8	8,1630	-0,1630
A4-UC18	39,00	8	10,0740	-2,0740
A2-UC06	22,40	9	5,0641	3,9359
A4-UC16	44,80	10	11,4347	-1,4347
A3-UC12	91,80	10	15,0161	-5,0161
A2-UC01	42,00	11	10,8030	0,1970
A4-UC17	50,20	12	12,5201	-0,5201
A4-UC13	64,60	12	14,5591	-2,5591
A3-UC09	83,00	12	15,3540	-3,3540
A4-UC14	70,00	13	15,0030	-2,0030
A3-UC11	61,80	14	14,2601	-0,2601
A4-UC19	48,40	15	12,1777	2,8223
A4-UC22	57,00	15	13,6380	1,3620
A4-UC23	68,60	15	14,9047	0,0953
A4-UC15	87,80	16	15,2273	0,7727
A4-UC21	82,20	20	15,3617	4,6383
A4-UC20	85,00	25	15,3180	9,6820

Com base nos valores estimados, calcula-se a diferença entre o valor real e o estimado e em seguida o erro-padrão da estimativa obtendo-se: $Sy.x = 3,193$. Da Tabela 4.15, dos 38 valores estimados, 28 deles estão dentro do erro-padrão (coluna Y - Yest), variando de -3,193 a +3,193, ou seja, 74% desses valores encontram-se dentro

desse erro, admitindo-se com este índice a hipótese de que o modelo é válido nesses dados apresentados.

4.2.3 Análise dos resultados estatísticos

Com os dados das variáveis: métricas UUSP e UUSPF, casos de teste (CT) e modelos obtidos foi realizada uma análise para se medir a relação entre as métricas.

Analisando as etapas dos cálculos estatísticos, inicialmente vê-se que os pontos das variáveis em relação à reta ou curva nos gráficos de dispersão não se aproximam muito. A Tabela 4.16, mostra o resumo dos valores calculados.

TABELA 4.16 - RESUMO DOS VALORES CALCULADOS

Sistema/índices	Determinação		Correlação		Erro-padrão	
	UUSP	UUSPF	UUSP	UUSPF	UUSP	UUSPF
Linear	68%	67%	83%	82%	74%	74%
Curvilinear	72%	73%	83%	82%	39%	74%

Os índices de correlação e determinação podem determinar numericamente quão as variáveis testadas estão ou não associadas. Os baixos valores dos coeficientes de correlação e determinação expressam a fragilidade dessa associação. Tanto no caso do UUSP quanto para o UUSPF, foi obtida uma correlação em torno de 80% em ambos os modelos. Essa correlação não é fraca e não deve ser desprezada.

Também, analisando-se os valores de t no cálculo inferência conclui-se que há evidência de correlação linear ou curvilinear.

Considerou-se o cálculo do desvio-padrão da estimativa (erro-padrão) para determinar se os pontos estimados pelos modelos podem ou não serem aceitos. A métrica UUSPF teve um bom índice de 74% de pontos cobertos pelas equações, do modelo linear e curvilinear; e o UUSP foi bem apenas para o linear. Assim, considera-se a métrica UUSPF ligeiramente melhor por ter abrangido mais dados em ambos os modelos do que o UUSP. Entretanto, linearmente, elas se equivaleram. Apesar dos

índices não serem altos, pode-se considerá-los razoáveis para uma estimativa de um projeto, desde que para poucos dados.

Em suma, os dados apresentados estatisticamente nos mostram que existem relacionamentos entre as métricas, porém seus índices não foram considerados fortes o suficiente para serem aceitos em quaisquer situações.

4.3 EXPLORAÇÃO DE MODELOS UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO GENÉTICA

Para explorar a PG foi utilizado o sistema LilGP descrito no Anexo, baseado no programa exemplo *regress* [Zon96].

4.3.1 Passos realizados:

- 1) Coleta dos dados: os dados coletados da Tabela 4.3 foram utilizados;
- 2) Configuração do sistema LilGP: como o sistema está dividido em vários arquivos, para cada problema a ser resolvido pela ferramenta é necessário fornecer a configuração desses arquivos, parâmetros de PG, funções e variáveis a serem usadas, arquivos de entrada e saída e especificar a função de avaliação e aptidão;
 - 2.1) para a maioria dos arquivos foi utilizada a configuração padrão do sistema, contudo fez-se variações para se obter um melhor resultado;
 - 2.2) o conjunto de funções utilizadas na construção da árvore é: * (multiplicação), / (divisão), + (adição), - (subtração), sin (seno), cos (cosseno), sqr (quadrado), root (raiz quadrada), log (log) e exp (exponenciação. Inverso do log natural);
- 3) Execução do programa: com os arquivos configurados, executaram-se diversas rodadas para extrair a melhor configuração, ou seja, aquela equação que melhor representa os dados fornecidos;

4) Escolha da melhor configuração: com os arquivos rodados, cada equação em árvore gerada foi convertida para uma equação matemática. Utilizou-se um programa de planilha eletrônica, para os dados convertidos, onde foram calculados os valores estimados de casos de testes (Yest), conforme mostra a Tabela 4.17.

4.1) de todos os experimentos, a melhor configuração para as métricas está representada na Tabela 4.18:

4.2) as melhores equações encontradas para as métricas foram:

4.2.1) UUSP:

$$\begin{aligned} & (/ (- (- (+ X X) X) \\ & \quad (\cos X)) \\ & \quad (+ (\log (+ X X)) \\ & \quad \quad (\sin (- (\sin X) \\ & \quad \quad \quad (\text{root } X)))))) \end{aligned}$$

onde: X = UUSP;

A representação matemática está apresentada na equação 4.2;

$$\text{Yest (UUSP): CT} = \frac{UUSP - \cos UUSP}{\log 2 * UUSP + \sin(\sin UUSP - \sqrt{UUSP})} \quad (4.1)$$

4.2.2) UUSPF:

$$\begin{aligned} & (/ (+ (\cos X) \\ & \quad (\text{root } X)) \\ & \quad (\exp (\cos (\log (\text{root } X)))))) \end{aligned}$$

onde: X = UUSPF;

A representação matemática está apresentada na equação 4.3;

$$\text{Yest (UUSPF): CT} = \frac{\cos UUSPF + \sqrt{UUSPF}}{\exp(\cos(\log \sqrt{UUSPF}))} \quad (4.2)$$

TABELA 4.17 - CÁLCULO DOS VALORES ESTIMADOS (YEST) PARA OS MELHORES RESULTADOS

Casos de uso	UUSP	UUSPF	CT	UUSP		UUSPF	
	X	X1	Y	Yest	Y - Yest	Yest	Y - Yest
Cadastrar Ligação Recebida	10	11,53	1	5,9030	-4,9030	6,8389	-5,8389
Cadastrar Ligação Realizada	11	12,2	1	4,8543	-3,8543	5,1246	-4,1246
Avisar Baixo Saldo	12	12	1	5,2194	-4,2194	0,0803	0,9197
Consultar Serviço Atendimento	16	16,76	3	7,0177	-4,0177	22,5641	-19,5641
Consultar Serviço 5000	16	17,13	0	7,0177	-7,0177	52,1121	-52,1121
Consultar Serviço 5005	18	20,4	2	6,8890	-4,8890	71,5964	-69,5964
Verificar Período	19	19	4	7,3343	-3,3343	13,1108	-9,1108
Avisar Período Expiração	20	20,4	2	9,7587	-7,7587	71,5964	-69,5964
Receber Ligação	20	20,73	2	9,7587	-7,7587	51,3694	-49,3694
Verificar Saldo	20	21,13	4	9,7587	-5,7587	18,0607	-14,0607
Recarregar Telefone	20	21,13	9	9,7587	-0,7587	18,0607	-9,0607
Verificar Período a Receber	20	21,2	3	9,7587	-6,7587	4,7835	-1,7835
Verificar Período a Realizar	22	24,4	12	8,7010	3,2990	9,4006	2,5994
Atualizar Saldo	27	27,33	2	10,4058	-8,4058	48,3451	-46,3451
Verificar Número	33	33	14	11,7109	2,2891	213,2208	-199,2208
A3-UC07	15	15,0	1	10,1145	-9,1145	0,2302	0,7698
A3-UC10	28	29,2	4	10,7227	-6,7227	47,5837	-43,5837
A2-UC03	20	20,4	5	9,7587	-4,7587	71,5964	-66,5964
A3-UC08	26	26,0	5	9,5810	-4,5810	22,1263	-17,1263
A2-UC02	17	17,0	6	7,0138	-1,0138	46,0484	-40,0484
A2-UC04	20	22,0	8	9,7587	-1,7587	10,6264	-2,6264
A2-UC05	30	32,0	8	18,6877	-10,6877	3,0279	4,9721
A4-UC18	37	39,0	8	25,1546	-17,1546	256,4204	-248,4204
A2-UC06	20	22,4	9	9,7587	-0,7587	1,1483	7,8517
A4-UC16	44	44,8	10	26,5727	-16,5727	59,0722	-49,0722
A3-UC12	87	91,8	10	29,7702	-19,7702	149,1502	-139,1502
A2-UC01	42	42,0	11	41,2943	-30,2943	221,5547	-210,5547
A4-UC17	47	50,2	12	31,1809	-19,1809	25,9183	-13,9183
A4-UC13	61	64,6	12	41,3225	-29,3225	787,4179	-775,4179
A3-UC09	79	83,0	12	37,9316	-25,9316	1253,9220	-1241,9220
A4-UC14	66	70,0	13	57,5479	-44,5479	285,1764	-272,1764
A3-UC11	55	61,8	14	45,9994	-31,9994	384,8693	-370,8693
A4-UC19	48	48,4	15	48,9016	-33,9016	364,8355	-349,8355
A4-UC22	53	57,0	15	36,9344	-21,9344	0,2378	14,7622
A4-UC23	65	68,6	15	50,4628	-35,4628	9,0053	5,9947
A4-UC15	85	87,8	16	39,0608	-23,0608	36,7882	-20,7882
A4-UC21	81	82,2	20	33,2437	-13,2437	13,7608	6,2392
A4-UC20	85	85,0	25	39,0608	-14,0608	32,3733	-7,3733

TABELA 4.18 - MELHOR CONFIGURAÇÃO PARA AS MÉTRICAS

Parâmetros/métricas	UUSP	UUSPF
Número máximo de gerações	500	300
Tamanho da população	2500	1500
Método de inicialização da árvore	half and half	half and half
Profundidade inicial da árvore	2 - 6	2 - 6
Profundidade máxima da árvore	5	5
Taxa de crossover	0,9	0,9
Taxa de reprodução	0,1	0,1
Taxa de mutação	0	0

4.3) os cálculos de determinação não foram possíveis de se efetuarem em virtude da necessidade dos coeficientes angular e linear, que não é o caso das equações geradas pela ferramenta LilGP;

4.4) os valores encontrados para a correlação das equações geradas pelo LilGP encontram-se na Tabela 4.19:

TABELA 4.19 - CORRELAÇÃO DAS EQUAÇÕES GERADAS PELO LILGP

	UUSP	UUSPF
Correlação	60%	70%

4.5) os melhores resultados encontrados para o experimento estão representados na Tabela 4.20:

TABELA 4.20 - MELHORES RESULTADOS DO EXPERIMENTO

	UUSP	UUSPF
Casos de uso	38	38
Dados dentro do erro-padrão	21	32
Desvio-padrão da estimativa	55%	79%

Os percentuais encontrados no erro-padrão de estimativa significam que 55% dos pontos da métrica UUSP e 79% do UUSPF estão dentro do desvio-padrão, ou seja, esses percentuais de dados fazem parte do conjunto válido gerado pelo sistema.

Os valores da correlação mostram que os dados têm uma maior relação quando se considera a métrica UUSPF.

4.3.2) Análise dos resultados da PG

Dentre todos os experimentos realizados com o sistema LilGP, em programação genética, a Tabela 4.20 mostra o que melhor foi encontrado para os dados dos dois sistemas estudados. Isto significa que para os dados em questão, apesar das dificuldades na configuração dos parâmetros da ferramenta utilizada, o sistema conseguiu gerar um bom resultado alcançando 79% UUSPF e é melhor quando comparado com os modelos estatísticos.

A Tabela 4.19 mostra, também, uma boa correlação das métricas, considerando então, que as equações geradas são válidas para os modelos obtidos, porém seus índices não foram considerados fortes o suficiente para serem aceitos em quaisquer situações. Assim, pode-se ter uma visão aproximada de quantos casos de testes são necessários para um projeto, com poucos dados, com as métricas aqui citadas e as equações conseguidas.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Relacionar métricas baseadas em casos de uso com o número de casos de teste contribui para agilizar a atividade de teste, diminuindo custos e esforços, aumentando produtividade e, por conseguinte, aumentando a qualidade e a confiabilidade do software.

Nesse trabalho foi realizado um experimento com o objetivo de se estudar o relacionamento entre o número de casos de teste e as métricas baseadas em caso de uso: USP e USPF.

Foram explorados modelos estatísticos e baseados em PG, usando o sistema LilGP. A dificuldade em se obter um modelo baseado em PG está em se obter a melhor configuração dos parâmetros do sistema LilGP. Mas por outro lado, a PG pode evoluir qualquer tipo de modelo, não é necessário um formato pré-definido; o modelo é realmente descoberto.

Os modelos obtidos nesse experimento não podem ser considerados válidos para quaisquer tipos de sistemas, mas indicam que existe um relacionamento entre as métricas que pode ser explorado para se obter melhores estimativas da atividade de teste.

Os melhores modelos obtidos no experimento (desvio-padrão de 79% para o modelo baseado em PG e 74% para o modelo linear) utilizam a métrica USPF.

O melhor resultado (79%) é de um modelo baseado em PG. Isso merece um estudo mais aprofundado que permitirá uma comparação entre as métricas USP e USPF, visto esse não ser o objetivo deste trabalho.

Em relação a trabalhos futuros, é necessário estudar o relacionamento estatístico entre as métricas considerando outros tipos de sistemas.

Com relação a PG, além de se utilizar outros sistemas, também é possível explorar outras configurações para o LiGP.

Um outro trabalho a ser realizado é repetir o experimento aqui descrito para avaliar o relacionamento entre métricas baseadas em casos de uso e o esforço de teste, medido em número de horas.

REFERÊNCIAS

- [Alb79] A. Albrecht. **Measuring application development productivity**. In *Proc. Of the IBM Applications /development Symposium*, pages 83-92, Outubro 1979.
- [Ban01] G. Banerjee. **Use case points - an estimation approach**. Disponível de <http://undergraduate.cs.uwa.edu.au/units/670.300/readings/usecasepoints.pdf>, Agosto 2001.
- [Bas95] V. R. Basili, L. Briand e W. L. Melo. **A Validation of Objected-Oriented Design Metrics as Quality Indicators**. Technical Report, Univ. of Maryland, Dep. Of Computer Science, College Park, MD, 20742 USA. Abril, 1995.
- [Bel03] A. D. Belchior, O. S. L. Junior, and P. Farias. **Fuzzy modeling for function points analysis**. *Software Quality Journal*, 11(2):149-166, Junho 2003.
- [Bra04a] Braz, M. R. **Métricas de software baseadas em casos de uso e teoria Fuzzy**. Curitiba, 2004. 111 f. Dissertação (Mestrado em Informática) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná.
- [Bra04b] Braz, M. R., Verigilio, S. R. **Using Fuzzy Theory for Effort Estimation of Object-Oriented Software**. In: 16th IEEE Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2004, Boca Raton-Florida-USA. IEEE Press. 2004. v.1.p.196.
- [Boe84] Boehm, N. **Software Engineering Economics**. *IEEE Transactions of Software Engineering*, Vol. SE-10, No. 1, Janeiro 1984, pp. 4-21.
- [Bri98] Lionel C. Briand, John W. Daly, Victor Porter, Jürgen Wüst. **A Comprehensive Empirical Validation of Product Measures for Object-Oriented Systems**, Fraunhofer Institute for Experimental Software Engineering, Kaiserslautern, Germany, 1998.
- [Bur01] Burgess, C. JU., Lefley, M. **Can genetic programming improve software effort estimation?** A comparative evaluation. *Information and Software Technology*.
- [Cap96] Capers, Jones 1996. **Applied software measurement**, MacGraw-Hill.
- [Car03] Carniello, Adriana. **Teste baseado na estrutura de casos de uso**. Campinas, 2003. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas.
- [Che95] Thomas J. Cheatham. **Software Testing: A Machine Learning Experiment**. ACM Annual Computer Science Conference. 1995.
- [Coc01] Cockburn, A., **Writing Effective Use Cases**, Boston: Addison-Wesley, 2001.
- [Dol01] Dolado, J. J. **On the problem of the software cost function**. *Information and Software Technology*.
- [Fow00] Fowler, M.; Scott K. **UML essencial: um breve guia para a linguagem-padrão de modelagem de objetos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- [Fre03] E. Freire. **O método de pontos de caso de uso e o cálculo de estimativas**. *Developers´ Magazine*. February, 2003.

- [Hal77] Halstead, M. **Elements of Software Science**. Elsevier, NY, 1977.
- [Heu01a] Heumann, Jim. **Generating Test Cases From Use Cases**. Disponível em: <http://www.therationaledge.com/content/jun_01/m_cases_jh.html>. Acesso em 2001.
- [Heu01b] Heumann, J. **Is a Use Case a Test Case?**. Proceedings of the International Conference on Practical Software Testing Techniques (PSTT 2001 North). St. Paul, Minnesota. Outubro 2001.
- [Hoe81] Hoel, Paul G. **Estatística Elementar**. 1 ed. Atlas, 1981.
- [Hol75] Holland, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. MIT Press, 1975.
- [Jac92] I. Jacobson, M. Christerson, P., and G. Övergaard. **Object Oriented Software Engineering: A Use-Case Driven Approach**. Addison-Wesley, 1992.
- [Kar93] G. Karner. **Metrics for Objectory**. Diploma thesis, University of Linköping, Sweden. No. LiTH-IDA-Ex-9344:21. December 1993.
- [Koz92] Koza. J. R. **Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection**. MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
- [Lar02] C. Larman. **Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and the Unified Process**. Prentice-Hall. 2 ed. 2002.
- [Lev98] Levine, David M. et al. **Estatística - Teoria e Aplicações Usando Microsoft® Excel em Português**. LTC, 1998.
- [Mal92] Maldonado, J. C. et al. **Crerios Potenciais Usos: Anlise da aplicao de um benchmark**. VI Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software. Gramado, 4 a 6 Nov 1992. editado pelo setor de cursos e eventos. Porto Alegre.
- [Nag01] S. Nageswaran. **Test Effort Estimation Using Use Case Points (UCP)**. In 14th International Software / Internet Quality Week, May-June 2001. Disponível em: http://www.cognizant.com/cogcommunity/presentations/Test_Effort_Estimation.pdf.
- [Per99] Periyasami, K., Liu, X. **A New Metrics Set for Evaluating Testing Efforts for Object-Oriented Programs**. Technology of Object-Oriented Languages and Systems. IEEE Press. P.84, 1999.
- [Pre02] R. S. Pressman. **Software Engineering**. McGraw-Hill, 5 ed. 2002.
- [Rational03] Rational Software. Available from <http://www.rational.com>, Abril, 2003.
- [Spi78] Spiegel, Murray Ralph. **Probabilidade e estatística**. Coleção Schaum. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1978.
- [Tho97] Thomas Fetcke, Alain Abran e Tho-Hau Nguyen. **Mapping the OO-Jacobson Approach into Function Point Analysis**. Proceedings of TOOLS-23'97, Santa Barbara, CA, 1997.
- [UKSMA] United Kingdom Software Metrics Association (UKSMA), **MKII Function Point Analysis Counting Practices Manual**. 1.3. Setembro, 1998. Disponível em: www.ukσμα.co.uk/public/mkIIr131.pdf. Abril, 2004.

[UML 1.4] UML 1.4 Specification. Chapter 2 - **UML Semantics**, Setembro, 2001, Disponível em: <http://www.omg.org/technology/documents/formal/uml.htm>. Visitado em 03/01/2003.

[Wal77] Walston, C. and C. Felix. **A Method of Programming Measurement and Estimation**. IBM Systems Journal. Vol. 16, No. 1, 1977, pp. 54-73.

[Zon96] [LILGP] Zongker, Douglas et al. **Lil-gp 1.01 User's Manual**. Michigan State University. Março, 1996.

APÊNDICE A - TÉCNICAS UTILIZADAS

Para explorar o relacionamento entre casos de uso e o número de testes gerados foram utilizadas técnicas da teoria estatística e a Programação Genética, descritas nesse anexo.

A.1 TEORIA ESTATÍSTICA

Regressão

Geralmente se estuda a relação entre duas ou mais variáveis na esperança de que qualquer relação encontrada possa ser usada no sentido de fazer estimativas ou predições de uma das variáveis particulares [Hoe81].

A Análise de Regressão é utilizada principalmente com o objetivo de previsão. O propósito na análise de regressão é o desenvolvimento de um modelo estatístico que possa ser utilizado para prever os valores de uma variável dependente ou variável resposta, com base nos valores de pelo menos uma variável independente ou explicativa [Lev98].

Tipos de Modelos de Regressão [Lev98]:

a) Modelo Linear Simples: representado como $Y=B_0+B_1X$,

onde: B_0 : intersecção de Y para a população;

B_1 : inclinação para a população;

b) Modelo Múltiplo: representado como $Y=B_0+B_1X_{1i}+B_2X_{2i}+ \dots B_pX_{pi}$,

onde: B_0 : intersecção de Y;

B_1 : inclinação de Y em relação à variável X_1 , mantendo constantes as variáveis $X_2, X_3, \dots X_p$;

B_2 : inclinação de Y em relação à variável X_2 , mantendo

constantes as variáveis $X_1, X_3, \dots X_p$;

B_p : inclinação de Y em relação à variável X_p , mantendo constantes as variáveis $X_1, X_2, \dots X_{p-1}$;

A regressão múltipla não se aplica nos experimentos deste trabalho, pois tem-se uma variável explicativa para uma dependente; e na regressão múltipla, diversas variáveis explicativas são utilizadas para prever o valor de uma variável dependente.

c) Modelo Curvilinear: representado como $Y=B_0+B_1X_{li}+B_{11}X_{li}^2$,

onde: B_0 : intersecção de Y ;

B_1 : efeito linear em Y ;

B_{11} : efeito curvilinear em Y .

Diagrama de Dispersão [Lev98]:

Em uma análise de regressão envolvendo uma variável independente e uma variável dependente, cada valor é desenhado em um gráfico bidimensional chamado de diagrama de dispersão. Cada valor é colocado em suas determinadas coordenadas X e Y . Assim, pode-se ter uma idéia superficial do tipo de relação existente entre as variáveis. A natureza dessa relação pode assumir diversas formas, abrangendo desde as funções matemáticas mais simples até as mais complicadas. A relação mais simples consiste em uma relação linear ou retilínea.

Método dos Mínimos Quadrados [Lev98]:

Utilizando o Método dos Mínimos Quadrados, tem-se a equação de regressão da amostra representando o modelo de regressão linear, cujo valor previsto de Y é igual à intersecção de Y mais a inclinação, vezes o valor de X , ou seja, $Y=b_0+b_1X_i$. Essa equação requer a determinação de dois coeficientes de regressão- b_0 (a intersecção de Y) e b_1 (a inclinação), no sentido de prever valores de Y . Depois

disso, pode-se fazer uma comparação visual no sentido de verificar até que ponto o modelo estatístico (uma linha reta) se ajusta aos dados originais. Isto é, pode-se verificar se os dados originais se encontram perto da linha ajustada ou se eles se desviam muito da linha ajustada. A análise de regressão linear simples significa encontrar a linha reta que melhor se ajuste aos dados.

Erro Padrão da Estimativa [Spi78]

O erro, desvio ou variância é uma medida de dispersão dos valores da variável aleatória em redor da média. Se os valores tendem a se concentrarem próximos da média, a variância é pequena; mas se os valores tendem a se afastarem da média, a variância é grande.

Seja Y_{est} o valor estimado de Y , correspondente a determinado valor de x , e obtido da curva de regressão de y sobre x ; então uma medida de dispersão em torno da curva de regressão é dada por:

$$S_{y.x} = \sqrt{\sum (y - y_{est})^2 / (n - 2)}$$

onde n é o tamanho da amostra

que se chama erro padrão da estimativa de y sobre x [Spi78].

Com o erro-padrão da estimativa, pode-se traçar duas retas paralelas à reta de regressão e determinar quantos pontos caem entre essas duas retas. Assim, pode-se prever a quantidade de pontos pertencentes ao intervalo das retas. De outra forma, pode-se contar a quantidade de pontos que pertencem ao intervalo de $-S_{y.x}$ a $+S_{y.x}$ e calcular a razão destes em função do total de pontos observados. Quanto mais pontos fizerem parte do intervalo, mais eles se aproximarão das retas ou curvas do modelo de dispersão. Desta forma podemos verificar se as equações lineares ou não-lineares estão validadas pelos pontos estimados.

Correlação

A Análise de Correlação, ao contrário da regressão, é utilizada para medir a força da associação entre variáveis numéricas. O objetivo aqui não é utilizar uma variável para prever uma outra e, ao contrário, medir a força da associação ou covariação que existe entre duas variáveis numéricas [Lev98].

$$r = \sqrt{r^2}$$

onde: r = coeficiente de correlação;

r^2 = coeficiente de determinação.

Coeficiente de Determinação [Lev98]

O coeficiente de determinação mede a proporção da variação que é explicada pela variável independente no modelo de regressão, ou seja, o quanto de uma variável pode ser explicado pela outra.

$$r^2 = \text{SQReg}/\text{STQ}$$

onde: r^2 = coeficiente de determinação;

SQReg = soma dos quadrados devida a regressão;

STQ = soma total dos quadrados.

Inferências na Regressão e na Correlação [Lev98]

Um método para examinar a existência de uma relação linear entre duas variáveis envolve o coeficiente de correlação da amostra r . A existência de uma relação entre X e Y poderia ser testada em termos de coeficiente de correlação, com resultados equivalentes. Testar a existência de uma relação linear entre duas variáveis é o mesmo que determinar se existe correlação significativa entre elas. Por hipótese, tem-se que o coeficiente de correlação da população ρ é igual a 0.

As hipóteses nula e alternativa poderiam ser declaradas da seguinte maneira:

$H_0: \rho=0$ (não existe correlação)

$H_1: \rho \neq 0$ (existe uma correlação)

A estatística de teste para determinar a existência de uma correlação significativa é dada como segue:

$$t = \frac{r - \rho}{\sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}}}$$

onde n é o tamanho da amostra

A estatística de teste t segue uma distribuição t com $n-2$ graus de liberdade.

A.2 PROGRAMAÇÃO GENÉTICA

De acordo com a Teoria da Seleção Natural de Darwin, os organismos mais adaptados ao mundo em que vivem são os que terão maiores chances de sobrevivência e de passar suas características genéticas para as gerações seguintes. Programação Genética (PG), foi apresentada por John Koza [Koz92] e é uma área da Computação Evolucionária que utiliza a Teoria de Darwin em computadores, para a geração automática de programas. Ela baseia-se na idéia de Algoritmos Genéticos, introduzida por John Holland [Hol75].

A PG trabalha com uma população de programas de computador. O objetivo é selecionar naturalmente o programa que melhor resolve um problema dado. O primeiro passo para o processo de evolução é gerar aleatoriamente uma população inicial. Após isso, o algoritmo entra em um laço que é executado, idealmente, até que a solução desejada seja encontrada. Este laço consiste de duas tarefas maiores:

- avaliação de cada programa gerado, através do uso de funções heurísticas que mostram o quão próxima cada solução está da solução ideal;

- a criação de uma nova população através da seleção de indivíduos baseada em uma função de aptidão, juntamente com a aplicação de operadores genéticos como: reprodução, cruzamento e mutação.

A cada execução desse laço, uma nova geração de programas é criada. Na vida real, o processo de evolução nunca termina, mas em computação tempo e recurso são limitados, sendo assim, faz-se necessário estabelecer um critério de parada que interromperá o processo.

A seguir, estão descritos alguns aspectos importantes para o funcionamento do algoritmo de PG:

- Estrutura de representação: a estrutura mais utilizada em PG é a árvore. Os nós representam funções ou terminais, permitindo que cada árvore seja interpretada como um programa. Funções podem ser condições, sensores, operações aritméticas ou lógicas, etc., e são utilizadas para captar informações sobre o ambiente e, convenientemente, para melhorar o desempenho de cada indivíduo. Os terminais podem ser números gerados aleatoriamente, ações, variáveis, etc., dependendo do problema a ser resolvido. O usuário fornece o conjunto de funções e terminais de acordo com o problema.
- Função de Aptidão (*Fitness*) e seleção: Na natureza os seres vivos são selecionados naturalmente com base no seu grau de adaptabilidade ao meio ambiente. Em Programação Genética, isto é expresso pela função de aptidão ou *fitness*. Os programas que melhor resolverem o problema receberão melhores valores de *fitness* e, conseqüentemente, terão maior chance de serem selecionados e passarem adiante a sua informação “genética”. A avaliação de *fitness* depende do domínio do problema. Uma escolha adequada é essencial para que bons resultados sejam obtidos.

- Operadores genéticos: Depois de selecionados, os programas deverão sofrer a ação dos operadores genéticos e compor uma nova geração. Geralmente é aplicado um dos três operadores genéticos básicos: 1) Reprodução: um indivíduo é copiado para a próxima geração sem sofrer alteração; 2) Cruzamento: dois programas são recombinados para gerar dois outros descendentes potencialmente diferentes; e 3) Mutação: escolhe-se aleatoriamente um ponto na árvore e a sub-árvore abaixo desse ponto sofre uma modificação.
- Parâmetros: o comportamento do algoritmo depende do conjunto de parâmetros que, entre outras coisas, limita e controla como a busca é realizada. Alguns desses parâmetros são: tamanho da população, tamanho da árvore, taxa de mutação, taxa de reprodução, taxa e forma de seleção, etc.

Sistema LilGP

LilGP é um sistema em linguagem C para desenvolvimento de aplicações em programação genética baseado no LISP. Foi um trabalho desenvolvido por John Koza na Universidade de Stanford [Zon96]. O sistema pode manusear problemas grandes (maiores populações e gerações) e é portátil para uma gama variável de plataformas. Seus indivíduos são compostos de múltiplas árvores, alguns dos quais podem evoluir de outros, dadas as capacidades das ADFs - Automatically Defined Functions (Funções Definidas Automaticamente). Este sistema é o primeiro, que se têm notícias, que permite múltiplas populações rodando com topologias de intercâmbio arbitrário. O LilGP tem muitas opções para controle das gerações, fácil de usar pelo seu formato flexível, tem sete métodos de seleção e três operadores genéticos, para citar algumas de suas características [Zon96].

O uso do sistema LilGP é ilustrado para cinco problemas exemplo. Um deles, o *regress* que é utilizado em problemas de regressão, foi a base para este

trabalho. *Regress* usa a programação genética para descobrir a melhor equação, fornecidos os dados de teste, os operadores aritméticos e funções, além de outras configurações.